



ПОПОВ

Михайло Олексійович — член-кореспондент НАН України, директор Державної установи «Науковий центр аерокосмічних досліджень Землі Інституту геологічних наук НАН України»

ДИСТАНЦІЙНЕ ЗОНДУВАННЯ ЗЕМЛІ В РОЗВ'ЯЗАННІ ГЕОЕКОЛОГІЧНИХ ПРОБЛЕМ УКРАЇНИ: СУЧАСНИЙ СТАН І ПЕРСПЕКТИВИ

Стенограма доповіді на засіданні Президії НАН України 15 травня 2024 року

У доповіді наведено найважливіші результати наукових досліджень у сфері застосування методів і технологій дистанційного зондування Землі для вирішення нагальних прикладних завдань у сфері геоекологічної безпеки держави. Створене фахівцями Державної установи «Науковий центр аерокосмічних досліджень Землі Інституту геологічних наук НАН України» теоретичне та методичне підґрунтя відкриває можливості для комплексного застосування космічних і наземних інформаційних систем під час геоекологічних досліджень об'єктів літосферного, гідросферного та атмосферного середовищ. Розглянуто низку актуальних практичних впроваджень цих розробок в екологічній, соціально-економічній та кліматичній сферах застосування.

Шановний Анатолію Глібовичу!

Шановні присутні!

Вашій увазі пропонується доповідь, присвячена застосуванню методів і технологій дистанційного зондування Землі для розв'язання актуальних геоекологічних проблем України. У своєму виступі я проаналізую сучасний стан і окреслю перспективи розвитку цього напрямку, а також наведу найважливіші результати, отримані колективом Державної установи «Науковий центр аерокосмічних досліджень Землі Інституту геологічних наук НАН України» за останні 5–7 років.

Оксфордський словник (Oxford Dictionary) дає таке визначення терміна *геоекологія*: наука, що вивчає багатогранні взаємовідносини між субстратом і біотою. Дещо ширше поняття «геоекологія» трактують як міждисциплінарний науковий напрям, який охоплює комплексні дослідження екологічного стану абіотичних компонентів природно-антропогенних геосистем, а саме: геологічного середовища, геофізичних сфер, геоморфосфери, гідросфери та атмосфери.

Предметом геоекологічних досліджень із застосуванням дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) є інженерно-геологічні аспекти будівництва, питання рекультивації земель, оцінювання стану водойм, визначення наслідків утилізації та захоронення твердих небезпечних відходів, вивчення впливу родовищ корисних копалин через поверхневі геохімічні аномалії на стан рослинності і здоров'я людей тощо.

ДЗЗ-дослідження, які проводяться в Науковому центрі аерокосмічних досліджень Землі Інституту геологічних наук НАН України, стосуються різних аспектів геоекології, але загалом за головними проблемами, що вивчаються, їх можна поділити на п'ять основних груп:

- 1) проблеми геологічного середовища;
- 2) пожежонебезпеку і проблеми атмосфери;
- 3) проблеми гідросфери;
- 4) проблеми ландшафтно-кліматичних зон;
- 5) проблеми урбанізованих територій.

Є відомий вислів, який зазвичай приписують Лапласу: не варто сперечатися, краще порахуємо. Однак для того, щоб порахувати, потрібно мати дані, тобто результати вимірювань. У нашому Центрі ми використовуємо широкий спектр різних типів даних — супутникову інформацію, параметри, отримані за допомогою повітряних платформ, а також результати польових досліджень, тобто наземних вимірювань.

Очевидно, що для отримання таких даних потрібно мати відповідне устаткування. На щастя, наш Центр більш-менш забезпечений необхідними приладами. Крім того, при нашій установі працює Центр колективного користування спектрорадіометричною апаратурою. Наш парк безпілотних літальних апаратів складається з таких технічних засобів:

- квадрокоптер DJI Matrice 300 RTK з тепловою камерою Zenmuse H20T;
- квадрокоптер DJI Phantom 3 Standard з камерою Ocean Optics STS VIS Developers kit;
- квадрокоптер DJI Phantom 4 Multispectral;
- квадрокоптер Parrot Bebop 2 Thermal;
- DJI Mavic 3 Classic.

З апаратури для проведення польових (наземних) спостережень та вимірювань ми маємо у своєму розпорядженні спектрорадіометр

ASD Field Spec 3 FR; тепловізор Fluke Ti110; мобільну станцію DJI D RTK 2; пірометр Trotec TP 10; тепловізійні біноклі, теплові монокуляри та інше обладнання. Що стосується супутникової інформації, то ми отримуємо дані з п'яти супутників: Sentinel-1, Sentinel-2, Landsat-8, Landsat-9 і Terra/AQUA.

Тепер розглянемо отримані нами результати за окремими напрямками досліджень.

1. ДЗЗ у вирішенні геоекологічних проблем геологічного середовища. Один із важливих аспектів наших досліджень за цим напрямком полягає у здійсненні *моніторингу небезпечних природних і техногенних процесів*. Ми розробили методико-технологічну схему, яка дозволяє із застосуванням оптичної та радарної космічної зйомки оцінити й спрогнозувати розвиток небезпечних природних і техногенних процесів, зокрема при відкритому видобутку корисних копалин. Ми вже провели досить багато різних типів досліджень, у яких ця схема підтвердила свою ефективність. Наприклад, було здійснено супутниковий моніторинг екологічного стану територій видобування титанових руд у межах Іршанської групи родовищ (Лемненське, Верхньо-Іршинське, Іршанське та Межиріченське родовища). Порівняння супутникових даних за період 1986—2023 рр. та їх оброблення з використанням розробленої нами схеми дало змогу оцінити змінення площі земель, порушених унаслідок видобування ільменіту, та якість проведеної постмайнінгової рекультивації (див., напр., рис. 1).

Інший важливий аспект нашої діяльності — це *моніторинг зсувних процесів*. Ми розробили методику дистанційного геоекологічного моніторингу зсувних процесів і застосували її для різних локацій, зокрема для правобережжя Канівського водосховища. На замовлення Київської міської державної адміністрації ми склали карту поширення і динаміки розвитку зсувів у придніпровській зсувній зоні м. Київ, на якій визначено найбільш небезпечні зони. Карту передано до Спеціалізованого управління протизсувних підземних робіт при КМДА і, сподіваюся, впроваджено в практичну діяльність відповідних служб.

2. ДЗЗ у вирішенні проблем пожежонебезпеки і забруднення атмосфери. У фокусі уваги фахівців нашого Центру постійно перебувають проблеми забруднення атмосфери та проблеми, пов'язані з пожежною небезпекою.

Так, з метою оцінки пожежонебезпечного стану заторфованих заплав ми розробили відповідну методику, яка дозволяє виявляти горіння торф'яників як на регіональному, так і на локальному рівні. Ідея полягає в комплексному підході та інтегруванні даних, отриманих з різних джерел. На регіональному рівні для виявлення окремих зон пожеж ми використовуємо супутникову інформацію, зокрема отримуємо дані з космічних знімків у тепловому діапазоні. На локальному рівні для пошуку осередків пожеж застосовуємо повітряну зйомку з БПЛА в інфрачервоному діапазоні. Потім після вжитих протипожежних заходів для виявлення підземних осередків горіння торфовищ проводимо наземні дослідження, зокрема тепловізійну зйомку.

Особливістю цієї методики є можливість робити за супутниковими даними достатньо достовірні і довгострокові прогнози щодо ризику виникнення пожеж на торфовищах. Запропонований аналіз багатоспектральних супутникових даних дає змогу безпосередньо виділити заболочені та заторфовані ділянки земної поверхні, обчислити індекси вологості, посушливості та вегетації з метою диференціації ділянок торфовищ за ризиками пожежної небезпеки. Стан торфовищ, діагностований за критеріями ризиків, оцінюють за 4 ступенями ризику виникнення пожеж: критичний, високий, низький і незначний. Цей методико-технологічний комплекс було застосовано для оцінювання ризику виникнення пожеж на торфовищах Українського Полісся.

Ще один напрям нашої роботи — це дослідження геоекологічного стану атмосфери. Як відомо, території довготривалого нафтогазовидобутку є потужними джерелами забруднення атмосфери метаном та його гомологами, а ґрунтів і підземних вод — нафтою, бітумом тощо. Найбільш екологічно небезпечними на сьогодні є ділянки нафтогазових родовищ, які

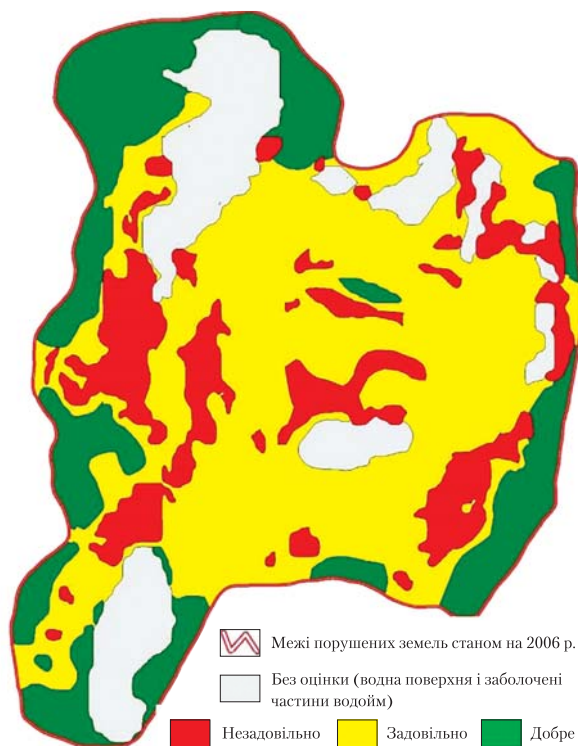


Рис. 1. Картосхема якості проведеної рекультиватії земель на східній ділянці Верхньо-Іршинського родовища станом на 2019 р.

почали експлуатувати ще на початку ХХ ст. Тоді використовували примітивні технології видобутку вуглеводнів, а нерентабельні свердловини та шурфи просто залишали. Ситуацію на сьогодні погіршує природна й техногенна дегазація надр, яка призвела до формування в приземному шарі атмосфери ділянок з високими концентраціями газоподібних вуглеводнів, що є небезпечним і шкідливим для здоров'я місцевого населення.

У межах цього напряму досліджень ми провели оцінювання геоекологічного стану території м. Борислав, адже за період експлуатації Бориславського родовища там було споруджено близько 12 тис. нафтовидобувних гірничих виробок (нафтових колодязів, шурфів, свердловин). Ми поставили собі за мету виявити ділянки дегазації надр, пов'язані з природними (тріщинуватість порід) та штучними (покинуті свердловини і шахти) джерелами, та визна-

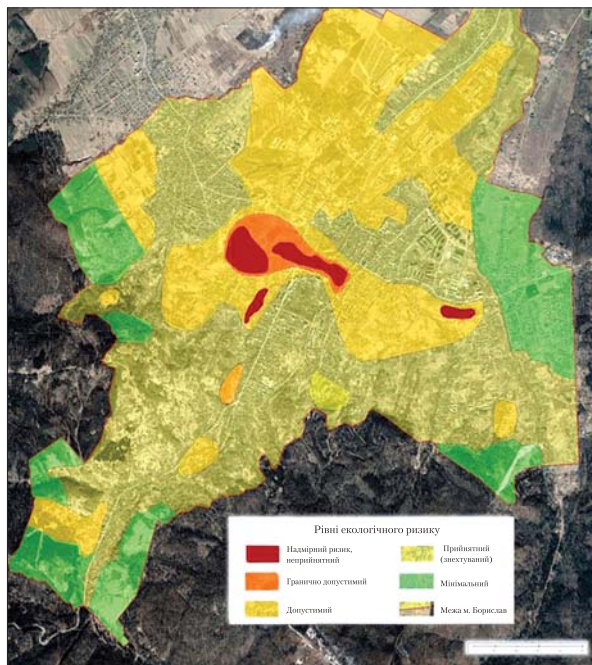


Рис. 2. Карта рівнів екологічного ризику для населення на території м. Борислава

чити ймовірні шляхи міграції вуглеводнів. На тлі бориславського ареалу загазованості було виявлено понад 20 різних за розмірами аномалій вуглеводневих сумішей метанового ряду з інтенсивністю 200–500 ppm і навіть більше. Оцінено рівні екологічної небезпеки для проживання населення в різних районах Борислава (рис. 2). За результатами проведених досліджень сформовано рекомендації щодо мінімізації рівнів загазованості.

Інший приклад — роботи з визначення впливу забруднення довкілля нафтопродуктами та важкими металами з проведенням прецизійних гіперспектральних та газометричних наземних і супутникових досліджень ділянок водно-болотних угідь на території, прилеглий до Бортницької станції аерації. Було обчислено 15 вегетаційних індексів для кожної дати спостережень і кожного виду апаратури та побудовано кореляційні матриці за Пірсоном для кожного індексу, отриманого з різних джерел. Встановлено, що на забрудненій ділянці концентрація важких металів у ґрунті переви-

щує відповідний показник чистої ділянки для Mn — у 8 разів, для Cr — у 3 рази, для Cu і Co — у 2–5 разів, для Pb — у 4 рази.

Крім того, ми зробили *оперативну оцінку впливу на довкілля бойових дій*, а саме: дослідили забруднення нижніх товщ атмосфери на прикладі м. Ірпінь. Для розуміння глибини проблеми наведу лише одну цифру: під час вибуху одного 115-міліметрового снаряда в приземну товщу атмосфери вивільняється близько 4000 л суміші газів CO₂, CO, NO₂, CH₄, NH₃, а також викидаються частинки оксиду алюмінію, сажі та ін. При цьому важкі фракції металів залишаються в ґрунті та осідають на рослинному покриві. За даними супутника Suomi NPP/VIIRS від 22 і 23 березня 2022 р. ми зафіксували осередки загорянь від артилерійських обстрілів у північно-західній частині Київської області та оцінили поширення в атмосфері утворених при цьому аерозолів. Загальна площа забруднення становила понад 12,5 тис. км².

3. ДЗЗ у вирішенні геоєкологічних проблем гідросфери. За цим напрямом у Центрі розроблено методику *оцінювання стану довкілля внутрішніх водойм* на основі космічного геомоніторингу. Оцінювання відбувається одночасно за кількома віртуальними еталонами, кожен з яких відповідає певному рівню техногенного або антропогенного навантаження. В результаті маємо кількісну оцінку навантаження. Цю методику було апробовано для басейну р. Дністер та Київського водосховища.

Створено технологію *моніторингу якості водного середовища в містах*, яка дозволяє здійснювати систематичний контроль за змінами екологічного стану континентальних водойм за допомогою аналізу ретроспективних рядів супутникових знімків. Технологію було використано на каскаді озер Опечень у м. Київ і визначено, що, наприклад, якісний стан оз. Вербне погіршується, хоча при цьому площа відкритого водного дзеркала збільшується. Коли ми додали до параметрів аналізу ще й площу забудови в буферній зоні озера, з'ясувалося, що екологічний стан озера і змінення забудованої території обернено пропо-

рційні. Тому можна зробити однозначний висновок, що недотримання правил забудови в буферній зоні озера призводить до погіршення його екологічного стану.

Ми провели також геоекологічні дослідження північної частини басейну р. Ірпінь, які показали масштаб шкоди навколишньому середовищу від ведення бойових дій. Для оперативного визначення площі територій, затоплених після руйнування дамби біля с. Демидів, ми використали мінімальний набір супутникових даних: матеріали радіолокаційної зйомки SRTM, набір різночасових супутникових даних (включно з тепловим каналом) і похідні карти водних індексів. Для прогнозування можливого затоплення запропоновано об'ємні моделі для різних підвищених рівнів води в р. Ірпінь та для випадку руйнування дамби Київського водосховища.

Подібне завдання було виконано й для моніторингу змін якісного стану вод Дніпровсько-Бузького лиману та акваторії Чорного моря одразу після катастрофічного спуску Каховського водосховища. На основі супутникових даних було вивчено динаміку таких параметрів, як прозорість води та поширення планктонних водоростей, визначено площу територій, які зазнали затоплення, та попередньо оцінено потенційні наслідки катастрофи. Потім, аналізуючи динаміку осушення дна Каховського водосховища, ми спостерігали різке скорочення водної площі в червні 2023 р. й поступове відновлення історичного русла Дніпра. Найнижча густина рослинності була в липні (1,7 % загальної площі водосховища), надалі площа рослинності збільшувалася (рис. 3). При цьому відбувалося поступове осушення оголених піщаних і мулистих ділянок та стабілізація річкового русла.

Результати цих досліджень увійшли до монографії «Катастрофа Каховського водосховища: свідчать супутникові знімки», яка зараз готується до видання двома мовами — українською та англійською.

4. ДЗЗ у вирішенні геоекологічних проблем ландшафтно-кліматичних зон. За цим напрямом на основі даних ДЗЗ ми провели *моделю-*

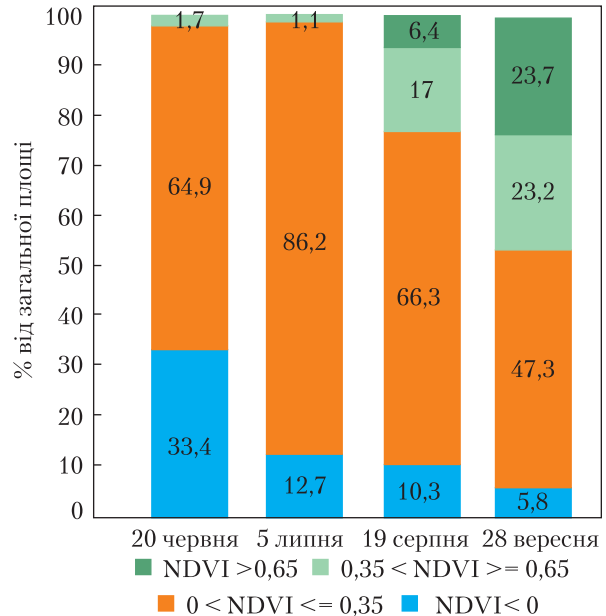


Рис. 3. Осушення Каховського водосховища після підризу дамби, зміна розподілу значень вегетаційного індексу NDVI за даними космічної зйомки: NDVI < 0 — умовно відповідає водній поверхні; NDVI = 0–0,35 — умовно відповідає осушеній поверхні без рослинності; NDVI = 0,35–0,65 — умовно відповідає осушеній поверхні з розрідженою рослинністю; NDVI > 0,65 — умовно відповідає осушеній поверхні з густою рослинністю

вання вразливості степової ландшафтно-кліматичної зони України до кліматичних змін. Досліджувана територія охоплювала Одеську, Кіровоградську, Миколаївську, Дніпропетровську, Запорізьку, Донецьку, Луганську області та Автономну Республіку Крим. Для оцінки вразливості біофізичного стану степової зони було розроблено інтегральну ієрархічну модель вразливості, в основі якої лежать шість геоінформаційних продуктів — індикаторів вразливості: середньорічна кількість опадів, поверхнева температура, середньорічний рівень сонячної радіації, вегетаційний індекс NDVI, класифікація земного покриву, вологість земної поверхні. Результати аналізу наведено на рис. 4.

Співробітники Центру приділяють значну увагу міжнародному співробітництву. Так, у

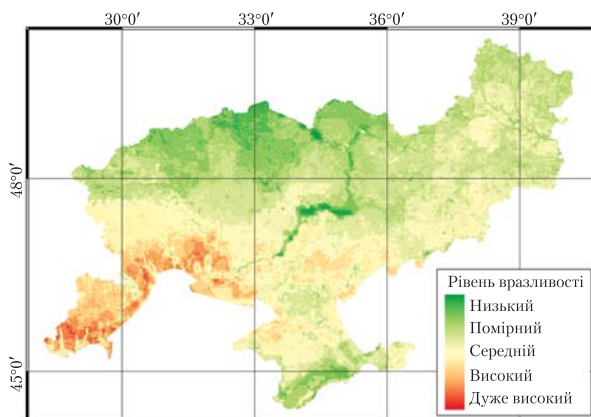


Рис. 4. Оцінка вразливості степової ландшафтно-кліматичної зони України до кліматичних змін на основі супутникових даних 2022 р.

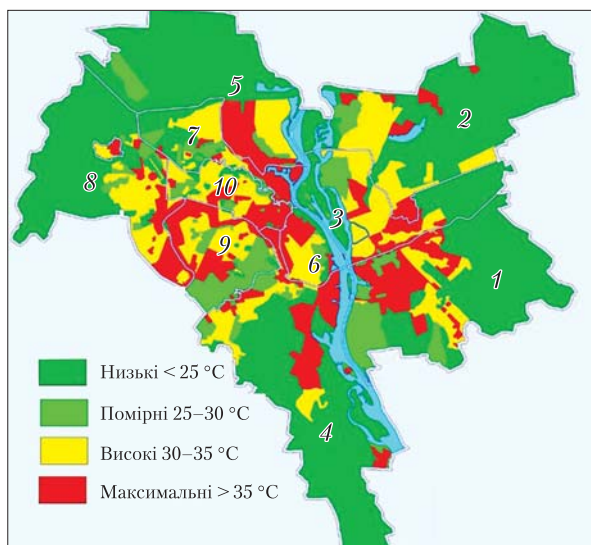


Рис. 5. Зони літніх температур поверхні в м. Київ; адміністративні райони міста: 1 – Дарницький; 2 – Деснянський; 3 – Дніпровський; 4 – Голосіївський; 5 – Оболонський; 6 – Печерський; 7 – Подільський; 8 – Святошинський; 9 – Солом’янський; 10 – Шевченківський

2022 р. ми стали ініціаторами міжнародного проєкту EWALD – Earth Observation for Early Warning of Land Degradation at European Frontier (Система раннього попередження про деградацію земель порубіжжя Європейського Союзу на основі даних ДЗЗ), який триватиме до грудня 2026 р. Крім України у ньому беруть

участь Німеччина, Португалія, Марокко і Словаччина.

5. ДЗЗ у вирішенні геоекологічних проблем на урбанізованих територіях. У Центрі розроблено методику визначення на основі супутникової і наземної інформації *просторового розподілу величин евапотранспірації (сумарного випаровування) і температури поверхні міського середовища*. Ці параметри є основними показниками, які використовують у дослідженні міських островів тепла та роботах з міського планування і містобудування. Розподіл температури поверхні влітку для м. Київ наведено на рис. 5.

Важливою геоекологічною проблемою України є *складування та утилізація відходів*. Поряд із розвитком безвідходних технологій та процесів *рециклінгу* основним способом знешкодження відходів залишається складування їх на полігонах, які мають широкий спектр негативного впливу на природне середовище. Як правило, на полігонах спостерігається значне виділення тепла, метану, часто трапляються поверхневі та підземні пожежі, внаслідок чого забруднюється атмосфера, а при розтіканні фільтрату страждають ґрунти, рослинний покрив, перші водоносні горизонти. Безконтрольна експлуатація полігонів твердих побутових відходів призводить до надзвичайних екологічних ситуацій, погіршення здоров’я людей, які проживають у зоні впливу полігонів та звалищ твердих побутових відходів.

Дистанційне зондування таких територій дозволяє отримувати інформацію про стан забруднення атмосфери, ґрунтового та рослинного покриву, поверхневих і підземних вод регіону розміщення полігонів, а також про температуру поверхні території звалищ, що дає можливість прогнозувати виникнення пожеж, виявляти ділянки для першочергового проведення протипожежних заходів.

Усі ми добре пам’ятаємо трагедію 2016 року на смітєвому полігоні у Великих Грибовичах, якої можна було б уникнути, якби вчасно було проведено температурний моніторинг.

Так, ми дослідили звалище побутово-будівельних відходів у Київській області (с. Горен-

ка, вул. Садова, 24). Було показано, що в місці скиду фільтрату в долині р. Ірпінь утворився ареал забруднення площею щонайменше 30 тис. м². Системою осушувально-зрошувальних каналів, які прокладено в долині, стічні води зі звалища мігрують у напрямку зони відпочинку, а також на північ, потрапляючи в русло р. Ірпінь (рис. 6). Дебіт фільтрату становить до 100 л/год, концентрація вуглеводневих газів (насамперед метану) в приземній товщі атмосфери перевищує 0,1 об. %.

Отже, в Науковому центрі аерокосмічних досліджень Землі Інституту геологічних наук НАН України розроблено:

- методичні основи застосування космічних і наземних даних у геоecологічних дослідженнях геологічного середовища, гідросфери і атмосфери;
- методику оцінювання вразливості степової ландшафтної-кліматичної зони України до кліматичних змін;
- рекомендації щодо раціонального містобудування з урахуванням теплового навантаження;
- методику оцінювання пожежонебезпечно-го стану заторфованих заплавл і гірських територій;
- геоінформаційну систему визначення динаміки зсувних процесів і прогнозування їх розвитку на окремих ділянках;
- методику дослідження геоecологічного стану та визначення рівнів екологічної небезпеки для проживання населення на територіях довготривалого нафтогазовидобутку;
- теоретико-методологічну основу для оцінювання ризиків негативних змін навколишнього середовища та вжиття подальших заходів, спрямованих на запобігання соціально-економічним та кліматичним загрозам;
- основи застосування БПЛА для визначення геоecологічного стану і моніторингу окремих об'єктів довкілля;
- методику оперативної оцінки впливу бойових дій на забруднення нижніх товщ атмосфери.



Рис. 6. Ареал забруднення фільтратом від звалища побутово-будівельних відходів у с. Горенка Київської області

Основні напрями наших подальших досліджень пов'язані з відновленням територій, постраждалих від ведення на них активних бойових дій, і на найближчу перспективу ми ставимо перед собою такі завдання:

- вдосконалити методики дослідження пошкоджених земель за допомогою БПЛА (детальне картографування порушень інфраструктури, пошуки мін, боєприпасів, що не розірвалися, розбитої техніки тощо);
- розробити методику раннього виявлення активізації небезпечних геологічних процесів і сформувавши рекомендації щодо запобігання їм;
- удосконалити і впровадити методику планування нової забудови з урахуванням теплового навантаження на поверхню міста, що важливо при відновленні зруйнованих територій міської забудови;
- удосконалити методику контролю за якістю рекультивациі порушених війною територій;
- розробити прогнозні моделі надзвичайних ситуацій, що виникають унаслідок бойових дій (затоплення, підтоплення, карст, суфозія, опустелювання, дефляція тощо).

Дякую за увагу!

За матеріалами засідання підготувала О.О. Мележик

Mykhailo O. Popov

*Scientific Centre for Aerospace Research of the Earth, Institute of Geological Science,
National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine*

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1738-8227>

REMOTE SENSING IN SOLVING GEO-ENVIRONMENTAL PROBLEMS OF UKRAINE:
CURRENT STATE AND PROSPECTS

Transcript of scientific report at the meeting of the Presidium of the NAS of Ukraine, May 15, 2024

The report presents the most important results of scientific research in the field of application of methods and technologies of remote sensing of the Earth for solving urgent applied problems in the field of geo-environmental security. The theoretical and methodological basis created by the specialists of the Scientific Centre for Aerospace Research of the Earth of the Institute of Geological Sciences of the National Academy of Sciences of Ukraine opens up opportunities for the integrated use of space and ground-based information systems in geo-environmental studies of lithospheric, hydrosphere and atmospheric environments. A number of relevant practical implementations of these developments in the environmental, socio-economic and climatic areas of application are considered.

Cite this article: Popov M.O. Remote sensing in solving geo-environmental problems of Ukraine: current state and prospects. *Visn. Nac. Akad. Nauk Ukr.* 2024. (7): 43–50. <https://doi.org/10.15407/visn2024.07.043>