

МОНІТОРИНГ ПРОЦЕСІВ ОПУСТЕЛЮВАННЯ АГРОЕКОСИСТЕМ ЗА СУПУТНИКОВИМИ ДАНИМИ: ДОСВІД ТА ПЕРСПЕКТИВИ

Д.П. Васільєв, Т.В. Ільєнко

*Інститут агроєкології і природокористування НААН (м. Київ, Україна)
e-mail: freimaster.af@gmail.com; ORCID: 0009-0005-0578-3539
e-mail: tilienko@gmail.com; ORCID: 0000-0001-5406-5449*

Опустелювання — це серйозна екологічна проблема, яка зачіпає мільйони людей у всьому світі. Для успішного розв'язання проблем, виникаючих унаслідок опустелювання в агроєко системах, у локальному та регіональному масштабах важливим є отримання об'єктивної інформації щодо просторового розповсюдження цих процесів. Дистанційне зондування відіграє важливу роль у моніторингу опустелювання завдяки відносно низькій вартості, можливості охоплення великих територій та використання різних датчиків і методів аналізу даних. Інтегрований підхід із залученням ГІС, математичних моделей та наземних спостережень забезпечує більш точну оцінку деградації земель. Метою дослідження є узагальнення досвіду використання даних дистанційного зондування Землі для моніторингу та оцінки процесів опустелювання і деградації земель українськими і закордонними дослідниками у світовому та національному контекстах, визначення перспективи подальшого розвитку й удосконалення методик дистанційного зондування для комплексного моніторингу процесів опустелювання в агроєко системах та деградації ґрунтів. У роботі проаналізовано досвід застосування даних супутникового дистанційного зондування, математичних моделей опустелювання та геоінформаційних систем для визначення територій, схильних до деградації земель, у різних регіонах світу. Розглянуто специфіку адаптації моделей до локальних умов із використанням додаткових параметрів. Висвітлено напрацювання українських учених щодо супутникового моніторингу агроландшафтів, їх класифікації та оцінки стану агроландшафтів за даними ДЗЗ. Окреслено перспективи подальших досліджень. Продемонстровано ефективність інтегрованого підходу із залученням геоінформаційних систем, супутникових даних, аналізу екологічних показників та математичних моделей опустелювання, адаптованих до регіональних особливостей. Пріоритетними напрямками залишаються адаптація моделей до регіональних особливостей, розробка прогнозних методик із використанням ДЗЗ, поглиблення міжнародного обміну даними та досвідом. Необхідно продовжувати вдосконалення методик дистанційного моніторингу для своєчасного виявлення деградаційних процесів та розширювати дослідження на національному рівні для вжиття відповідних заходів.

Ключові слова: дистанційне зондування Землі, ерозія, супутникові дані, ГІС, індекси ґрунтів, агроландшафт.

ВСТУП

У 1977 р. на Конференції Організації Об'єднаних Націй щодо боротьби з опустелюванням офіційно визнано складність та глобальний масштаб проблеми деградації земель та опустелювання. У результаті Конференції був розроблений план дій для подолання цієї проблеми. Пізніше, у 1992 р., під час Конференції ООН з довкілля та розвитку у Ріо-де-Жанейро, було створено Міждержавний переговорний комітет

із метою підготовки Конвенції ООН про боротьбу з опустелюванням у країнах, які страждають від серйозної посухи та/або опустелювання, зокрема в Африці. У червні 1994 р. у Парижі було ухвалено та відкрито для підписання Конвенції. Через 90 днів після ратифікації Конвенції 50 країнами вона набула чинності у грудні 1996 р. У липні 2002 р. Верховна Рада України прийняла Закон України № 61-IV «Про приєднання України до Конвенції Організації Об'єднаних Націй про боротьбу з

опустелюванням у тих країнах, що потерпають від серйозної посухи та/або опустелювання, особливо в Африці» [1]. Отже, Україна приєдналася до Конвенції та взяла на себе зобов'язання реалізувати її положення.

Основною метою Конвенції про боротьбу з опустелюванням є запобігання подальшій деградації земель, зокрема сільськогосподарських, та мінімізація негативного впливу посушливих явищ на сільське господарство. Ці процеси супроводжуються зростанням рівня бідності серед населення, зменшенням біорізноманіття, особливо на аграрних територіях, що зумовлюють посилення викидів парникових газів, зокрема через дегуміфікацію ґрунтів, що впливає на зміну клімату у глобальному масштабі. Стратегічні цілі Конвенції спрямовано на відновлення пошкоджених екосистем та покращання умов проживання населення, що потерпає від опустелювання [2].

Мета цієї роботи – проаналізувати та узагальнити міжнародний досвід використання даних дистанційного зондування Землі для моніторингу та оцінки процесів опустелювання агроєкосистем і деградації земель у світовому та національному контекстах; визначити ключові методи, математичні моделі, підходи та інструменти, що застосовуються у світовій і вітчизняній практиці для виявлення, картографування, аналізу динаміки і прогнозування згаданих деградаційних явищ; розкрити напрями досліджень українських та закордонних вчених у сфері застосування супутникової інформації для моніторингу деградації земель; окреслити перспективи подальшого розвитку й удосконалення методик дистанційного зондування для комплексного моніторингу процесів опустелювання агроєкосистем та деградації ґрунтів.

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Дослідження здійснюється шляхом системного аналізу, узагальнення та синтезу інформації з наукових публікацій, патентів та авторських свідочств щодо використання даних дистанційного зондування Землі для

виявлення, оцінки та моніторингу процесів опустелювання агроєкосистем і деградації земель. Застосовується діалектичний підхід, методи групування, конкретизації та абстрагування для формування висновків.

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Деградація та втрата земельних ресурсів мають серйозні екологічні та економічні наслідки в глобальному масштабі. Згідно з оцінками ООН майже 12 млн га орних земель щороку втрачається через посуху та опустелювання. Процес деградації земель, що відбувається у посушливих, напівпосушливих та напівсухих екосистемах, часто називають опустелюванням. Це явище визнано однією з найбільших проблем для міжнародної спільноти через численні пов'язані з ним екологічні проблеми, як от деградація ґрунту, засолення, замулення та пилові бурі. Для вивчення процесу опустелювання та його впливу зазвичай аналізують довгострокові серії даних вимірювань характеристик ґрунту. Хоча цей підхід дає детальне розуміння фізичних процесів, проте обмежений у плані просторового охоплення. Через лімітований доступ до каліброваного обладнання та недостатній досвід збору довгострокових даних у багатьох посушливих регіонах виникають додаткові труднощі для наземного моніторингу. Тому дані дистанційного зондування Землі з супутників активно використовуються для вивчення процесів опустелювання в агроєкосистемах. Завдяки можливості забезпечувати широке просторове та часове покриття, ці дані дають змогу досліджувати опустелювання від локального до глобального рівня впродовж тривалого часу. Початком вивчення опустелювання методами дистанційного зондування можна вважати 1981 р., коли Ульф Геллден визначав підходи до відновлення деградованих екосистем в Африці, аналізуючи серії довгострокових значень NDVI з 1981 по 1987 рр., отриманих за супутниковими даними NOAA/AVHRR [3]. У подальшому спостерігалось значне зрос-

тання кількості наукових досліджень та розробки нових методик, присвячених вивченню процесів опустелювання із застосуванням супутникових даних.

Дослідження чутливості екосистем до опустелювання у різних країнах, як-от Іран, Алжир, Єгипет та ін., виконані за допомогою методики MEDALUS, представляють значний внесок у розуміння та прогнозування процесів деградації земельних ресурсів. Методика MEDALUS, розроблена для оцінки чутливості екосистем до опустелювання в рамках одноіменної міжнародної програми. Вона враховує різні чинники, як-от клімат, ґрунт, рослинність та антропогенний вплив, і дає можливість моделювати вплив цих чинників на екосистеми. Ця методика спочатку була впроваджена для регіону Середземномор'я, але згодом вона була застосована і в інших країнах світу. Одним із прикладів такого дослідження є вивчення ризику опустелювання в Йізад Хаст, Іран [4]. Вчені використовували комплексний підхід, застосувавши 20 різних параметрів. Наступним кроком було розроблення карти чотирьох основних показників для моделі MEDALUS, а саме клімату, ґрунту, рослинності та землекористування. Згодом вони додали додаткові параметри, як-от ґрунтові води та вітрова ерозія, для збільшення точності моделі. Порівняння двох отриманих карт дало змогу підтвердити, що додавання регіонально-специфічних параметрів у модель може більш точно відтворювати процеси опустелювання.

У дослідженні чутливості до опустелювання екосистеми западини Ваді Ель-Натрун, Єгипет [5], було використано просторовий аналіз у ГІС. Для цього вчені застосовували тематичні шари ґрунтів, рослинності, клімату та якості управління, оброблені з різних джерел, включаючи топографічні та геологічні мапи, а також супутникові зображення. Вони використали функцію просторового аналізатора для визначення індексу опустелювання та створення карт чутливих зон.

Ще одним прикладом є дослідження екологічної чутливості до опустелювання

в Східному Алжирі [6], де також використовувалась методологія MEDALUS. Вчені застосовували тематичні шари, як-от рослинність, клімат, ґрунт та соціоекономічний стан, для визначення чутливості земельних ресурсів до опустелювання. Основна мета полягала в ідентифікації місць із різною чутливістю до деградації ґрунтів та розробці моделі для прогнозування опустелювання в регіоні Аурес на основі індексу чутливих зон до деградації ґрунтів, до яких належать якісні показники якості довкілля (клімат, рослинність, ґрунт), так і антропогенні чинники (управління), враховані як вагові шари.

Ще одним важливим дослідженням є робота, проведена на території Північного Синаю в Єгипті [7], де науковці оцінювали її чутливість до опустелювання за моделлю MEDALUS. Вони врахували шість індексів якості, як-от вода, клімат, ґрунт, вегетація, управління та вітрова ерозія. Застосувавши модель MEDALUS, вчені здійснили оцінку процесів опустелювання на основі цих показників і встановили, що найбільший вплив на процес опустелювання мають індекси клімату і вегетаційний індекс, а також індекс якості управління. У той час як індекс якості ґрунту має менший вплив.

Схоже дослідження також проводилося в оазисі Ел-Дахла [8], пустелі Західного Єгипту, де вчені оцінювали сучасне кліматичне опустелювання. Вони обрали ключові індекси, як-от температура, кількість опадів, вітер, альbedo, показники ґрунтових вод та ґрунту, і застосували інтеграцію методики MEDALUS, ГІС та дистанційного зондування для аналізу цих показників. Це дослідження дало змогу отримати уявлення про тенденції в опустелюванні в цьому регіоні та визначити основні чинники, що впливають на цей процес.

Усі ці дослідження є частиною широкого спектра наукових робіт, спрямованих на розуміння та боротьбу з опустелюванням у різних частинах світу. Вони демонструють значення застосування сучасних методів аналізу та моделювання, як-от MEDALUS і ГІС, для вивчення та моніторингу стану навколишнього середовища та земельних

ресурсів, а також розробки ефективних стратегій збереження та відновлення деградованих екосистем.

У роботі [9] проведено класифікацію програм дистанційного зондування на чотири категорії: класифікацію покриття, оцінку структур, виявлення змін та моделювання. Відзначено великий потенціал засобів дистанційного зондування Землі у забезпеченні оцінки процесів деградації завдяки своїй відносно низькій вартості порівняно з іншими методами та в оцінці біомаси на великих територіях, особливо на регіональному або національному рівнях, де відсутні польові дані. Розроблено низку методик дистанційного моніторингу процесів опустелювання.

Перша світова карта деградації ґрунтів була оприлюднена Глобальною програмою оцінки зниження родючості ґрунтів унаслідок антропогенного впливу (GLASOD) у 1991 р. [10]. Проєкт фінансували та реалізовували під егідою Програми Організації Об'єднаних Націй із навколишнього середовища (ЮНЕП) у співпраці з Міжнародним центром інформації щодо ґрунтів (ISRIC). Це забезпечило першу приблизну оцінку деградації земель на світовому рівні. Однак рекомендації, запропоновані ISRIC, не були застосованими у багатьох країнах, оскільки були або занадто складними, або недостатньо точними, тому для оцінки використовувалися відмінні параметри для різних країн. Загалом, ця ініціатива була корисною та відіграла важливу роль у світовому розумінні масштабів проблеми на глобальному рівні, незважаючи на неповні та неоднорідні результати.

Що стосується регіонального і локального рівнів, то цій області присвячені численні дослідження вчених із багатьох країн. Наприклад, було розроблено експертну систему для оцінки екологічної чутливості DSS-ESI для визначення ризику опустелювання на місцевому рівні для регіону Базилікату в Італії [11]. Результатом є комплексний індекс чутливості земель до опустелювання (ESI), розрахований окремо для найбільш репрезентативних типів земельного покриття на досліджуваній те-

риторії. Він включає різноманітні типи змінних: ґрунтові, кліматичні, рослинні та землекористування. В інших дослідженнях вони розглядаються як індикатори опустелювання.

Для оцінки та моніторингу процесів деградації земель та опустелювання в Мексиці [12] використовувалися регіональні тренди таких індикаторів опустелювання, як чиста первинна продуктивність (NPP) та рослинний покрив (CC), отриманих за допомогою супутникових даних, які є вільно доступними.

Доступ до супутникових зображень відкрив нові можливості для визначення, оцінки та контролю за поширенням опустелювання та деградацією земель за допомогою показників, отриманих на основі багатоспектральних супутникових даних. Часові тренди цих показників показують закономірності та тенденції розвитку цих процесів у часі. Тому, дистанційне зондування постає як інструмент оцінки деградації земель та опустелювання.

Методи моніторингу стану та змін ландшафтів використовують переваги та потенціал супутникових знімків дистанційного зондування. Більшість досліджень зосереджено на виявленні зменшення рослинного покриття. Значна кількість досліджень аналізує можливості дистанційного зондування, різні підходи та дані дистанційного зондування для різних програм моніторингу.

Дослідниками Edoardo A.C. Costantini, Giovanni L'Abate та ін. розроблено карту ґрунтів Італії [13]. Ґрунтова карта показує розподіл основних ґрунтів по країні. Дослідження спрямовано на розробку методології для створення нового атласу ризику опустелювання в Італії. Основним джерелом інформації була база геоданих ґрунтової системи Італії, що містить інформацію про типологічні одиниці та ландшафти з ґрунтами в еталонному масштабі 1:500 000.

Оцінка опустелювання в Еритреї [14] здійснено з використанням даних Landsat за період з 1970-х років до 2014 р. Для оцінки застосовано метод дерева рішень,

заснований на нормалізованому різницево-му індексі вегетації (NDVI), ґрунтово-коригованому індексі рослинності (SAVI) та відсотку рослинного покриву для кількісної оцінки та аналізу опустелювання.

Визначення тенденцій опустелювання на півночі Ефіопії [15] були визначені шляхом застосування нормалізованого індексу різниці рослинності (NDVI), індексу розміру зерна верхнього шару ґрунту (TGSI) та індексу концентрації опадів (PCI), що розраховані на основі зображень Landsat та метеорологічних даних з 1990 по 2018 рр. Для оцінки темпів опустелювання використовувався метод дерева рішень, що базувався на даних Landsat 5 TM+ і Landsat 8 OLI за 1990, 1995, 2000, 2008, 2014 і 2018 рр.

Вивченню впливу неоднорідності ґрунтового покриву, зокрема кількості різних видів рослинності в межах групи пікселів, на відновлення вологості ґрунту за допомогою активних мікрохвильових даних дистанційного зондування присвячено дослідження [16]. Основна ціль полягала в з'ясуванні, як різноманітність рослинного покриву впливає на точність визначення вологості ґрунту з використанням мікрохвильових даних. У цьому дослідженні висвітлюється важливість моніторингу динаміки вологості ґрунту від локального до глобального масштабів. Увагу зосереджено на розширенні сфери дистанційного зондування вологості ґрунту, завдяки запуску спеціалізованих супутникових місій (наприклад, SMOS, SMAP) та нових місій, як-от SENTINEL-1, які забезпечують можливість довгострокового моніторингу поверхні суші.

У своєму дослідженні Peng J. та Loew A. [17] узагальнили останні досягнення у визначенні вологості ґрунту через дистанційне зондування. Проведено оцінку використання різних алгоритмів для пошуку, перевірки та застосування супутникових продуктів вологості ґрунту й розглянуто методику оцінки вологості ґрунту, зокрема за допомогою мікрохвильового дистанційного зондування та теплової інфрачервоної інформації. Також окреслено складність

перевірки супутникових продуктів зволоження ґрунту через різні просторові масштаби вимірювань на місці та супутникових даних.

Визначенню ефективності індикаторів опустелювання, якими є зміни в землекористуванні та сільськогосподарських угіддях, які можна легко ідентифікувати за допомогою супутникових знімків присвячено дослідження Albalawi E.K. та Kumar L., в якому також проаналізовано використання дистанційного зондування та ГІС для моніторингу опустелювання в усьому світі [18].

У дослідженні Ghosh A., Rakshit S., Tikle S. та ін. [19] методи ГІС і дистанційного зондування були інтегровані з переглянutoю моделлю універсального рівняння втрати ґрунту (RUSLE) для оцінки втрати ґрунту в басейні р. Маюракші Східної Індії. Для визначення районів, схильних до ерозії ґрунту, використовувалися карти кількості опадів, землекористування та ґрунтового покриву, а також цифрова модель рельєфу (ЦМР). Застосування ГІС, в яку інтегровано модель універсального рівняння втрати ґрунту (RUSLE) і ДЗЗ, уможливило здійснення оцінки втрати ґрунту внаслідок ерозії, для визначення районів, схильних до ерозії ґрунту.

Для аналізу змін землекористування та земельного покриву (LULC) в оазисі Терната (Марокко) за останні тридцять років були використані часові ряди Landsat із 10-річними інтервалами з 1991 по 2021 рр. [20]. Для цього застосовувалися методи класифікації максимальної правдоподібності (MLC) та нормалізований різнице-вий вегетаційний індекс (NDVI). Карти MLC були розділені на п'ять класів LULC: оброблена земля, опустелена земля, безплідна земля, забудована територія та водойми. Карти NDVI класифікувалися на два класи: оброблені та необроблені землі.

У рамках створення карти ерозії, посухи та опустелювання Республіки Північна Македонія національного рівня, включено карту інтенсивності ерозії, карту втрати ґрунту за методологією RUSLE, карту посушливості (індекс посушливості розрахо-

увався за допомогою двох методів: підходу ЮНЕП і BGI — Bagnouls-Gaussen index), карту вразливості до посухи та розмежування регіону, сприйнятливо до опустелювання [21]. Моделювання проводилося в ГС-середовищі на основі офіційної національної бази даних, що включала інформацію про ґрунт, геологію, ґрунтовий покрив/використання та кліматичні карти.

У дослідженні просторових та часових тенденцій чутливості до опустелювання земель у провінції Нінь Тхуан, В'єтнам, використовувався індекс чутливості до опустелювання (DSI), розрахований для 1996, 2005, 2010 та 2016 рр. на основі моделі Medalus із застосуванням 10 кількісних параметрів, що включали якість ґрунту, клімат та рослинність [22]. У результаті картографування опустелювання з використанням ГС-технологій виділено чутливі зони, пов'язані з п'ятьма класами DSI.

Під час геопросторового аналізу вразливості ґрунтів Греції до опустелювання [23] дослідниками використано індекс екологічно чутливих територій (ESAI), що застосовується для оцінки сприйнятливості територій до опустелювання. Цей індекс аналізує різні параметри, які важливі для здоров'я навколишнього середовища, як-от людська діяльність, геологія, якість ґрунту, рослинність і кліматичні моделі. Для реального дослідження кожен із цих чинників отримує вагу, що дає змогу визначити рівень вразливості до опустелювання.

Також уваги заслуговують останні винаходи в галузі оцінки екологічного ризику та систем моніторингу опустелювання та стану ґрунтів.

Патенти [24; 25] описують методи оцінки екологічного ризику та системи раннього попередження, які базуються на різних модулях обробки даних, включаючи обробку зображень дистанційного зондування, розрахунок індексів ризику та динамічний моніторинг. Методи, описані у цих патентах, використовують спеціалізовані модулі для попередньої обробки даних та розрахунок екологічного ризику, що дає можливість отримувати більш точні та науково обґрунтовані результати. Крім того, вони

містять системи раннього попередження та підтримки прийняття рішень, які забезпечують аналіз змін індексів та налаштування порогів, що дає змогу оперативно реагувати на потенційні загрози опустелювання. Тому, ці винаходи не лише забезпечують здійснення моніторингу та раннє виявлення можливих загроз, але і надають інструменти для належного управління екологічними ризиками й забезпечення ефективної системи раннього попередження.

Метод моніторингу ефективності заходів проти кам'янистого опустелювання на основі багатьох джерел ДЗЗ запропоновано Feng H. із співав. [26]. Зокрема, цей метод оцінює зміни в рослинному покриві та індексі листяної площі перед та після застосування заходів проти опустелювання та формує систему оцінки ефективності цих заходів. Перевагою даного методу є можливість систематичного та комплексного моніторингу ефективності заходів проти опустелювання, що дає можливість забезпечити науково обґрунтовану оцінку їхньої ефективності.

Система моніторингу опустелювання, сконцентрована на виявленні та відстеженні процесу опустелювання земель із використанням технологій аерокосмічного та авіаційного зондування для збору інформації про електромагнітні хвилі, що випромінюються або відбиваються від цілей, далеких від спостерігача, запропонована Weng K. [27]. Ця система дає змогу вчасно та точно простежити процеси опустелювання земель, зрозуміти його динаміку та механізми, що лежать у його основі, надаючи підґрунтя для прийняття рішень щодо боротьби з опустелюванням.

Українські вчені, як-от В. Лялько, О. Апостолов, Л. Єлістратова, та В. Романчук, працюють над розробкою методів виявлення осередків опустелювання за даними супутникового моніторингу довкілля [28]. Наприклад, у дослідженні О.А. Апостолова, Л.О. Єлістратової, В.Ф. Романчука та В.М. Чехнія (2020 р.) були розроблені методичні підходи до визначення вологозабезпеченості території за даними дистанційного зондування з ви-

користанням розрахунків водних індексів [29]. Ці підходи базуються на умовах сучасного глобального та регіонального потепління та можуть бути також застосовані у моніторингу процесів опустелювання для оцінки вологозабезпечення піддослідного полігону, як одного з параметрів.

У роботі О.Г. Тараріко, О.В. Сиротенко, Т.В. Ільєнко й Т.Л. Кучма, розглянуто науково-методичні засади, зміст та завдання супутникового агроекологічного моніторингу, проаналізовано діючі системи супутникового знімання у світі, режим та умови дистанційного моніторингу об'єктів агроландшафтів [30]. Зокрема, удосконалено класифікацію деградаційних процесів в агроландшафтах, результати визначення стану посівів, умов вологозабезпечення та просторового розповсюдження кризових посушливих явищ, а також прогнозування впливу змін клімату на продуктивність і валові збори зернових культур за супутниковими даними і запропоновано удосконалену класифікацію, яка базується на використанні фізико-технологічних можливостей та принципів роботи засобів ДЗЗ, визначених спектральних характеристиках фізичних об'єктів, ґрунтів, та рослинного покриву залежно від їх стану.

За відбивною здатністю та кольором ґрунтів можливо розпізнавати такі їх властивості, як хімічний склад, зволоженість, текстуру, вміст органічної речовини. В ННЦ «Інститут ґрунтознавства та агрохімії імені О.Н. Соколовського» досить успішно розвиваються роботи з моніторингу різноманітних характеристик ґрунту за даними ДЗЗ [31].

У дослідженнях О.Г. Тараріко зі співавт. (2021) проаналізовано стан агроландшафтів України й основні процеси деградації ґрунтів, зокрема водну та вітрову ерозію [32]. Застосовано супутникові дані для аналізу поширення пилових бур у зоні Полісся. За результатами виявлено збільшення ризику водної та вітрової ерозії через зміни клімату та сучасну сільськогосподарську діяльність.

Особливості візуального декодування водної ерозії за допомогою даних дис-

танційного зондування висвітлено в дослідженнях А.Б. Ачасова і А.О. Ачасової [33]. Ними використано різні методи, як-от аналіз даних дистанційного зондування, польові дослідження та географічний аналіз. Основна увага у статті приділена особливостям візуального декодування лінійних форм ерозії. Зроблено порівняльний аналіз аерофотознімків 1943 р. та сучасних супутникових зображень для регіону Харкова. У статті наведено перелік ознак, що визначають лінійні форми ерозії на зображеннях, а також виявлено проблеми, які можуть виникати під час автоматичного декодування.

Патенти, спрямовані на вивчення процесів, пов'язаних з опустелюванням, та використанні ДДЗ можуть бути застосовані в процесі здійснення моніторингу деградаційних процесів ґрунту.

Пристрій для вивчення дефляції ґрунтів [34] призначений для вимірювання вітрової ерозії ґрунту та може бути використаним для верифікації результатів отриманих шляхом засобів дистанційного моніторингу.

Спосіб виявлення втрат ґрунту внаслідок водної ерозії [35] використовує фотографічне визначення площі поперечного профілю промоїни та наземний вимір її довжини для встановлення об'єму змитого ґрунту. Сутність полягає в створенні цифрової моделі мікрорельєфу для оцінки об'єму змитого ґрунту та має важливе значення для моніторингу явищ водної ерозії як одного з взаємопов'язаних чинників процесу опустелювання.

ВИСНОВКИ

Дистанційне зондування відіграє важливу роль у моніторингу та оцінці процесів опустелювання агроecosистем та деградації земель завдяки своїй відносно низькій вартості, можливості охоплення великих територій та використання різноманітних датчиків і методів аналізу даних. Воно дає змогу виявляти зміни у рослинному покриві, ґрунтах, землекористуванні, а також явища посухи, ерозії ґрунтів, урбанізації, що є ключовими індикаторами опустелювання.

Частота використання різних супутникових систем для вивчення опустелювання за останні 35 років значною мірою залежить від тривалості збору даних, роздільної здатності, доступності даних та спектральних можливостей [3]. Найчастіше використовуються дані з Landsat TM, який працював з 1984 по 2012 рр., та інших версій Landsat (ETM+ та OLI). Вони забезпечують високу роздільну здатність (30 м) і мають широкий вільний доступ до даних, що робить їх поширеними для досліджень.

MODIS також повсюдно використовується завдяки високій частоті знімання (до двох разів на день) і роздільній здатності від 250 до 1000 м, що дає можливість швидко оновлювати дані. Дані NOAA/AVHRR, хоча й мають нижчу роздільну здатність (1 км), також використовуються часто завдяки довготривалому архіву, який дає змогу аналізувати зміни впродовж десятиліть.

Менше застосовуються дані з систем SPOT, Hyperion та Sentinel через комерційні обмеження, меншу площу покриття або відносну новизну програм. Аерофотозйомка використовується рідко через високу вартість та обмежену доступність. Тому перевага надається тим системам, які пропонують тривалий період спостережень, високу роздільну здатність і легкий доступ до даних, що робить їх більш придатними для вивчення опустелювання.

Найпоширенішими методами дослідження опустелювання за допомогою дистанційного зондування протягом останніх 35 років є класифікація та виявлення змін [3]. Це пов'язано з їхньою здатністю чітко ідентифікувати типи земельного покриття та відстежувати динаміку опустелювання. Також широко застосовуються статистичні методи та інші методи просторового аналізу, які дають можливість обробляти великі обсяги даних і виявляти просторові закономірності та залежності. Методи аналізу тенденцій та часових рядів використовуються для вивчення довгострокових змін і прогнозування майбутніх сценаріїв опустелювання. Аналіз рослинності допо-

магає оцінити стан рослинного покриву, що є важливим індикатором опустелювання. Оцінка частоти виникнення застосовується для розуміння ризиків у певних регіонах. Спектральний аналіз використовується рідше через його складність, але він дає змогу виявляти різні характеристики земельного покриття, що може бути корисним для спеціалізованих досліджень.

Поєднання оптичних, мультиспектральних даних дистанційного зондування з активними датчиками, як-от LIDAR та РАДАР, наземними спостереженнями та моделюванням відкриває високий потенціал для розробки комплексних методологій моніторингу деградації агроландшафтів.

Дослідження демонструють ефективність інтегрованого підходу із залученням геоінформаційних систем, супутникових даних, аналізу екологічних показників та математичних моделей опустелювання, адаптованих до регіональних особливостей.

Застосування моделей, таких як MEDALUS, дерева рішень на основі NDVI, індексів посухи, ерозії ґрунтів, а також використання ГІС-інструментів для картографування та аналізу часових змін забезпечує точнішу оцінку чутливості регіонів до опустелювання. Зокрема, було успішно визначено рівень деградації у різних країнах, зонах (Іран, Єгипет, Середземномор'я та ін.).

Вчені в Україні також активно працюють над розвитком методів супутникового моніторингу агроландшафтів, класифікації елементів ландшафту, оцінки деградаційних процесів ґрунту, зокрема з використанням водних індексів, нейронних мереж, інтеграції даних ДЗЗ та ГІС.

До того ж залишаються актуальними питання вдосконалення методів інтеграції різних типів даних ДЗЗ, верифікації та валідації, поєднання супутникових вимірювань із наземними спостереженнями та моделями для кращого розуміння динаміки процесів на різних масштабах.

Важливими напрямками подальших досліджень є: адаптація існуючих моделей та індексів до специфічних регіональних умов, розробка нових уніфікованих індек-

сів, а також методів прогнозування впливу кліматичних змін на опустелювання агро-екосистем із застосуванням ДЗЗ, поглиблення міжнародної співпраці в обміні даними та досвідом. Окремо слід відзначити необхідність вдосконалення методик дис-

танційного зондування для своєчасної та точної оцінки процесів деградації земель та розширювати напрацювання на регіональному й національному рівнях задля життя відповідних заходів зі стримування цих негативних явищ.

ЛІТЕРАТУРА

1. Про затвердження Загальнодержавної програми боротьби з опустелюванням та деградацією ґрунтів: Закон України від 22.06.2022 р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/61-IV#Text>.
2. Конвенція Організації Об'єднаних Націй про боротьбу з опустелюванням у тих країнах, що потерпають від серйозної посухи та/або опустелювання, особливо в Африці від 17.06.1994 р. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/995_120#Text.
3. Rivera-Marin D., Dash J. and Ogotu B. The use of remote sensing for desertification studies: A review. *Journal of Arid Environments*. 2022. Vol. 206. 104829. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2022.104829>.
4. Farajzadeh M. and Nik Egbal M. Evaluation of MEDALUS Model for Desertification Hazard Zonation Using GIS; Study Area: Iyzad Khasht Plain, Iran. *Pakistan Journal of Biological Sciences*. 2007. Vol. 10. P. 2622–2630. DOI: <https://doi.org/10.3923/pjbs.2007.2622.2630>.
5. Ali R. and Baroudy A.A. Use of GIS in Mapping the Environmental Sensitivity to Desertification in Wadi El Natrun Depression, Egypt. *Australian Journal of Basic and Applied sciences*. 2008. Vol. 2. P. 157–164.
6. Benabderrahmane M.C. and Chenchouni H. Assessing Environmental Sensitivity Areas to Desertification in Eastern Algeria using Mediter-ranean Desertification and Land Use «MEDALUS» Model. *International Journal of Sustainable Water and Environmental Systems*. 2010. Vol. 1. P. 5–10. DOI: <https://doi.org/10.5383/swes.01.01.002>.
7. Al-Khuzai M.M., Elnaggar A., El-Mewafi M. et al. Assessments of Environmental Sensitivity to Desertification in North Sinai, Egypt Using Remote Sensing and GIS Techniques. *International Journal of Scientific and Engineering Research*. 2015. Vol. 6. P. 799–806.
8. Ismael H. Evaluation Of Present-Day Climate-Induced Desertification In El-Dakhla Oasis, Western Desert Of Egypt, Based On Integration Of MEDALUS Method, GIS And RS Techniques. *Present Environment and Sustainable Development*. 2015. Vol. 9. P. 47–72. DOI: <https://doi.org/10.1515/pesd-2015-0024>.
9. Franklin S.E. Remote Sensing for Sustainable Forest Management (1st ed.). CRC Press. 2001. DOI: <https://doi.org/10.1201/9781420032857>.
10. URL: <https://www.isric.org/projects/global-assessment-human-induced-soil-degradation-glasod>.
11. Salvati L., Bajocco S., Ferrara A. et al. Desertification Risk, Long-Term Land-Use Changes and Environmental Resilience: A Case Study in Basilicata, Italy. *Scottish Geographical Journal*. Vol. 129. P. 85–99. DOI: <https://doi.org/10.1080/14702541.2013.781209>.
12. Romero-Sanchez M.E., Gonzalez-Hernandez A. and Moreno-Sanchez F. The Assessment of Land Degradation and Desertification in Mexico: Mapping Regional Trend Indicators with Satellite Data. *Land Degradation and Desertification: a Global Crisis*. 2016. P. 3–27. DOI: <https://doi.org/10.5772/64241>.
13. Costantini E.A.C., L'Abate G., Barbetti R. et al. The soil province geodatabase of Italy, storing information of soil typological units and broad soil regions at the 1:1,000,000 and 1:10,000,000 scales. *Geoderma Zenodo*. 2022. Vol. 271. P. 243–253. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.7072306>.
14. Ghebregabher M.G., Yang T., Yang X. and Wang C. Assessment of desertification in Eritrea: land degradation based on Landsat images. *Journal of Arid Land*. 2019. Vol. 11. P. 319–331. DOI: <https://doi.org/10.1007/s40333-019-0096-4>.
15. Gebru B., Lee W.-K., Khamzina A. et al. Spatiotemporal multi-index analysis of desertification in dry Afromontane forests of northern Ethiopia. *Environment, Development and Sustainability*. 2021. Vol. 23. P. 423–450. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10668-020-00587-3>.
16. Lakhankar T., Ghedira H., Temimi M. et al. Effect of Land Cover Heterogeneity on Soil Moisture Retrieval Using Active Microwave Remote Sensing Data. *Remote Sensing*. 2009. Vol. 1. P. 80–91. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs1020080>.
17. Peng J. and Loew A. Recent Advances in Soil Moisture Estimation from Remote Sensing. *Water*. 2017. Vol. 9. P. 530. DOI: <https://doi.org/10.3390/w9070530>.
18. Albalawi E.K. and Kumar L. Using remote sensing technology to detect, model and map desertification: A review. *Journal of Food, Agriculture and Environment*. 2013. Vol. 11. P. 791–797.
19. Ghosh A., Rakshit S., Tikle S. et al. Integration of GIS and Remote Sensing with RUSLE Model for Estimation of Soil Erosion. *Land*. 2022. Vol. 12 (1). P. 116. DOI: <https://doi.org/10.3390/land12010116>.
20. Moumane A., Al Karkouri J., Benmansour A. et al. Monitoring long-term land use, land cover change, and desertification in the Ternata oasis, Middle Draa Valley, Morocco. *Remote Sensing Applications Society and Environment*. 2022. Vol. 26. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2022.100745>.
21. Blinkov I., Trendafilov A., Muaketov D. et al. Atlas on Erosion, Drought and Desertification of the Re-

- public of North Macedonia. 2023. DOI: <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.26208.05120>.
22. Nguyen B.T., Dinh G.D. and Le L.B. Spatial and temporal-trend assessment of desertification-sensitive land using the desertification sensitivity index in the provincial Ninh Thuan, Vietnam. *Environmental Monitoring and Assessment*. 2024. Vol. 196. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10661-024-12707-x>.
 23. Kalogeropoulos K., Tsesmeli D.E., Tsatsaris A. et al. Geospatial Insights into Greece's Desertification Vulnerability: A Composite Indicator Approach. *Geo-Hazards*. 2024. Vol. 5 (2). P. 374–392. DOI: <https://doi.org/10.3390/geohazards5020020>.
 24. Yang B., Wang S., Wang C. et al. Desertification hazard early warning method: Patent CN109166295A; 2019.
 25. Wu L., Sun S. and Fan L. Ecological risk assessment method and early warning system based on ecological protection red line demarcation: Patent CN117522117A; 2024.
 26. Feng H., Ye S., Xie L. et al. Stony desertification control effect multi-index monitoring and evaluating method based on multi-source remote sensing data: Patent CN110553980; 2019.
 27. Weng K. Desertification monitor system: Patent CN109359165A; 2019.
 28. Лялько В.І., Єлістратова Л.О., Апостолов О.А., Чехній В.М. Аналіз ґрунтово-ерозійних процесів в Україні на основі застосування даних дистанційного зондування Землі. *Вісник Національної академії наук України*. 2017. № 10. С. 34–41.
 29. Апостолов О.А., Єлістратова Л.О., Романчук І.Ф., Чехній В.М. Виявлення осередків опустелювання в Україні на основі розрахунків водних індексів за даними дистанційного зондування Землі. *Український географічний журнал*. 2020. № 1. С. 16–25. DOI: <https://doi.org/10.15407/ugz2020.01.016>.
 30. Тараріко О.Г., Сиротенко О.В., Ільєнко Т.В., Кучма Т.Л. Агроекологічний супутниковий моніторинг. Київ: Аграрна наука, 2019. 204 с.
 31. Truskavetsky S., Vundych T., Sherstyuk A. et al. Studying the condition of soil protection agro-landscape in Ukraine using remote sensing methods. *Journal of Agricultural Science and Technology*. 2015. Vol. 5 (4). P. 235–240.
 32. Тараріко О.Г., Ільєнко Т.В., Кучма Т.Л. та ін. Ерозія ґрунтів як чинник опустелювання агроландшафтів України. *Агроекологічний журнал*. 2021. № 3. С. 6–16. DOI: <https://doi.org/10.33730/2077-4893.3.2021.240316>.
 33. Ачасов А.Б., Ачасова А.О. Особливості візуального дешифрування проявів водної ерозії за даними дистанційного зондування. *Людина та довкілля. Проблеми неоекології*. 2020. № 33. С. 145–154. DOI: <https://doi.org/10.26565/1992-4224-2020-33-13>.
 34. Тараріко О.Г., Зубов А.О., Зубов О.Р. Пристрій для вивчення дефляції ґрунтів: Пат. UA136545U; 2019.
 35. Ачасов А.Б., Ачасова А.О., Селіверстов О.Ю. та ін. Спосіб визначення втрат ґрунту внаслідок водної ерозії: Пат. UA149430U; 2021.

REFERENCES

1. Pro zatverdzhennia Zahalnoderzhavnoi prohramy borotby z opusteliuvanniam ta dehradatsiieiu gruntyv: Zakon Ukrainy vid 22.06.2022 [On approval of the National Program for Combating Desertification and Soil Degradation: Law of Ukraine dated June 22, 2022]. (2022). URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/61-IV#Text> [in Ukrainian].
2. Konventsiia Orhanizatsii Obiednanykh Natsii pro borotbu z opusteliuvanniam u tykh krainakh, shcho poterpauit vid seryoznoi posukhy ta/abo opusteliuvannia, osoblyvo v Afrytsii vid 17.06.1994 r. [United Nations Convention to Combat Desertification in Countries Experiencing Serious Drought and/or Desertification, Particularly in Africa dated June 17, 1994]. (1994). URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/995_120#Text [in Ukrainian].
3. Rivera-Marin, D., Dash, J. & Ogutu, B. (2022). The use of remote sensing for desertification studies: A review. *Journal of Arid Environments*. 206. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2022.104829> [in English].
4. Farajzadeh, M. & Nik Egbal, M. (2007). Evaluation of MEDALUS Model for Desertification Hazard Zonation Using GIS; Study Area: Iyzad Khast Plain, Iran. Pakistan. *Journal of Biological Sciences*, 10, 2622–2630. DOI: <https://doi.org/10.3923/pjbs.2007.2622.2630> [in English].
5. Ali, R. & Baroudy, A.E. (2008). Use of GIS in Mapping the Environmental Sensitivity to Desertification in Wadi El Natrun Depression, Egypt. *Australian Journal of Basic and Applied sciences*, 2, 157–164 [in English].
6. Benabderrahmane, M.C. & Chenchouni, H. (2010). Assessing Environmental Sensitivity Areas to Desertification in Eastern Algeria using Mediterranean Desertification and Land Use «MEDALUS» Model. *International Journal of Sustainable Water and Environmental Systems*, 1, 5–10. DOI: <https://doi.org/10.5383/swes.01.01.002> [in English].
7. Al-Khuzai, M.M., Elnaggar, A., El-Mewafi, M. et al. (2015). Assessments of Environmental Sensitivity to Desertification in North Sinai, Egypt Using Remote Sensing and GIS Techniques. *International Journal of Scientific and Engineering Research*, 6, 799–806 [in English].
8. Ismael, H. (2015). Evaluation Of Present-Day Climate-Induced Desertification In El-Dakhla Oasis, Western Desert Of Egypt, Based On Integration Of MEDALUS Method, GIS And RS Techniques. *Present Environment and Sustainable Development*, 9. DOI: <https://doi.org/10.1515/pesd-2015-0024> [in English].
9. Franklin, S.E. (2001). Remote Sensing for Sustainable Forest Management (1st ed.). CRC Press. DOI: <https://doi.org/10.1201/9781420032857> [in English].
10. URL: <https://www.isric.org/projects/global-assessment-human-induced-soil-degradation-glasod>

11. Salvati, L., Bajocco, S., Ferrara, A. et al. (2013). Desertification Risk, Long-Term Land-Use Changes and Environmental Resilience: A Case Study in Basilicata, Italy. *Scottish Geographical Journal*, 129, 85–99. DOI: <https://doi.org/10.1080/14702541.2013.781209> [in English].
12. Romero-Sanchez, M.E., Gonzalez-Hernandez, A. & Moreno-Sanchez, F. (2016). The Assessment of Land Degradation and Desertification in Mexico: Mapping Regional Trend Indicators with Satellite Data. *Land Degradation and Desertification: a Global Crisis*, 3–27. DOI: <https://doi.org/10.5772/64241> [in English].
13. Costantini, E.A.C., L'Abate, G., Barbetti, R. et al. (2022). The soil province geodatabase of Italy, storing information of soil typological units and broad soil regions at the 1:1,000,000 and 1:10,000,000 scales [Data set]. *Geoderma, Zenodo*, 271, 243–253. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.7072306> [in English].
14. Ghebregabher, M.G., Yang, T., Yang, X. & Wang, C. (2019). Assessment of desertification in Eritrea: land degradation based on Landsat images. *Journal of Arid Land*, 11, 319–331. DOI: <https://doi.org/10.1007/s40333-019-0096-4> [in English].
15. Gebru, B., Lee, W.-K., Khamzina, A. et al. (2021). Spatiotemporal multi-index analysis of desertification in dry Afromontane forests of northern Ethiopia. *Environment, Development and Sustainability*, 23, 423–450. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10668-020-00587-3> [in English].
16. Lakhankar, T., Ghedira, H., Temimi, M. et al. (2009). Effect of Land Cover Heterogeneity on Soil Moisture Retrieval Using Active Microwave Remote Sensing Data. *Remote Sensing*, 1, 80–91. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs1020080> [in English].
17. Peng, J. & Loew, A. (2017). Recent Advances in Soil Moisture Estimation from Remote Sensing. *Water*, 9, 530. DOI: <https://doi.org/10.3390/w9070530> [in English].
18. Albalawi, E.K. & Kumar, L. (2013). Using remote sensing technology to detect, model and map desertification: A review. Armidale, Australia. *Journal of Food, Agriculture and Environment*, 11, 791–797 [in English].
19. Ghosh, A., Rakshit, S., Tikle, S. et al. (2022). Integration of GIS and Remote Sensing with RUSLE Model for Estimation of Soil Erosion. *Land*, 12 (1), 116. DOI: <https://doi.org/10.3390/land12010116> [in English].
20. Moumane, A., Al Karkouri, J., Benmansour, A. et al. (2022). Monitoring long-term land use, land cover change, and desertification in the Ternata oasis, Middle Draa Valley, Morocco. *Remote Sensing Applications Society and Environment*, 26. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rsae.2022.100745> [in English].
21. Blinkov, I., Trendafilov, A., Muaketov, D. et al. (2023). Atlas on Erosion, Drought and Desertification of the Republic of North Macedonia. DOI: <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.26208.05120> [in English].
22. Nguyen, B., Dai, G.D. & Le, L.B. (2024). Spatial and temporal-trend assessment of desertification-sensitive land using the desertification sensitivity index in the provincial Ninh Thuan, Vietnam. *Environmental Monitoring and Assessment*, 196. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10661-024-12707-x> [in English].
23. Kalogeropoulos, K., Tsesmelis, D.E., Tsatsaris, A. et al. (2024). Geospatial Insights into Greece's Desertification Vulnerability: A Composite Indicator Approach. *GeoHazards*, 5 (2), 374–392. DOI: <https://doi.org/10.3390/geohazards5020020> [in English].
24. Yang, B., Wang, S., Wang, C. et al. (2019). Desertification hazard early warning method: Patent CN109166295A [in English].
25. Wu, L., Sun, S. & Fan, L. (2024). Ecological risk assessment method and early warning system based on ecological protection red line demarcation: Patent CN117522117A [in English].
26. Feng, H., Ye, S., Xie, L. et al. (2019). Stony desertification control effect multi-index monitoring and evaluating method based on multi-source remote sensing data: Patent CN110553980 [in English].
27. Weng, K. (2019). Desertification monitor system: Patent CN109359165A [in English].
28. Lialko, V.I., Yelistratova, L.O., Apostolov, O.A. & Chekhni, V.M. (2017). Analiz gruntovo-eroziynykh protsesiv v Ukraini na osnovi zastosuvannia danykh dystantsiinoho zonduvannia Zemli [Analysis of soil erosion processes in Ukraine based on the application of remote sensing data]. *Visnyk Natsionalnoi akademii nauk Ukrainy — Bulletin of the National Academy of Sciences of Ukraine*, 10, 34–41 [in Ukrainian].
29. Apostolov, O.A., Yelistratova, L.O., Romanchuk, I.F. & Chekhni, V.M. (2020). Vyiavlennia osередkiv opustelivannia v Ukraini na osnovi rozrakhunkiv vodnykh indeksiv za danymy dystantsiinoho zonduvannia Zemli [Detection of desertification hotspots in Ukraine based on calculations of water indices from remote sensing data]. *Ukrainskyi heohrafichnyi zhurnal — Ukrainian Geographical Journal*, 1, 16–25. DOI: <https://doi.org/10.15407/ugz2020.01.016> [in Ukrainian].
30. Tarariko, O.H., Syrotenko, O.V., Iliencko, T.V. & Kuchma, T.L. (2019). Ahroekolohichni suputnykovyi monitorynh [Agroecological satellite monitoring]. Kyiv [in Ukrainian].
31. Truskavetsky, S., Byndych, T., Sherstyuk, A. et al. (2015). Studying the condition of soil protection agrolandscape in Ukraine using remote sensing methods. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 5 (4), 235–240 [in English].
32. Tarariko, O.H., Iliencko, T.V., Kuchma, T.L. et al. (2021). Eroziia gruntiv yak chynnyk opustelivannia ahrolandshaftiv Ukrainy [Soil erosion as a factor of desertification of agricultural landscapes in Ukraine]. *Ahroekolohichni zhurnal — Agroecological journal*, 3, 6–16. DOI: <https://doi.org/10.33730/2077-4893.3.2021.240316> [in Ukrainian].
33. Achasov, A.B. & Achasova, A.O. (2020). Osoblyvosti vizualnoho deshyfruvannia priaviv vodnoi erozii za danymy dystantsiinoho zonduvannia [Features of visual interpretation of water erosion manifestations based on remote sensing data]. *Liudyna ta dovkillia. Problemy neoekolohii — Human and Environment. Issues of Neoecology*, 33, 145–154. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10661-024-12707-x> [in English].

- org/10.26565/1992-4224-2020-33-13 [in Ukrainian].
34. Tarariko, O.H., Zubov, A.O. & Zubov, O.R. (2019). Prystrii dlia vyvchen nia defliatsii gruntiv: Patent UA136545U [Device for studying soil deflation: Patent UA136545U] [in Ukrainian].
35. Achasov, A.B., Achasova, A.O., Seliverstov, O.Yu. et al. (2021). Sposib vyznachennia vtrat gruntu vnaslidok vodnoi erozii: Patent UA149430U [Method for determining soil losses due to water erosion: Patent UA149430U] [in Ukrainian].

Стаття надійшла до редакції журналу 27.05.2024
