

**МАРІУПОЛЬСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**  
**КАФЕДРА РАЦІОНАЛЬНОГО ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ ТА**  
**ОХОРОНИ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА**

До захисту допустити:  
Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_

«\_\_»\_\_\_\_20\_\_р.

**«МОНІТОРИНГ ЗМІН ЕКОЛОГІЧНИХ ФАКТОРІВ ЕКОСИСТЕМ**  
**ПІД ВПЛИВОМ БЕЛІГЕРАТИВНИХ ДІЙ»**

Кваліфікаційна робота здобувача другого  
(магістерського) рівня вищої освіти  
освітньо-професійної програми  
«Екологія та охорона навколишнього  
середовища»

Костянтина Ломага

Науковий керівник:

доц., к.х.н. О.М.Пастернак

Рецензент:

В.І.Мокрий,

д.т.н, професор кафедри екологічної безпеки  
та природоохоронної діяльності

Національного університету «Львівська  
політехніка»

Кваліфікаційна робота  
захищена з оцінкою \_\_\_\_\_

Секретар ЕК \_\_\_\_\_

«\_\_»\_\_\_\_20\_\_р.

## ЗМІСТ

<b>ВСТУП</b> .....	5
<b>РОЗДІЛ 1. ФАКТОРИ ВПЛИВУ НА СТАН БЕЗПЕКИ ЕКОЛОГІЧНИХ СИСТЕМ</b> .....	
1.1. Природні фактори (клімат, геологічні процеси, природні катастрофи).....	7
1.2. Антропогенні фактори (індустріалізація, виробництво, викиди забруднюючих речовин).....	13
1.3. Біологічні фактори (розповсюдження хвороб, вимирання видів).....	20
<b>РОЗДІЛ 2. ДИСТАНЦІЙНІ МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ ЕКОЛОГІЧНИХ ФАКТОРІВ ЕКОСИСТЕМ</b>	
2.1. Моніторинг рослинності, тварин, біорізноманіття методами ДЗЗ/ГІС .....	24
2.2. Моніторинг водних об'єктів, повітря, ґрунтів методами ДЗЗ/ГІС.....	30
2.3. Аналіз змін ландшафтної динаміки методами ДЗЗ/ГІС.....	43
<b>РОЗДІЛ 3. ЗМІНИ ЕКОЛОГІЧНИХ ФАКТОРІВ ПІД ВПЛИВОМ ВІЙСЬКОВИХ ДІЙ В УКРАЇНІ</b> .....	
3.1. Динаміка концентрацій парникових газів .....	50
3.2. Зміна концентрацій показників загального моніторингу атмосферного повітря.....	55
3.3. Кореляція між абіотичними та біотичними факторами.....	61
<b>ВИСНОВКИ</b> .....	68
<b>СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ</b> .....	70

## ВСТУП

Сучасний світ стикається зі зростаючими загрозами природному середовищу внаслідок військових дій та конфліктів, що розгортаються у різних регіонах планети. Природні екосистеми, що є ключовими для екологічної рівноваги, стають об'єктами знищення, забруднення та інших негативних впливів у контексті воєнних дій. Актуальність дослідження зумовлена необхідністю розробки ефективних стратегій моніторингу, що дозволять вчасно виявляти та аналізувати зміни екологічних факторів у зоні військових дій.

Ця проблема стає надзвичайно важливою, оскільки вплив конфліктів на навколишнє середовище може мати далекосяжні наслідки для біорізноманіття, ґрунтів, водних ресурсів та повітря. Розвиток науково обґрунтованих та інноваційних методів моніторингу є ключовим завданням для забезпечення ефективного виявлення та контролю змін у природних системах під час та після белігеративних дій.

Враховуючи зростаючу увагу до проблеми екологічної стійкості та сталого розвитку, розробка імовірних стратегій моніторингу змін у екосистемах в умовах конфліктів стає актуальною для науковців, екологів, практиків та громадськості, що спрямовані на збереження та відновлення природного середовища в умовах глобальних викликів сучасності.

Вивчення та аналіз впливу белігеративних дій на екологічні фактори в екосистемах з метою розробки ефективних стратегій моніторингу, спрямованих на виявлення та аналіз змін в екосистемах під впливом конфліктів та воєнних дій. Основним завданням є виявлення методології моніторингу методами ДЗЗ/ГІС, яка дозволить об'єктивно оцінити стан природних середовищ, визначити фактори, що впливають на їхню стійкість та впровадження результатів дослідження для покращення екологічної стійкості та збереження природних ресурсів у контексті конфліктів та белігеративних ситуацій.

Об'єктом дослідження є природні екосистеми, які піддаються впливу белігеративних дій та конфліктів. Це може включати різноманітні природні області, такі як лісові масиви, водні екосистеми, ґрунтові угруповання та інші

природні регіони, які зазнають негативного впливу військових дій та інших белігерантних ситуацій.

Предмет дослідження: Предметом дослідження є процеси та зміни, які відбуваються в екосистемах під впливом белігеративних дій. В цьому контексті, вивченням охоплюється комплекс екологічних факторів, таких як забруднення повітря, води та ґрунту, втрати біорізноманіття, деградація ґрунтів, зруйнування природних ландшафтів та інші аспекти, що відображають вплив на природні системи.

Дослідження спрямоване на вивчення механізмів та обґрунтування підходів до моніторингу цих змін, а також на визначення можливих шляхів відновлення та збереження екологічної стійкості в умовах конфліктів та белігеративних ситуацій.

## РОЗДІЛ 1

### ФАКТОРИ ВПЛИВУ НА СТАН БЕЗПЕКИ ЕКОЛОГІЧНИХ СИСТЕМ

#### 1.1. Абіотичні фактори

Абіотичні фактори, які включають у себе неживу складову середовища, грають важливу роль у формуванні та функціонуванні екосистем.

Одним із основних абіотичних факторів є клімат, який включає в себе температуру, вологість, опади та інші метеорологічні параметри. Клімат визначає розподіл рослинності та тваринного світу, а також впливає на цикли поживних речовин у ґрунті. Зміни в кліматичних умовах можуть викликати дисбаланс у природних спільнотах та загрожувати їх безпеці.

Іншим важливим абіотичним фактором є властивості ґрунту, такі як структура, хімічний склад та вологість. Ці фактори визначають доступність поживних речовин для рослин, впливають на гідрологічний режим і забезпечують живлення водних екосистем. Забруднення ґрунту та його деградація можуть призвести до серйозних проблем для безпеки екосистем.

Географічні фактори, такі як рельєф, геологічна структура та водні ресурси, впливають на розташування екосистем. Гірські регіони, рівнини та прибережні зони мають різні умови, які визначають видовий склад та динаміку екосистем. Взаємодія географічних факторів має важливий вплив на різноманітність та стійкість природних спільнот.

Хімічний склад атмосфери та води є критичним для забезпечення умов для життя в екосистемах. Забруднення повітря та водою може негативно впливати на рослини, тварин та мікроорганізми, що приводить до порушень у функціонуванні екосистем та небезпеки для їх стійкості.

Абіотичні фактори також взаємодіють з техногенними чинниками, які суттєво змінюють природні умови. Забудова та інфраструктурні проекти можуть призвести до змін у водному балансі та порушити природні процеси.

Інтенсивне використання ресурсів, викиди в атмосферу та водні тіла також є серйозними загрозами для екосистем.

Важливо підкреслити взаємозв'язок абіотичних та біотичних факторів у формуванні та функціонуванні екосистем. Клімат, ґрунт та вода визначають умови для життя рослин, тварин та мікроорганізмів. Водночас, вплив біотичних факторів, таких як рослини чи мікроорганізми, може змінювати фізико-хімічні властивості навколишнього середовища.

Клімат є одним з ключових природних визначальних факторів, що має важливий вплив на екологічні системи. Він формує умови для існування рослин і тварин, а також контролює хімічні процеси, що відбуваються в атмосфері, ґрунті та воді.

Зміна клімату — це процес, що виявляється у коливаннях глобальних температур та погодних умов протягом тривалого періоду. Хоча клімат природно піддається змінам, на сучасному етапі зміна клімату через глобальне потепління, головним чином викликане діяльністю людини. Це пов'язано зі змінами у складі атмосфери, які відбуваються через антропогенний вплив.

Клімат Землі постійно зазнає змін, проте в останні роки темпи цих змін значно зросли. Зміна клімату вже має негативні наслідки для екологічних систем, таких як танення льодовиків, підвищення рівня моря, зміни у випаданні опадів тощо. Все це негативно впливає на стан екосистем, спричиняє їхню деградацію та втрату біорізноманіття [40].

Однією з ключових причин змін клімату є парниковий ефект, процес, що виникає внаслідок взаємодії парникових газів з сонячною енергією та атмосферою Землі. Парниковий ефект є необхідним для утримання комфортної температури на планеті. Без нього середня глобальна температура становила б не  $+15^{\circ}\text{C}$ , а морозні  $-18^{\circ}\text{C}$ . Після початку промислової революції в середині XIX століття, велика кількість парникових газів, таких як вуглекислий газ, нітроген діоксид почала викидатися в атмосферу внаслідок спалювання викопного палива.

Гази, які можуть залишатися в атмосфері від декількох днів до кількох років, стали основними причинами зміни клімату. Водяна пара, яка реагує на

температурні зміни, швидко випаровується та посилює глобальне потепління. Процес є ключовим у формуванні парникового ефекту та негативно впливає на стан клімату.

Спалювання вугілля, нафти та газу спричиняє викиди вуглекислого газу, що підвищує концентрацію парникових газів у атмосфері. Останні 150 років призвели до зростання концентрації вуглекислого газу з 280 ppm до понад 400 ppm. Швидкий ріст, який призводить до глобальних змін у кліматі та породжує термін «кліматична криза» для підкреслення серйозності проблеми [41].

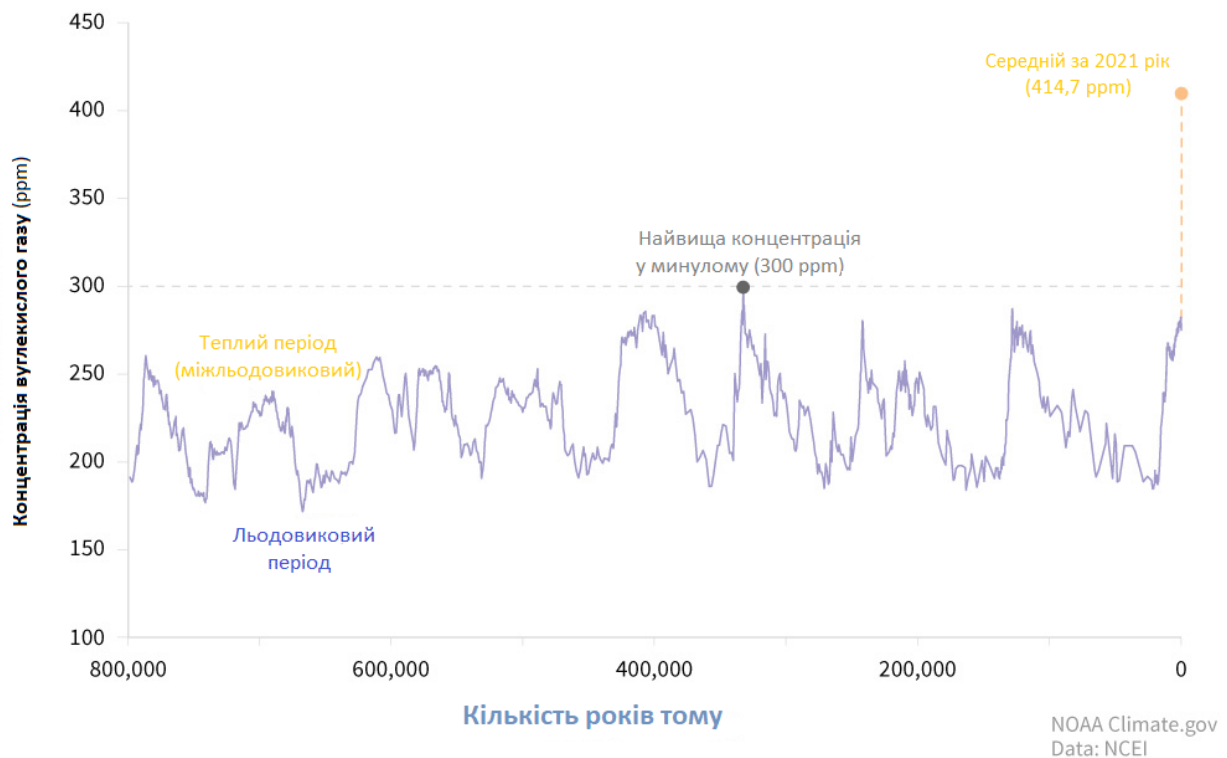


Рис. 1.1 Концентрація вуглекислого газу за останні 800 років (Джерело: <https://www.climate.gov>)

Динаміка клімату в сучасному світі викликає ростучі занепокоєння через її вплив на глобальну середню температуру. Показник температури є ключовим індикатором кліматичних змін, від якого залежить характер погоди та доля екосистем нашої планети. За останнє століття спостерігаємо зростання середньої глобальної температури на  $1,1^{\circ}\text{C}$ , що може виглядати невеликим, але має глибокі наслідки для природи і людського суспільства.

Найважливіше в цьому контексті — нерівномірний розподіл глобального потепління. Арктичні регіони вже відчули підвищення температури на  $2^{\circ}\text{C}$ , що призвело до суттєвих змін у льодовиках, морському льоду та екосистемах, що

впливає на біорізноманіття та доступ до ресурсів. Зростання глобальної середньої температури призводить до збільшення кількості спекотних днів та зменшення кількості холодних, яке може призвести до кризових ситуацій в сільському господарстві, порушити водний баланс і вплинути на здоров'я населення.

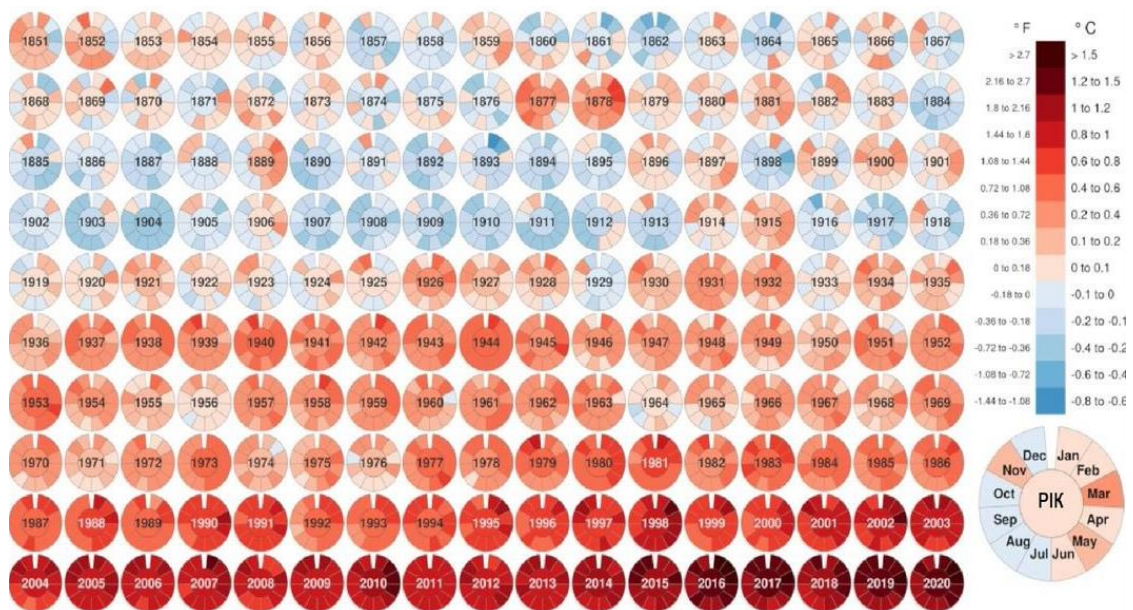


Рис. 1.2. Середньорічна температура по місяцях в 1851-2020 роках (джерело: <https://www.visualcapitalist.com/global-temperature-graph-1851-2020/>)

Зрозуміння наслідків зміни клімату та їхнього впливу на глобальну температуру визначає необхідність розробки стратегій адаптації та зменшення впливу. Це важливий етап для збереження екологічної рівноваги та забезпечення стійкості нашого світу в умовах змін клімату [42,43].

Геологічні процеси призводять до змін у складі та структурі земної кори, формуванню рельєфу та поверхні планети. Ці явища, що відбуваються на Землі, постійні та можуть призвести до серйозних катастрофічних наслідків. Їх класифікують на ендегенні та екзогенні. Ендегенні процеси, такі як повільні коливальні тектонічні рухи, магматизм та землетруси, визначають структуру та форму земної кори. Ці процеси породжують глибокі зміни, такі як гороутворення, розриви порід та інші деформації, впливаючи на геологічну структуру планети [44].



Прикладом ендогенного процесу є землетруси, що представляють собою раптові коливання земної поверхні, викликані рухами тектонічних плит. Землетруси можуть відрізнятися за силою та мати далекосяжні наслідки для екологічних систем. Очевидним наслідком таких природних явищ є руйнування інфраструктури. Землетруси можуть завдавати шкоду будівлям, дорогам, мостам, дамбам. Це може мати серйозні наслідки, спричиняючи загибель людей і викликаючи екологічні катастрофи.

На території України, конкретно в Закарпатській області, 9 жовтня 2023 року зафіксовані пошкодження деяких будівель та інфраструктури внаслідок землетрусу. Його епіцентр знаходився в Словаччині, неподалік від кордону з Україною та Польщею, на глибині 10 км. Магнітуда землетрусу склала 4,9 балів. Відчутні поштовхи почувалися практично на всій території регіону [45].

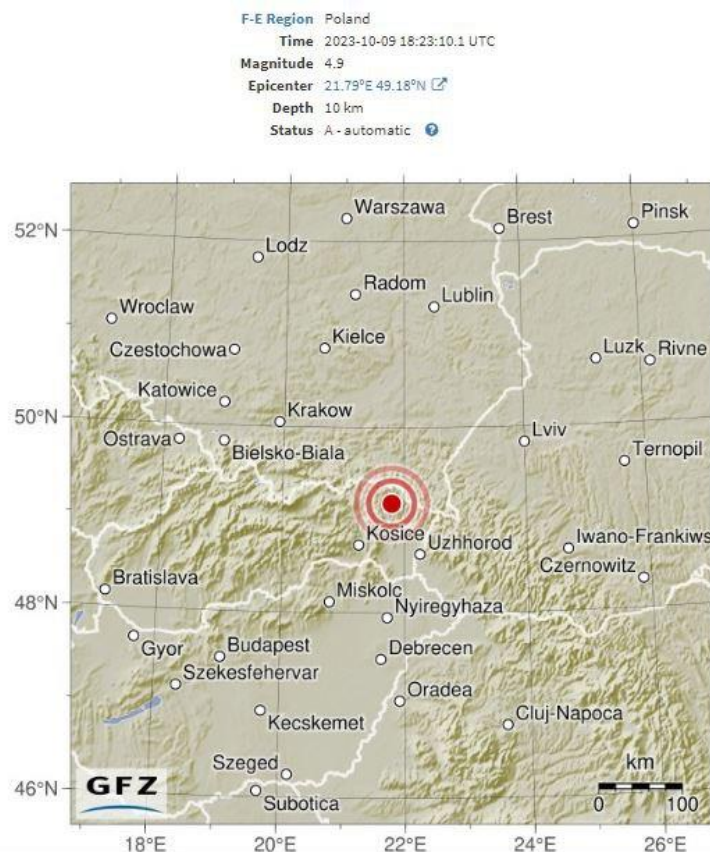


Рис. 1.3. Епіцентр землетрусу на карті (Джерело: <https://geofon.gfz-potsdam.de/eqinfo/event.php?id=gfz2023tuut>)

Землетруси є одним з найнебезпечніших ендогенних процесів для екологічних систем. Вони можуть викликати руйнування інфраструктури, забруднення ґрунту та підземних вод, а також призводити до руйнування природних екосистем.

Екзогенні процеси визначаються як зовнішні геологічні процеси, що відбуваються на поверхні Землі. Вони призводять до змін у складі гірських порід, структурах та загальному вигляді земної поверхні [44]. Екзогенні процеси, які включають вивітрювання, роботу поверхневих та підземних вод, роботу вітру та льодяників, денудацію, акумуляцію, сприяють активному перетворенню поверхні Землі. Дія факторів, таких як вода, вітер, льодовики та гравітація, викликає руйнування та зміну фізико-хімічних властивостей гірських порід.

Яскравим прикладом є підтоплення в Україні. Весною 2023 року Україну охопила серія природних негод, які викликали підняття рівня води та призвели до значних підтоплень у декількох областях країни. Зокрема, враженими стали Волинська, Дніпропетровська, Житомирська, Київська, Рівненська, Полтавська, Черкаська та Чернігівська області. Гідрометцентр зафіксував підвищення рівня води в річках Віть, Дніпро, Десна, Сейм, Сож, Прип'ять, Горинь та Західний Буг. За інформацією Державної служби з надзвичайних ситуацій, наслідком цих природних явищ стало підтоплення 1379 господарств, з яких найбільше постраждало Чернігівській (474) та Кіровоградській (323) області. Також постраждали 198 будинків, зокрема 125 дачних, серед яких більше всього у Дніпропетровській (38) та Кіровоградській (87) областях.

Загальна площа сільськогосподарських угідь, що опинилася під впливом водних паводків, склала 9138 га у Дніпропетровській, Волинській, Рівненській, Черкаській та Полтавській областях, було порушено транспортне сполучення до 30 населених пунктів, з яких 29 в Чернігівській області та 1 в Київській [46].

Ці природні обставини стали серйозним викликом для регіональних служб та населення, вимагаючи ефективної реакції та допомоги для відновлення постраждалих районів.

Природні катастрофи представляють собою раптові та негативні зміни на поверхні Землі та в атмосфері, які можуть значно впливати на життя існуючих організмів, зокрема людини. Ці катастрофи є екстремальним виявом природних процесів та можуть мати катастрофічні наслідки для екологічних систем і суспільства. Наприклад, повені, посухи, урагани, лісові пожежі та інші природні катастрофи можуть призвести до руйнування великих площ лісів, сільськогосподарських полів і водних басейнів, а також спричинити втрати людських та тваринних життів.

Термін «природна катастрофа» означає раптову й негайну зміну стану природного середовища, що супроводжується значними жертвами та матеріальними втратами. Такі ситуації створюють надзвичайні обставини, які можуть призвести до трагічних наслідків для людей, викликати шкоду здоров'ю та забруднення довкілля, а також спричинити значні матеріальні втрати та порушити звичний порядок життя на певній території.

Багато країн ведуть дослідження щодо природних катастроф, зокрема складання баз даних та вивчення їх поширення на різних територіях Землі. Мета розробки ефективної стратегії захисту населення і економіки від можливих великих збитків та втрат, спричинених природними негодами.

В останні роки спостерігається зростання кількості та масштабів цих явищ, що призводить до ще більших збитків. Глобальні зміни в природному середовищі та кліматі, збільшення сейсмічної активності, розширення технічних систем і активна втручання людини в природу ускладнюють ситуацію та збільшують ризики великомасштабних природних, екологічних та техногенних катастроф. Темпи зростання економічних збитків від катастроф наближаються до показників економічного розвитку більшості розвинених країн, що створює загрозу для населення, природи та світової економіки.

## **1.2. Антропогенні фактори**

Антропогенні фактори, що виникають внаслідок людської діяльності, стають все більш визначальними у контексті впливу на екосистеми. Наслідки

зростаючого антропогенного тиску стають серйозною загрозою для безпеки екосистем та стабільності природних спільнот.

Однією з ключових антропогенних втручань є зміни в землекористуванні, пов'язані з великомасштабною розорюваністю та урбанізацією. Збільшення площі міських територій призводить до втрати природних екосистем, руйнування біорізноманіття та погіршення регуляції клімату. Ефективне управління землекористуванням вимагає розробки сталих планів розвитку та збалансованих стратегій міського планування.

Викиди промислових та транспортних джерел стають суттєвим антропогенним фактором, що впливає на приземну атмосферу. Забруднення атмосфери та ксенобіотичні речовини мають негативний вплив на рослинність, тваринний світ та людське здоров'я. Ефективні заходи для зменшення викидів та покращення якості повітря стають важливими для забезпечення безпеки екосистем.

Антропогенний тиск на водні ресурси, зміни в гідросистемах, забруднення води та зниження рівня ґрунтових вод можуть призвести до втрати біорізноманіття та деградації водних екосистем. Управління водними ресурсами та впровадження ефективних методів очищення води стають критичними завданнями для збереження безпеки екосистем.

Антропогенне викидання парникових газів призводить до глобальних змін у кліматі. Загострення екстремальних погодних явищ, підняття рівня морів та зміни в екосистемах водних та суходолу - це тільки кілька наслідків антропогенної діяльності. Зменшення викидів парникових газів та перехід до відновлюваних джерел енергії стають необхідними для стратегічного управління антропогенним впливом на клімат.

Введення сторонніх видів та зміни в біологічному складі є ще однією антропогенною загрозою для екосистем. Нові види можуть витіснити місцеву флору та фауну, порушуючи природні взаємовідносини. Необхідно активно впроваджувати програми моніторингу та контролю за інтродукцією, а також розвивати стратегії для збереження природного біорізноманіття.

Нагромадження та неконтрольоване утилізація сміття призводять до забруднення ґрунту, води та повітря. Сміттєзвалища стають джерелом небезпеки для екосистем та загрозою для біорізноманіття. Розвиток відповідальних систем видалення та переробки відходів є ключовим аспектом стратегій збереження навколишнього середовища.

Вплив людини на екологічні системи може бути прямим чи опосередкованим. Щодо прямого впливу, прикладами можуть бути вирубка лісів на великих площах, неконтрольований збір рослин, надмірне винищення промислових тварин, що веде до гострого зменшення чисельності багатьох видів і, у деяких випадках, до їх повного вимирання.

Індустріалізація — це процес розвитку промислового виробництва, який супроводжується використанням природних ресурсів, таких як вода, енергія, сировина, а також створенням відходів. Забруднюючі речовини – це речовини та сполуки, що потрапляють в навколишнє середовище в результаті людської діяльності і негативно впливають на його стан.

Індустріалізація є важливими антропогенними факторами, які впливають на стан безпеки екологічних систем. Хоча виявлено зниження смертності від побутового забруднення повітря та води, проте зростання кількості випадків смерті від погіршення стану атмосфери та токсичних речовин є тривожною тенденцією.

Зазначають, що за останні роки, смерть від екологічних факторів стала причиною 16% усіх смертей у світі, що становить 9 мільйонів осіб. Країни із високим рівнем доходу показують певний прогрес у боротьбі із забрудненням, однак у країнах з низьким та середнім рівнем доходу ситуація залишається напруженою. Понад 90% смертей, пов'язаних із забрудненням навколишнього середовища, припадають на країни з обмеженими ресурсами [48]. Дані свідчать про загрозу для здоров'я людей та планети, що виникає внаслідок забруднення, обумовленого недоліками індустріалізації та відсутністю ефективних заходів контролю.

За даними офіційної статистики повітря в Україні головним забруднювачем (табл. 1.1), на який припадає близько 80% усього забруднення,

є промисловість та автотранспорт. Комунальні теплоенергетичні підприємства та сміттєспалювальні заводи становлять інші потужні джерела викидів шкідливих речовин. За даними екополітики, лише у 2020 році в атмосферу Києва було викинуто практично 250 тисяч тонн забруднюючих речовин. Лісові пожежі, горіння торф'яників та спалювання листя — це інші фактори, які долучаються до списку забруднювачів повітря, що ще більше ускладнює ситуацію та збільшує кількість викидів в атмосферу.

Таблиця 1.1

## Найбільші забруднювачі атмосферного повітря

Вид економічної діяльності	Викиди забруднюючих речовин і парникових газів від стаціонарних джерел викидів у 2020 році, тонн	Зменшення у порівнянні з 2019 роком, %
Виробництво продуктів нафтоперероблення	29936	-6,3
Добування кам'яного та бурого вугілля	290674	-5,6
Добувна промисловість і розроблення кар'єрів	365586	-12,7
Металургійне виробництво	729854	-1,7
Постачання електроенергії, газу, пари та кондиційованого повітря	849232	-21,6

Джерело: <https://www.ukrstat.gov.ua>

За даними дослідження аналітичного центру Ember, вугільні електростанції в Україні є серед найбрудніших у Європі, відповідаючи за величезну частину викидів зольного пилу, сульфур діоксиду та нітроген оксидів. Практично в усіх теплоенергетичних установках і викидах транспорту є речовини, які утворюються під час процесу згорання: тверді частки, озон, оксид вуглецю, діоксид сірки, оксиди азоту, леткі органічні сполуки та важкі метали (табл..1.2).

## Критерії забруднюючих речовин

Забруднювач	Джерела	Вплив на здоров'я
Приземний озон	Вторинний забруднювач зазвичай утворюється в результаті хімічної реакції летких органічних сполук і NOx в присутності сонячного світла.	Знижує функцію легенів і викликає респіраторні симптоми, такі як кашель і задишка; посилює астму та інші захворювання легенів, що призводять до збільшення вживання ліків, госпіталізації, передчасної смертності.
Тверді частинки	Викидаються або утворюються в результаті хімічних реакцій; спалювання палива (вугілля, дров, дизеля); промислові процеси; сільське господарство (оранка, спалювання полів); ґрунтові дороги.	посилення захворювання серця або легенів, що призводять до респіраторних симптомів, збільшення вживання ліків, госпіталізації, передчасної смертності;
Свинець	Металургійні заводи (металургійні заводи) та інші металургійні галузі; спалювання етилованого бензину в літаках з поршневіми двигунами; сміттєспалювальні заводи; виробництво акумуляторів.	Пошкоджує нервову систему, що розвивається, що призводить до втрати IQ та впливає на навчання, пам'ять та поведінку у дітей. Серцево-судинні та ниркові ефекти у дорослих та ранні наслідки, пов'язані з анемією.
Оксиди азоту	Спалювання палива (електромережі, промислові котли та транспортні засоби) та спалювання дров.	захворювання легенів, що призводять до респіраторних симптомів, підвищена сприйнятливості до респіраторної інфекції.
Окис вуглецю	Спалювання палива (особливо транспортних засобів), промислові процеси, пожежі, спалювання відходів та деревини в житлових приміщеннях.	Зменшує кількість кисню, що надходить до органів і тканин організму; посилює серцеві захворювання, що призводить до болю в грудях та інших симптомів
Діоксид сірки	Спалювання палива (особливо вугілля з високим вмістом сірки); електромережі та промислові процеси; і природні джерела, такі як вулкани.	Посилює астму і посилення респіраторних симптомів.

Джерело: <https://www.epa.gov>

Леткі органічні сполуки (ЛОС) представляють собою хімічні речовини, що містять вуглець і виділяються у вигляді газів з природних та антропогенних джерел. Природні джерела ЛОС включають рослини, особливо бактерії у термітів і жуйних тварин. Ці сполуки зазвичай піддаються окисленню у чадний газ та вуглекислий газ в атмосфері. ЛОС стають особливою проблемою через їхню участь у формуванні озону, який є вторинним забруднювачем повітря.

Смог виникає як результат суміші забруднювачів повітря, таких як діоксид сірки, оксиди азоту, озон і тверді частинки, часто утворюючись над міськими територіями внаслідок використання викопного палива.

Токсичні забруднювачі повітря, також відомі як небезпечні забруднювачі повітря, є речовинами, які спричиняють рак або інші серйозні наслідки для здоров'я та довкілля. Більшість таких речовин походять з антропогенних джерел, таких як автотранспорт та промислові підприємства [50]. Викиди шкідливих речовин у атмосферу можуть викликати захворювання дихальних шляхів, серцево-судинні захворювання та інші серйозні захворювання серед населення.

Спалювання у виробничих секторах енергетики має найбільший негативний вплив на якість атмосферного повітря в Україні. Це визначено за інформацією, наданою Державною службою статистики за 2020 рік.

Як видно з таблиці 1.3, процеси спалювання в енергетичних галузях промисловості є одним з основних джерел викидів забруднюючих речовин в атмосферу в Україні.

У 2020 році вони забезпечили 87,0% викидів сірки діоксиду, 63,2% викидів діоксиду азоту, 28,6% викидів оксиду вуглецю та 8,9% викидів летких органічних сполук.

Забруднення води стає невід'ємною частиною негативного впливу індустріалізації. Викиди токсичних речовин можуть викликати отруєння людей та тварин, а також спричинити загибель рослин. Це викликає порушення екосистем та загрозу біорізноманіттю. Індустріалізація призводить до окислення ґрунтів, що має серйозні наслідки для сільськогосподарської



діяльності. Деградація ґрунтів та зниження їх родючості може призвести до втрати урожаю та загрози продовольчій безпеці.

Таблиця 1.3

Наслідки спалювання в енергетичних галузях промисловості (Джерело:

<https://www.ukrstat.gov.ua>)

Забруднююча речовина	Викинуто в повітря енергетичними галузями промисловості в 2020 році, тонн	Викинуто в повітря по країні в цілому в 2020 році, тонн	Частка, %
Сірки діоксид	522377	600998	87
Нітроген діоксид	114651	181259	63,2
Вуглецю оксид	202993	707337	28,6
Леткі органічні сполуки	3583	40621	8,9

На прикладі воєнної ситуації в Україні, спричинених російсько-українською війною, можна відзначити, як воєнні конфлікти суттєво впливають на промислові підприємства та енергетичну інфраструктуру. Багато підприємств та заводів зазнали руйнування, пошкоджень чи захоплення окупантами.

Половина генераційної потужності в Україні була зруйнована або потрапила під військову окупацію. Тут важливо виділити теплові електростанції, котельні та інші об'єкти теплопостачання, що стали жертвами військових дій. Ці об'єкти є надзвичайно вразливими в умовах війни, і їхні пошкодження може призвести до витоку небезпечних речовин та погіршення екологічної ситуації [51].

Індустріалізація є одним із основних факторів розвитку людства. Вона сприяла підвищенню рівня життя та економічного добробуту, однак також призвела до зростання забруднення довкілля. Індустріалізація та забруднюючі

речовини стають важливими аспектами екологічної безпеки, і важливо вживати заходи для зменшення їх впливу на довкілля та забезпечення сталого розвитку.

### **1.3. Біотичні фактори**

Біотичні фактори, живий компонент екосистем, включають рослини, тварин та мікроорганізми. Вони виконують ключову роль у підтриманні стабільності та безпеки екосистем. Біорізноманіття є основним аспектом біотичних факторів. Різноманітність видів сприяє стабільності екосистем, оскільки кожен вид виконує унікальну роль у життєдіяльності. Відсутність певних видів може призвести до дисбалансу та порушення функціонування екосистеми, що загрожує її безпеці.

На біотичні фактори суттєво впливає трофічна структура екосистем. Трофічні рівні, такі як продуценти, консументи та редуценти, визначають взаємозв'язки у харчовому ланцюжку. Руйнування будь-якого рівня може викликати каскад ефектів, що впливає на безпеку екосистем.

Біотичні фактори, також включають в себе взаємовідносини, такі як конкуренція та симбіоз. Конкуренція між видами за ресурси може призвести до природного відбору та регулювання популяцій, впливаючи на структуру екосистем. Симбіотичні взаємодії, навпаки, сприяють взаємній користі та стійкості екосистем. Хижаки та хижі виконують ключову роль у регуляції популяцій інших видів. Контроль за чисельністю популяцій допомагає уникнути перенаселення та забезпечує рівновагу в екосистемі. Відсутність або збільшення чисельності хижаків може призвести до важливих змін у структурі та функціонуванні екосистем.

Біотичні фактори також впливають на еволюційні процеси в екосистемах. Природний відбір сприяє адаптації видів до змін у середовищі. Зміни у біотичних факторах, такі як клімат або наявність нових конкурентів, можуть визначати шлях еволюційного розвитку екосистем.

Людська діяльність має великий вплив на біотичні фактори та безпеку екосистем. Знищення природних середовищ, перенаселення, забруднення та

введення інтродукційних видів можуть спричинити негативні зміни в екосистемі. Охорона біорізноманіття та стале використання ресурсів є важливими завданнями для забезпечення безпеки екосистем. Біотичні фактори також грають ключову роль у процесах регенерації екосистем після природних або антропогенних подій. Природні пожежі, повені чи інші лиха можуть викликати зміни в екосистемі, і біотичні фактори відіграють важливу роль у відновленні рівноваги.

Викиди забруднюючих речовин становлять серйозну загрозу для різноманіття видів та природного середовища. Негативний вплив викидів парникових газів на клімат може призвести до створення нових умов, в яких деякі види не зможуть вижити. Окрім того, забруднення ґрунтів і води внаслідок викидів важких металів може призвести до втрати середовища існування для багатьох видів.

На сьогоднішній день понад мільйон видів тварин і рослин перебувають під загрозою зникнення, і ця криза біорізноманіття перевищує будь-які попередні угрози за всю історію людства. Людська діяльність, зокрема в видобувній промисловості, призводить до шкідливих викидів у воду, ґрунти і повітря, загрожуючи не лише біорізноманіттю, але і здоров'ю людей.

Поступове зростання викидів парникових газів за останні 40 років призвело до підвищення середньої глобальної температури на  $0.7^{\circ}\text{C}$ , змінюючи екосистеми і генетичні характеристики природи. Згідно з прогнозами, темпи зміни клімату будуть лише зростати, вказуючи на необхідність негайних заходів.

Доіндустріальний рівень підвищення глобальної температури на  $2^{\circ}\text{C}$  може призвести до вимирання 5% видів, а при піднятті температури до  $4.3^{\circ}\text{C}$  — навіть до 16%. Такий стан справ ставить під загрозу існування мільйона видів рослин і тварин.

Біорізноманіття необхідно для продовольчої безпеки, здоров'я та рекреації людини, проте втрати видів і деградація екосистем вже призвели до зниження продуктивності ґрунтів та втрати сільськогосподарських культур [54].

Біорізноманіття, як ключовий фактор екосистемного здоров'я, стоїть під загрозою через різноманітні вияви людської діяльності. Зміни у землекористуванні, вирубка лісів та трансформація цих територій на сільськогосподарські чи будівельні землі, експлуатація природних ресурсів та надмірне використання води — все це призводить до серйозного впливу на біорізноманіття. Важливою деталлю є взаємопов'язаність екосистем усього світу, що робить європейську діяльність впливовою на біорізноманіття в Азії чи Африці, наприклад, через виробництво великих обсягів сміття та відходів, що викликає забруднення навколишнього середовища.

Ця діяльність призводить до забруднення водних, повітряних та ґрунтових ресурсів, що в свою чергу веде до збіднення різноманітних місцевих екосистем рослинами та тваринами. Негативний вплив інтенсивного землеробства, спрямованого на монокультури, також важко переоцінити, оскільки це впливає на стан води та ґрунту. Втрата біорізноманіття на одній території має вплив на інші екосистеми і спричиняючи збіднення генофондів різних популяцій, що може завершитися їх вимиранням [55].

Наслідки цієї втрати біорізноманіття можуть бути катастрофічними. Потенційне зникнення ключових видів, таких як бджоли та метелики, не лише ускладнить вирощування сільськогосподарських культур, але й може призвести до неможливості цього процесу. Раціональне використання ресурсів та захист біорізноманіття є важливим завданням для збереження природи та забезпечення стійкого існування на планеті.

Екосистеми є складними системами, де взаємодіють багато живих організмів та нежива природа. Біотичні фактори: біорізноманіття, трофічні рівні, конкуренція та симбіоз, вплив хижаків, еволюційні процеси та адаптація, роль біотичних факторів у регенерації екосистем, є невід'ємною частиною екосистем, і їх взаємодія визначає стабільність та безпеку природних середовищ. Розуміння цих взаємодій є критичним для розробки ефективних стратегій охорони довкілля та збереження біорізноманіття. Забезпечення збалансованого функціонування біотичних компонентів є ключовим завданням для забезпечення стійкості та здоров'я екосистем у майбутньому.

Екологічна безпека є запорукою забезпечення життєдіяльності людини, рослин і тварин, але цей стан постійно піддається впливу різноманітних факторів. Природні, антропогенні та біологічні впливи формують екологічну систему та визначають ступінь безпеки.

Природні фактори відіграють ключову роль у формуванні стану екологічних систем. Клімат та геологічні процеси визначають умови існування живих організмів, водночас можуть викликати природні катастрофи, що серйозно впливають на екосистеми. Біологічні фактори, такі як розповсюдження хвороб та вимирання видів, додають складність утриманню екологічної рівноваги. Вплив цих факторів може мати подальші наслідки для стійкості екосистем.

Антропогенні фактори нині стали головною загрозою для екологічної безпеки. Промисловий розвиток, викиди забруднюючих речовин, руйнування природних середовищ суттєво погіршують якість повітря, води та ґрунтів. Збільшення обсягів виробництва та споживання веде до необоротної зміни екосистем.

Для забезпечення екологічної безпеки необхідно вживати комплексних заходів: адаптація до природних факторів – розвиток технологій адаптації до змін клімату та запобігання природним катастрофам; зменшення антропогенного впливу – впровадження екологічно чистих технологій у виробництві, споживанні та вирішення проблем відходів; збереження біорізноманіття – заходи з охорони природи та відновлення біологічного різноманіття; високий рівень екологічної свідомості населення є важливим чинником успіху у досягненні цілей екологічної безпеки, включає розуміння важливості збереження навколишнього середовища та активну участь у програмах і заходах, спрямованих на його захист. Тільки спільними зусиллями людства можна забезпечити сталість та безпеку екологічних систем для майбутніх поколінь.

## РОЗДІЛ 2

### ДОСЛІДЖЕННЯ ЕКОЛОГІЧНИХ ФАКТОРІВ ЕКОСИСТЕМ ДИСТАНЦІЙНИМИ МЕТОДАМИ

#### 2.1. Моніторинг біотичних екологічних факторів методами ДЗЗ/ГІС

Оцінка біорізноманіття є ключовим аспектом екологічних досліджень, який дозволяє зрозуміти різноманіття життя в різних екосистемах та вивчати їхню динаміку з часом. Одним із ефективних інструментів для цього є дистанційне зондування, яке забезпечує можливість аналізувати розміщення рослинності та визначати зміни в екосистемах. Дистанційне зондування визначається як метод отримання інформації про об'єкти на землі без фізичного контакту. У вивченні біорізноманіття воно дозволяє здійснювати віддалений моніторинг різноманіття рослин, аналізувати їхні характеристики та вивчати екосистеми в цілому. Використання супутникових знімків і спектральних даних надає можливість класифікації типів рослинності та визначення їхнього розміщення.

Дистанційне зондування дозволяє визначити різні типи рослинності, використовуючи спектральні характеристики рослин. Супутникові знімки, отримані на різних довжинах хвиль, дозволяють виділяти особливості різних видів рослин та аналізувати їх розподіл у природних умовах. Дистанційне зондування допомагає вивчати розміщення біорізноманіття на різних просторових шкалах. Визначення розподілу видів рослин у природних областях дозволяє зрозуміти, як різні екосистеми взаємодіють та впливають на біорізноманіття в цілому. Дистанційне зондування також дозволяє вивчати динаміку змін в екосистемах та виявляти можливі загрози для біорізноманіття. Спостереження за змінами в розподілі рослинності та взаємодії між видами рослин може служити індикатором змін в середовищі.

Застосування дистанційного зондування в екологічних дослідженнях має свої переваги, такі як великий охоплення території, можливість моніторингу в

реальному часі та ефективність в вивченні важкодоступних регіонів. Перспективи включають постійне вдосконалення технологій зондування та розширення застосування для збору даних на глобальному рівні. Дистанційне зондування є потужним інструментом для оцінки біорізноманіття та вивчення екосистем. Його застосування дозволяє отримувати об'єктивні дані про розміщення рослинності, визначати динаміку змін в екосистемах та виявляти фактори, що впливають на біорізноманіття.

Супутникові дані використані [9,10,11,27,33] для визначення стану рослинності, виявлення зон вирубки або зростання лісів, аналізу впливу погодних умов на рослинність. Дистанційне зондування Землі та супутникові дані [3,5,9,39] дозволяє аналізувати розміщення біорізноманіття та виявлення змін в екосистемах.

Ліси — скарбниця природних ресурсів, яким загрожує нераціональна діяльність людини. В Україні несанкціоновані рубки лісу є гострою проблемою. За даними Державного агентства лісових ресурсів (2022), обсяги лісопорушень з 2014 по 2022 рр. коливалися від 17,7 до 27,7 тис. м<sup>3</sup>, а в 2019 р. досягли максимуму — 118,2 тис. м<sup>3</sup>.

Площі та місця рубок лісу можна встановлювати за допомогою контактних і дистанційних методів. Контактні методи дозволяють точно визначати ділянки рубок та їх геометричні характеристики, але вимагають значних витрат часу та ресурсів. Дистанційні методи, ґрунтуючись на дистанційному зондуванні Землі (ДЗЗ), дозволяють оперативно виявляти знеліснені ділянки, хоча мають обмеження через метеорологічні умови та інтерпретацію даних ДЗЗ. Використання геоінформаційних систем (ГІС-технологій) у моніторингу рубок лісу дозволяє комплексно обробляти дані та створювати картографічні моделі. З'явилося багато веб-додатків та геопорталів для моніторингу лісового покриву за даними ДЗЗ [с.19,9].

В роботі [9] розроблено методику виявлення вирубок лісу та визначення їх параметрів з використанням дистанційних та контактних методів. Головні завдання дослідження включають аналіз наявних даних, розробку методів дешифрування рубок за допомогою ДЗЗ, використання ГІС-технологій та

практичну реалізацію на прикладі Харківської області. Початковий етап включає створення ортофотоплану Харківської області на основі космічних знімків із супутника Sentinel-2. Використання індексу NDVI дозволяє визначити лісові масиви та рубки лісу на космічних знімках. Проведено порівняльну характеристику різних методів виявлення зон знеліснення, вказуючи на переваги та недоліки кожного.

Розроблена методика визначення рубок лісу в Харківській області за допомогою ГІС-технологій та даних дистанційного зондування, виявлено 3299 ділянок рубок загальною площею 30 493 га. Використання методу NDVI з механічною постобробкою дало змогу векторизувати полігони та виправити помилки, такі як неправильно визначені кордони чи пропущені ділянки. Створена карта зон рубок дозволяє аналізувати розподіл вирубаних лісів у регіоні. За аналізом даних зазначено, що найбільше рубок було виявлено у період з 2014 по 2019 рік, а найвищий відсоток незаконних рубок спостерігався у 2018–2019 рр. та у 2021 році. Метод NDVI, несучи деякі обмеження, виявився ефективним для визначення рубок лісу та створення картографічних матеріалів для подальшого аналізу та управління лісовими ресурсами. Застосування таких технологій виявляється важливим етапом для збереження екосистем та прийняття обґрунтованих рішень у галузі лісового господарства.

Глобальні кліматичні зміни та їх вплив на світову екосистему стали реальністю, яку підтверджують дослідження на різних рівнях. Кліматичні зміни відображаються в різних аспектах, таких як режим зволоження, термічні характеристики, зсув меж кліматичних зон, збільшення екстремальних умов погоди. Дистанційне зондування та супутникові дані надають можливість відстежувати ці зміни, особливо у гідро- та геосфері, і відображати їх на зображеннях.

В роботі [10] на прикладі «Матвіївського лісу» поблизу м.Миколаїв використовується багаторічний ряд супутникових даних для визначення тенденцій в різноманітних біофізичних властивостях. Аналіз показав зворотні залежності між вегетаційним індексом NDVI та температурою поверхні LST, але існують інші фактори, такі як зволоженість ґрунту і рельєф, які впливають



на ці показники. Супутникові дані Sentinel-2 дозволяють виявляти короткострокові зміни, такі як пожежі та вирубки, і стежити за самовідновленням геосистеми. Профілі-трансекти, що різнобічно характеризують геосистему, дозволяють отримати комплексну інформацію та використовувати її для дослідження екологічного менеджменту.

В умовах сучасних кліматичних змін, вивчення інтенсивності поглинання вуглекислого газу болотними екосистемами стає ключовим завданням. Болота, зокрема водно-болотні угіддя, визнані важливими поглиначами вуглецю. Осока побережна (*Carex riparia*) ефективно адаптується до заболочування та виявляє високу здатність поглиблення вуглекислого газу. В роботі [11] досліджено кореляцію вегетаційних індексів (VI) осоки побережної з концентрацією вуглекислого газу. З використанням спектрогазометричних наземних вимірювань встановлено, що п'ять вегетаційних індексів реагують на зміни концентрації вуглекислого газу з високою кореляцією (від 0,60 до 0,72). Вони виявилися чутливими до різниці у листовому фотосинтезі та диханні осоки.

Дані також показали, що індекси REP, Green NDVI, NRDVI, Green MOD і Red MOD відображають зміни концентрації вуглекислого газу, отримані спектрогазометричним вимірюванням та космічними знімками Sentinel-2. Індекси можуть бути основою для моделювання вуглецевого потоку рослинного покриву, відображаючи зміни у фотосинтезі та диханні осоки побережної. Результати роботи підтверджують, що вегетаційні індекси осоки побережної можуть бути використані для моніторингу вуглецевого обміну у болотних екосистемах, забезпечуючи цінні дані для екологічних досліджень та моделювання.

Вивчення концентрації парникових газів (ПГ) у атмосфері є критичним аспектом розуміння глобальної кліматичної динаміки. Парникові гази, зокрема вуглекислий газ, здатні затримувати теплове випромінювання, що виходить з поверхні Землі, що призводить до змін в температурному режимі планети. За звітами Міжурядової групи експертів зі зміни клімату (IPCC), зростання концентрації парникових газів в атмосфері останнім часом викликало інтенсифікацію впливу цих газів, особливо вуглекислого газу. Наземні

екосистеми, в яких рослинність взаємодіє з атмосферою, є ключовими гравцями в цьому процесі. Вони відіграють важливу роль у вивільненні та поглибленні парникових газів, а також регулюють енергетичний та водний обмін. Відомо, що зміни в температурному режимі можуть суттєво впливати на біогеохімічні процеси в екосистемах, зокрема на фотосинтез та продуктивність рослинності.

Аналіз [27] продуктивності рослинності в Європі, проведений за допомогою даних MODIS, виявив негативний вплив збільшення літніх температур на різні регіони Європи. Особливо важливим було виявлення, що на південь відмічається певний поріг літніх температур, після досягнення якого відбувається зниження продуктивності рослинності. Аналіз різних типів рослинності показав важливі зміни в вуглецевому запасі. Сільськогосподарські землі втратили вуглецевий запас, тоді як ліси та савани зазнали позитивних зрушень. Розуміння динамік стає ключовим для прогнозування впливу кліматичних змін на рослинність та взаємодію з атмосферою, що в свою чергу має важливі наслідки для екосистем та кліматичної стійкості нашої планети.

Глобальні кліматичні зміни та їх вплив на навколишнє середовище є важливою міжнародною проблемою, що потребує термінових заходів. Україна впровадила закон "Про оцінку впливу на довкілля" для реагування на ці виклики. Ліси, хоча займають меншу площу в порівнянні з іншими країнами, відіграють ключову роль у балансі природних ландшафтів. Останнім часом в Україні збільшилася площа вражені хворобами та шкідниками пошкоджених лісів. Виявлено значні зміни в площах лісів за останні роки, а особливу увагу потрібно приділити контролю за розвитком фітопатологічних процесів, які можна ефективно виявляти за допомогою космічного моніторингу. В роботі [33] досліджено ліси Карпатського національного природного парку, виявлено збільшення площі листяних лісів та визначено фітосанітарний стан лісових ділянок. Застосування ДЗЗ дозволяє оперативно виявляти та контролювати шкідливі процеси в лісах, що є ключовим елементом для збереження екосистем та забезпечення сталого розвитку країни.

Гусінь жука, що виходить з яйця, має важливе значення для контролю за розповсюдженням жуків і їх знищенням в лісах. Початкові стадії зараження,

відомі як "зелена" атака, важливо виявляти до міграції комах. Ознаки ураження лісу короїдом включають деревинну труху, розрідження крони, пошкодження стовбурів. Традиційні методи контролю за розповсюдженням короїдів на великих площах вимагають багато часу. Використання ДЗЗ знімків може значно полегшити виявлення уражених лісів та ефективно контролювати процеси. Оперативне вирішення цих завдань стає можливим завдяки багатозональним ДЗЗ зйомкам від Landsat, які є безкоштовними та доступними для всіх. Використання цих матеріалів для моніторингу екологічного стану лісів є важливим завданням, яке може бути ефективно вирішено за допомогою геоінформаційних систем та обробки цифрових даних дистанційного зондування Землі. Розвиток таких технологій може допомогти впровадженню ефективних методів просторового аналізу поверхні Землі для вивчення лісів та інших ландшафтів.

В роботі [33] проведено сортування гірських лісів Карпатського національного природного парку з метою точного визначення просторового розподілу порід та стану фітосанітарії. Зазначено, що площа листяних лісів у порівнянні з хвойними на цій території постійно зростає. Досліджені фактори враження ялин Карпат, і виявлено, що пошкоджені участки лісу переважно розташовані на ділянках пониженого рельєфу. Проаналізовано фітосанітарний стан окремих ділянок лісу за даними з супутника Sentinel-2, виявлено значну відмінність в показниках яскравості та значень вегетаційних індексів NDVI та MSI між ураженими та здоровими участками.

Дистанційні методи моніторингу тварин набувають великого значення у зв'язку з проблемами збереження видового різноманіття фауни та відновлення популяцій, що знаходяться на межі зникнення. Розроблені заходи з охорони видів та їх біотопів, такі як природно-заповідний фонд, законодавство та плани дій, стають важливими компонентами цього процесу.

Необхідною є зміна методик вивчення вразливих видів, зокрема тих, що пов'язані з вилученням і вбивством тварин, на методики прижиттєвого дослідження. Розширення цих методик на ту частину фауни, яка поки що не потребує охорони, визначено як важливий крок у збереженні природного

спадку. Згідно основна мета таких заходів полягає не лише в бережливому ставленні до раритетної частини фауни, а й в попередженні зникання колись численних і поширених видів. Такий підхід дозволяє не лише вивчати та моніторити тварин, але й сприяє їхньому збереженню та поповненню чисельності [3].

Вивчення дрібних ссавців [39] в екологічних дослідженнях включає в себе методи прижиттєвого мічення, серед яких виділяють короткострокові, довгострокові та постійні мітки. Одним із методів є використання нашихників, розширюючихся на зростаючих тваринах. Вони дозволяють ідентифікувати тварин та вивчати їхні пересування, але можуть викликати проблеми в соціальній взаємодії та травми, особливо в період розмноження.

Ще одним методом є чіпування, де мікрочіп вводиться під шкіру тварини. Цей метод надійний, але високо вартісний. Радіоактивне мічення використовує радіоактивні матеріали для вивчення екологічних особливостей, але може становити загрозу для здоров'я тварин та дослідників.

Однією із форм радіоактивного мічення є використання імплантатів з ізотопами, які служать маркерами для відстеження рухів тварин. Бета-випромінювання, використовуючи тритій, не становить загрози для здоров'я і може функціонувати тривалий час. Однак вибір методу повинен враховувати доступність радіоактивного маркера та його вплив на організм досліджуваної тварини та дослідників.

## **2.2. Моніторинг абіотичних екологічних факторів методами ДЗЗ/ГІС**

Використання методів дистанційного зондування та геоінформаційних систем для моніторингу абіотичних екологічних факторів є ефективним підходом до вивчення та аналізу стану довкілля. Даний підхід дозволяє отримувати об'єктивну інформацію про різноманітні аспекти середовища на великих територіях з використанням космічних знімків та геопросторових даних. Моніторинг абіотичних факторів, таких як температура повітря, вологість ґрунту, топографічні особливості, дозволяє вченим та екологам

визначати зміни в середовищі. Зокрема, застосування супутникових даних для вивчення термічних характеристик земної поверхні сприяє розумінню впливу кліматичних змін.

Дистанційне зондування також виявляється корисним для визначення та прогнозування змін у водних ресурсах. Супутникові дані можуть використовуватися для моніторингу водних витрат, рівнів водосховищ та визначення зон ризику забруднення.

Впровадження дистанційного зондування та геоінформаційних систем у моніторинг абіотичних екологічних факторів розширює можливості вчених та екологів у вивченні та збереженні природного середовища. Методи не тільки забезпечують об'єктивні дані, але й сприяють оперативній реакції на зміни в екосистемах та сприяють сталому господарюванню ресурсами природи.

Водне середовище є ключовим для екологічної рівноваги та забезпечення життя організмів. Зміни водних екосистем відбуваються під впливом забруднення, змін клімату та антропогенного впливу. У наукових дослідженнях використовуються різні методи та підходи для оцінки стану водних екосистем, включаючи біологічні, хімічні та фізичні показники. Супутникове зондування надає дані про температуру води, концентрацію планктону та інші параметри для виявлення змін та забруднення. Довгострокові спостереження дозволяють виявити тенденції та вплив довготривалих процесів, таких як зміни клімату. Розробка ефективних методів порівняння різночасових та різнометодичних оцінок стану водного середовища стає важливою задачею для подальших досліджень. В роботі [8] обґрунтовано метод порівняння різночасових оцінок стану річки Прип'ять за допомогою інформації ДЗЗ методом статистичного критерію у 2022 році та порівняно з результатами оцінювання в 1999 році методом водно-рослинних ландшафтних комплексів. Методичні особливості порівняння стану водного середовища за допомогою інформації ДЗЗ обґрунтовано на прикладі річки Прип'ять у 2022 та 1999 роках. Застосування методу Статистичного Критерію, використовуючи ділянки-еталони, показано значні зміни в якості води, такі як зменшення брудних ділянок та збільшення чистих. Порівняння методів статистичного критерію та водно-рослинного

ландшафтного комплексу підтверджено коефіцієнтом кореляції 0,83. Використання Landsat5, Landsat9 та індексів NDVI та NDWI у дешифруванні космічних знімків визначило найбільш інформативні спектральні діапазони. Результати можуть бути використані в системах екологічного моніторингу та для управлінських рішень в охороні водних ресурсів. Порівнюючи різночасові та різнометодичні оцінки стану водного середовища, важливо враховувати змінюваність методів з часом та унікальні характеристики кожної екосистеми. Узагальнення порівнянь сприяє розумінню довготривалих змін і виявленню проблем для обґрунтованих рішень щодо відновлення водних ресурсів.

Проблема збереження водних ресурсів України вимагає уваги через її малозабезпеченість водними запасами. Гідроекологи здійснюють пошук та застосування науково обґрунтованих методів для раціонального використання та охорони водних ресурсів. Моделювання водних екосистем є ключовим для підвищення продуктивності водойм та здійснення водоохоронних заходів. Київське водосховище є складною системою, де раціональне використання визначає розвиток. Управління сталим розвитком ґрунтується на виборі сценаріїв, які враховують економічні та екологічні критерії. Екологічне моніторингове оцінювання екосистем і компонентів біосфери є важливою частиною екологічної діяльності. Робота [12] розглядає методи гідроекологічного аналізу, базовані на системному аналізі та імітаційному моделюванні. Стаття спрямована на комплексне використання ДЗЗ знімків та наземних значень для математичного моделювання та оцінювання водних екосистем, зокрема Київського водосховища. Запропоновано побудову сценаріїв природокористування, що базуються на балансі споживання та відтворення води, з використанням інтегральних критеріїв поновлення водних ресурсів. Математичне моделювання відіграє ключову роль в системі екологічного моніторингу та підтримує баланс між споживанням та відтворенням водних ресурсів.

Розглянута [12] концептуальна модель еколого-економічних систем природокористування басейну Київського водосховища. Формалізація дозволила створити комп'ютерні варіанти моделей, використовуючи

інформаційну технологію адаптивного балансу впливів, що забезпечило прогнозування сценаріїв процесів у басейні при врахуванні управляючих параметрів. Використання ДЗЗ знімків дозволяє отримати достатньо даних для оцінювання якості водних екосистем та параметрів забруднення вод. Комп'ютерні технології управління відрізняються широким спектром можливостей для імітаційних експериментів і вибору оптимальних сценаріїв, що відповідають цілям сталого розвитку.

Робота [13] акцентує увагу на важливості стану та відновлення водних ресурсів для забезпечення якісною питною водою, як ключової екологічної проблеми. В контексті Глобальних цілей сталого розвитку висвітлено, що 41 країна має нестачу води, і 10 з них вичерпали відновлювані ресурси, використовуючи альтернативні джерела. Автори висвітлили значення гідрологічних спостережень на водоймах, які повинні бути комплексними та охоплювати різні аспекти, включаючи витрату та рівень води, зміни русла річки, хімічний склад, температурний режим і багато інших. Аналіз стану водних екосистем Києва та його околиць вказує на необхідність розуміння антропогенного впливу та оцінки прогнозованих змін у стані навколишнього середовища.

Стаття [13] пропонує використовувати сучасні геоінформаційні технології та аерокосмічні матеріали для вивчення стану водних ресурсів. Через дослідження Києва та околиць, як унікальних ландшафтно-біоценотичних утворень, висвітлено їх роль у Дніпровському екологічному коридорі. Процес формування та функціонування міських водних екосистем, вивчення яких є актуальною задачею, розглядається в контексті антропогенного впливу та можливості відновлення.

Розроблено [13] універсальний методичний апарат для екологічного моніторингу та оцінки гідроекосистем, зосереджений на виявленні антропогенного впливу. Застосовано аналіз трансформації р. Десенка в 1965–2021 рр. Основна увага приділена змінам берегової лінії Києва, що дозволило визначити характер антропогенного впливу. Покращено технологію моніторингу водного режиму річки за допомогою батиметричних карт та

космічних знімків. Комплексний підхід використовує методи відбору та обробки інформації, ГІС-технології та аналіз ДЗЗ. Результати легко інтерпретуються, вказуючи на вплив пісковидобутку на біотичну стабільність ландшафтів і середовище. Дослідження свідчить про необхідність стабілізації екологічної рівноваги річкової екосистеми та вжиття заходів для підвищення їх продуктивності та забезпечення екологічної безпеки.

Україна знаходиться перед серйозними викликами в сфері прісноводних водних ресурсів, зокрема озер. Загальна кількість озер та лиманів у країні становить 8073. Волинське Полісся відзначається великою кількістю озер, які мають стратегічне значення для прісної води та рекреаційних ресурсів. Озера виконують важливі гідрологічні, мікрокліматичні, екологічні та біостаційні функції у біосферних процесах.

Зміни клімату мають серйозний вплив на функціонування озерних екосистем. Глобальне потепління і його наслідки обумовлені даними Світової метеорологічної організації. В Україні спостерігається зростання середньорічної температури. Екологічні трансформації, такі як зникнення озер та їх трансформація у водноболотні комплекси, стають актуальними.

Загрози для озер посилюються антропогенним впливом, включаючи сільськогосподарське природокористування, використання хімічних добрив, пестицидів, забудову, водозборів, що приводить до забруднення озер і евтрофікації. Задля ефективного управління водними ресурсами та збереження екосистем потрібні сучасні методи моніторингу, такі як дистанційне зондування та геоінформаційні системи.

В роботі [17] наведено підходи використання засобів дистанційного зондування для оцінювання природно-антропогенних трансформацій озер на прикладі озера Більське в Волинському Поліссі. Розглянуто важливу проблематику трансформації озер Поліського регіону під впливом глобальних змін клімату та антропогенних факторів. Зазначається, що такі чинники, як осушувальна меліорація, аграрне природокористування, хімізація ґрунтів водозборів, та інші, призводять до зменшення площ водойм, процесів седиментації, евтрофікації та перетворення їх в озерно-болотні комплекси.



Автор [17] описує основні етапи польових досліджень та особливості дешифрування озер за космічними знімками. Важливою є концепція "палеоозера" та природно-аквального комплексу. Запропоновано алгоритм-схему дослідження природно-антропогенних трансформацій озера за допомогою засобів дистанційного зондування Землі та технологій геоінформаційних систем. Автор [17] розглядає зміни параметрів площ модельних озер Волинського Полісся та використовує ресурс Google Earth для оцінки змін площі водойми від "палеоозера" до сучасних меж берегової лінії та акваторії. Проаналізовано гідролого-лімнологічні параметри озера Більське. В роботі [17] наводиться детальний аналіз застосування знімків високої просторової розрізненості (Sentinel-1, Sentinel-2, Landsat) для оцінки екологічного стану озера та динаміки термічного режиму поверхні. Зазначається тенденція до підвищення температур водойми. Запропонований підхід до оцінювання екологічного стану озер є дієвим в методичному та практичному плані. Автор [17] пропонує використовувати його для створення екологічних паспортів водойм, моніторингу заповідно-рекреаційних територій та довгострокового прогнозування розвитку аквальних комплексів в умовах природно-антропогенних трансформацій.

Площі акваторій озер Поліського регіону зменшуються під впливом природних і антропогенних трансформацій в діапазоні від 15,63% до 88,66%. Використання космічних знімків Google Earth виявляється ефективним для морфометричного аналізу та визначення змін берегової лінії. Уточнення площі палеоозера вказує на потребу геологічних методів буріння для достовірних результатів. Запропоновано застосовувати вегетаційний індекс за даними апарата Sentinel-2 для оцінки евтрофіно-дистрофного типу озер.

Дослідження температурного режиму поверхні озера Більське показує тенденцію до підвищення середньорічних температур, сприяючи активізації процесів евтрофікації влітку та нагромадження осадових речовин. Використання ресурсів Google Earth та EO Browser у поєднанні з інструментальними методами є передумовою для розробки ландшафтної карти озера як моделі природно-аквального комплексу.

Хоча EO Browser на стадії оновлення, його можливості в подальшому обіцяють графіки розподілу екостану озера та водозбору, віддзеркалюючи важливий напрямок регіональних ландшафтно-лімнологічних досліджень. Автори [17] підкреслюють важливість цього напрямку для розробки екологічних паспортів озер та формування передумов для збалансованого природокористування водойм уповільненого водообміну.

Водні екосистеми дніпровських водосховищ регулярно стикаються з феноменом "цвітіння" води, який щорічно залишається великою загадкою для науковців. Це явище часто пов'язують із сезонністю та температурою води. Для розширення розуміння цього явища, сучасні методи досліджень включають використання даних дистанційного зондування Землі.

Паралельно з традиційними методами аналізу фітопланктону, ДЗЗ надає можливість отримувати щоденні чи двох-триденні знімки територій, що сприяє точній ідентифікації початку та закінчення "цвітіння" води. Аналіз даних [32] Terra та Aqua встановив просторово-часові закономірності "цвітіння" у різних частинах дніпровських водосховищ. Кременчуцьке виділялося найбільшим розвитком водоростей, тоді як Київське мало найменший. Виявлені чинники включають кольоровість води, температуру та вплив вітру. Аналіз періоду 2013–2018 рр. показав, що погодні умови впливають на інтенсивність "цвітіння". Особливо помітними були зміни у 2015–2016 рр. з малою водністю та низькою кольоровістю води. Декілька років спостерігали найменший розвиток водоростей, що було пов'язане із великим стоком та хмарністю влітку. Дослідження підкреслює важливість ДЗЗ для вивчення "цвітіння" води та його взаємозв'язку із погодними умовами та іншими факторами у дніпровських водосховищах.

Результати фізичного моделювання та дослідження температурних аномалій на водній поверхні мають велике значення для розуміння гідродинамічних процесів у водному середовищі. Використання математичного моделювання обмежене у деталях, і дослідження гідродинаміки в реальних умовах виходить дорого та є складним. У зв'язку з цим, фізичний модельний

експеримент стає необхідною частиною досліджень, зокрема тих, що стосуються температурних аномалій на морських акваторіях.

В роботі [34] представленні результати моделювання та дослідження температурних аномалій, які можуть мати природне чи техногенне походження на водній поверхні. Дослідження проведено на базі дослідного басейну Інституту гідромеханіки НАН України за допомогою самохідної моделі, яка виступає генератором гідродинамічних процесів. Температурні аномалії природного походження можуть виникати при викиді газів з покладів вуглеводнів. Результати моделювання вказують на те, що гази можуть утворювати бульбашки та викликати утворення внутрішніх хвиль, що, в свою чергу, стає джерелом температурних аномалій на водяній поверхні. Дослідження показало, що взаємодія гідродинамічних збурень з приповерхневим водяним шаром може викликати формування демаскуючих температурних аномалій. Основні висновки отримані за допомогою аерокосмічних знімків та дешифрування на основі ентропії. Вказано, що ентропія є інформативною ознакою для дешифрування на знімках температурних аномалій техногенного і природного походження на поверхні моря. Робота відкриває нові можливості для вивчення гідродинамічних явищ на водяній поверхні та розуміння температурних аномалій, що виникають внаслідок різних природних і техногенних факторів.

У зв'язку зі швидкою зміною кліматичних показників, вчені стикаються з важливим завданням – адекватно оцінити вплив факторів, які спричиняють зміни в кліматі, та визначити стратегії для стабілізації клімату для забезпечення сталого розвитку. Зміни у кліматичних показниках, таких як опади та температура повітря, виявляються різними в різних регіонах світу, враховуючи різноманітні фактори, які походять як від людини, так і від природи.

Методи порівняння локальних вимірювань та загальних трендів сьогодні мають свої обмеження через різницю у природних процесах. Для вирішення цих завдань необхідно впровадження контролю за змінами метеорологічних параметрів в різних регіонах через наземні та супутникові вимірювання. Зокрема, в Антарктиді, яка є незаселеним та захищеним від антропогенного

впливу континентом, можна провести ефективний моніторинг кліматичних змін, який надасть можливість оцінити вплив природних факторів на зміни кліматичних показників.

Урахування географічних особливостей та невеликого антропогенного впливу на Антарктиді забезпечить об'єктивні дані для моделювання та вдосконалення глобальних моделей клімату. Супутникові дані про концентрацію парникових газів, зокрема CO<sub>2</sub>, отримані завдяки сенсорам супутників, дозволяють проводити оцінку концентрації газів в атмосфері та здійснювати верифікацію моделей на різних рівнях.

Досягнення у супутникових технологіях, зокрема супутника OCO-2 [14], надають можливість детальніше вивчати вміст концентрації CO<sub>2</sub> в атмосфері. Розроблені алгоритми та методології визначення концентрацій газів дозволяють враховувати географічні особливості та об'єктивно визначати концентрації в різних регіонах. Робота в цьому напрямку є важливим етапом для забезпечення надійних прогнозів майбутніх змін клімату та оптимізації стратегій для сталого розвитку планети.

У роботі [14] виконано порівняльний аналіз даних щодо концентрації вуглекислого газу в атмосфері над полярними територіями, прилеглими до антарктичної станції "Академік Вернадський". Розмір досліджуваної території становить приблизно 166 км на 75 км. Використані дані включали виміри супутника Orbiting Carbon Observatory (OCO-2) та температурні дані, збережені під час наземних метеорологічних спостережень на станції "Академік Вернадський" за період з 2014 по 2020 рік. Аналіз показав, що температура повітря та концентрація вуглекислого газу в атмосфері над досліджуваною територією мають тенденцію до повільного зростання протягом зазначеного періоду. Важливим є виявлення інтегральних тенденцій взаємозв'язку між вмістом парникових газів та температурою повітря.

У подальшому було здійснено порівняльний аналіз даних щодо концентрації вуглекислого газу за даними OCO-2 між регіонами з прямим антропогенним впливом (територія України) та регіонами з мінімізованим антропогенним впливом (території біля станції "Академік Вернадський").

Результати показали, що концентрації вуглекислого газу на територіях із прямим антропогенним впливом зростають значно швидше, ніж на територіях із мінімізованим впливом. Дослідники рекомендують використовувати комплексні, одночасні та узгоджені із супутниковими спостереженнями вимірювання для оптимізації інформації про зміни кліматичних параметрів, зокрема температури повітря, в полярних зонах.

Тепловий острів - це явище, коли міські або мегаполісні області виявляються значно теплішими в порівнянні з прилеглими сільськими районами чи навіть іншими частинами того ж самого міста. Явище може бути пов'язане з густою забудовою, викидами від промислових процесів та транспорту, обмеження природної циркуляції повітря, інтенсивне використання матеріалів, які зберігають тепло (асфальт чи бетон).

Дослідження теплових островів [15] за допомогою супутникових даних включає в себе використання теплових індексів та аналіз теплових даних, які отримуються з космічних супутників. Супутникові дані дозволяють виміряти температури на поверхні землі та виявляти різницю теплових режимів між міськими та природними областями. Одним з ефективних методів дослідження теплових островів є аналіз теплових знімків, які отримуються із супутників, таких як Landsat. Дані надають можливість вивчення теплового режиму різних міських областей та виявлення тенденцій з часом. Такий аналіз дозволяє вченим та планувальникам міст зрозуміти розподіл тепла в міському середовищі, враховувати його вплив на клімат та сприяти розробці стратегій адаптації до теплових екстремумів та забезпечення комфортних умов для мешканців міст.

Місто Запоріжжя, належачи до п'ятірки найбільших промислових центрів України та займаючи шосте місце за чисельністю населення, відзначається значним промисловим потенціалом. Поодинці з великими підприємствами чорної металургії, у місті існують підприємства кольорової металургії, машинобудування, хімічні заводи, а також потужні установи будівельної та харчової промисловості, які, загалом, охоплюють до 30% його території. Значна

кількість енергоємних підприємств формує тепловий острів над містом, підвищуючи ризик теплового стресу та сприяючи забрудненню повітря.

Негативні наслідки теплового стресу включають погіршення самопочуття мешканців міста, зокрема вразливих груп населення, таких як діти, люди похилого віку та ті, хто страждає від серцево-судинних захворювань та проблем дихальної системи. Відзначається погіршення умов праці людей, стану зелених насаджень та інфраструктури міста. Аналіз метеорологічних даних свідчить про зростання середньорічної температури повітря у Запоріжжі порівняно з попереднім періодом, а також про збільшення літніх температурних максимумів та кількості днів з температурою вищою за 30 °C.

Аналіз теплового острова та його впливу можливий завдяки космічним знімкам у тепловому діапазоні електромагнітного спектра, отриманим супутниками Landsat. Цей підхід дозволяє досліджувати динаміку теплового стресу та сприяє розробці стратегій пристосування до кліматичних змін у місті.

Місто Запоріжжя, яке визначається своїм великим промисловим потенціалом та розташуванням в центральній степовій частині України, вивчається в контексті теплового острова (УНІ). У місті домінують значні промислові підприємства, такі як металургійні, машинобудівні, хімічні та будівельні, що формують потужний термальний острів, що впливає на фізичні характеристики міста. Дослідження теплового острова проведено [15] за допомогою аналізу космічних знімків, отриманих від супутника Landsat протягом 33 років. Виявлено значні зміни в розмірах, формі та розподілі температур цього острова в часі та просторі.

Середнє щорічне підвищення поверхневих температур для всього міста становило 0.149 °C щорічно. Температурні графіки за липень і серпень вказують на існування різноманітних ландшафтно-функціональних зон, які впливають на тепловий режим. Зокрема, інтенсивне нагрівання в промислових областях призводить до стабільного ефекту теплового острова. Аналіз показує, що приріст температур у місті варіюється від 0.15 до 0.3 °C, а максимальні підвищення досягають 0.6 °C на рік, зокрема в нових житлових масивах і промислових зонах. Порівняння липневих і серпневих температур вказує на

вищі значення у липні, а також зменшення амплітуди коливань у серпні. Дослідження дозволяє розуміти динаміку теплового острова в місті та визначає важливі аспекти для подальших стратегій адаптації до екстремальних температурних умов.

Сучасні зміни клімату, особливо зростання парникового ефекту через викиди антропогенних газів, створюють загрозу для екосистем та кліматичної стійкості планети. Відзначається активна участь України в регулюванні викидів парникових газів, що підтверджується прийняттям законопроектів №0874 та №0875 у серпні 2019 року на державному рівні та участі на Конференції сторін Рамкової Конвенції ООН з питань клімату — COP25 на міжнародному рівні.

У контексті досліджень визначеної проблеми, автори [24] вказують на важливість моніторингу концентрації вуглекислого газу в атмосфері. Вони вказують на можливість мінімізації викидів шляхом підвищення ефективності поглинання наявних парникових газів. Основна увага при цьому приділяється роботі з наземними екосистемами, зокрема водно-болотними угіддями.

Підходи до оцінки теплового стану міста Києва під впливом зміни клімату вдосконалено у [30] дослідженні, використовуючи багатоспектральні супутникові дані. Автори використовували супутникові знімки Landsat 8 TIRS і Sentinel 2 MSI для оцінки теплового розподілу на основі спектральних густин, враховуючи закон Планка для "сірих тіл" розраховували температури поверхні та коефіцієнт теплового випромінювання. Отримані результати були відкалібровані за наземними даними, що дозволило покращити просторову роздільну здатність до 46% за допомогою субпіксельної обробки. Просторовий аспект був вивчений за допомогою класифікації Sentinel 2A MSI image, де визначено шість основних класів міського середовища. Результати вказують на те, що поверхні з рослинністю мають нижчу температуру порівняно з штучними поверхнями, такими як дахи будівель і покриття доріг.

Досліджено [30] просторово-часові зміни з використанням аналізу часових рядів 18 тепловізійних знімків для Києва протягом періоду з 1985 по 2018 рік. Аналіз виявив термічні аномалії, такі як збільшення температури поверхні на місці будівництва Національного Державного Комплексу

"Олімпійський" та зменшення - на ділянці, де ліквідовано трамвайне депо та розібрано територію.

Вплив теплових островів [31] над промисловими містами на довкілля та здоров'я населення приводить до зростання поверхневих температур у великих містах з негативними наслідками для екосистем. За допомогою аналізу теплових каналів супутникових даних проведено дослідження міських островів тепла в одному з крупних промислових центрів Південної України – м. Миколаєва.

Розглянуто [31] закономірності розподілу наземних температур у місті, особливості міських островів тепла та їх вплив на ландшафт та функціональні умови. Аномально високі температури зафіксовані в промислових зонах міста, досягаючи 40–43°C, описані стрибки підвищення температури в місцях забудови та водосховищах. Докладно проаналізовано зміни температур в промислових зонах, водних поверхнях і житлові райони. Тип житлової забудови та озеленення мають великий вплив на температурний фон міста. Дослідження базується на аналізі теплових каналів супутникових знімків Landsat з 1985 по 2018 рік. Отримані дані дозволяють визначити стан і особливості теплового поля поверхні великого промислового міста

Дослідження [24] проведене на території водно-болотних угідь лісостепової зони України, використовуючи дистанційні спектро- та газометричні зйомки, спрямоване на вивчення кругообігу вуглецю в системі "атмосфера–рослинність". Експериментальний підхід включає в себе застосування апаратури для реєстрації вмісту вуглекислий газ в повітрі та спектрорадіометра для зйомок. Отримані результати вказують на зростання продуктивності водно-болотних рослин лише при певних температурних умовах, а також на позитивний вплив цих екосистем на фотосинтетичну активність порівняно до інших екосистем. Рекомендації дослідників включають врахування цих особливостей при реалізації заходів з мінімізації впливу регіонального потепління, сприяючи рекультивації та відродженню водно-болотних угідь. В Україні відсутні метеорологічні башти з необхідним обладнанням для постійного вимірювання концентрації парникових газів, що



визначає актуальність впровадження подібних систем для точного контролю та моделювання кліматичних змін.

### **2.3. Аналіз змін ландшафтної динаміки методами ДЗЗ/ГІС**

Втручання людини в природні процеси, такі як будівництво гідротехнічних споруд, шахт, рудників, доріг, свердловин, водойм, дамб, а також деформація суші вибухами, будівництво великих міст і обводнення пустель, призводить до значних та помітних змін у природному середовищі. Застосування мультиспектральних космічних знімків Землі визначається можливістю виявлення зазначених змін шляхом використання методів аналізу на певних ділянках поверхні Землі через певний часовий інтервал. Головна мета цього процесу полягає в наданні кількісної та якісної інформації щодо виявлених змін та їх просторового розподілу. Оскільки вплив різноманітних факторів може значно впливати на результати виявлення змін, виникає потреба в уважному виборі найбільш підходящого методу для кожної конкретної ситуації. Такий підхід до виявлення змін є важливим напрямком, що активно розвивається, і відзначається широким застосуванням в різних галузях.

Важливий аспект вивчення змін в природному середовищі та визначення їх впливу на екосистеми – ландшафтна динаміка. Методи дистанційного зондування та геоінформаційні системи надають унікальні можливості для аналізу та візуалізації ландшафтної динаміки на різних просторових та часових шкалах. Аналіз змін у ландшафті шляхом використання ДЗЗ включає в себе використання супутникових та аерокосмічних знімків для визначення різниці в структурі та покритті місцевості. Підхід дозволяє відслідковувати зміни в рельєфі, водних ресурсах та використанні ґрунтів. Однією з ключових областей дослідження є визначення впливу антропогенних факторів на ландшафт. Автоматизовані методи класифікації ДЗЗ можуть допомагати в ідентифікації зон експлуатації та руйнування ландшафту.

Аналіз ландшафтної динаміки [7,15,16,18,19,20,22,23,25,28,37]: Дистанційні методи дозволяють вивчати динаміку змін у ландшафті, такі як ерозія, зміни в рельєфі та використання землі.

В роботі [7] вирішується завдання моніторингу та детального вивчення причин та ймовірності виникнення та поширення пожеж на сході України в зоні бойових дій. Для цього застосовано математичне моделювання факторів, які впливають на виникнення пожеж, і це базується на лінійній регресії.

Початкова оцінка апіорної інформації, представленої у дискретній формі, є трудомістким процесом. Однак великий масив даних з часовим інтервалом вимагає застосування готових методів і рішень. Методи статистичного та історичного аналізу грають важливу роль, дозволяючи візуально оцінити вихідні дані та класифікувати фактори для подальшого аналізу та моделювання.

Демонстрація застосування кореляційного аналізу визначає його здатність встановлювати та ілюструвати зв'язки між пожежами та бойовими діями на різних часових інтервалах. Використання мови програмування Python спрощує моделювання пожеж, а програмний код, розроблений для реалізації алгоритму лінійної регресії, є основою для отримання результатів. Розділення випадкових змінних на тестові та навчальні моделі дозволяє ефективно використовувати математичні інструменти для візуалізації.

Табличні дані, які включають кількісні оцінки результатів тестових і навчальних моделей, надають основу для прийняття рішень щодо відповідності прогнозованих результатів цілям дослідження. Комплексний підхід до факторів, що впливають на пожежі, їх класифікація та взаємозв'язки, підкреслює необхідність системного аналізу.

Інтеграція регресійних методів вимагає додаткового аналізу та синтезу додаткових даних. Аналіз результатів підтверджує легкість застосування регресійних методів, але також вказує на важливість додаткових досліджень та альтернативних методів для надійного прогнозування пожеж у зоні бойових дій.

Метою розробки та впровадження ефективних рекомендацій з мінімізації впливу кліматичних змін на сталий розвиток довкілля та соціоекономічних процесів важливо отримувати достовірну інформацію про зміни умов довкілля та ефективно оперувати цією інформацією. Дистанційне зондування виявляється ідеальним неdestructивним методом дослідження наземного покриву, що надає необхідні дані для виявлення змін земельного покриття та інших аспектів.

Велике значення в дослідженнях навколишнього середовища мають вегетаційні індекси, які обчислюються на основі даних спектрорадіометрів, що визначають вміст хлорофілу в рослинах та оцінюють стреси, спричинені різними чинниками, такими як забур'яненість, дія важких металів, засолення ґрунтів. Застосування вегетаційних індексів дозволяє ідентифікувати зміни у стані рослинності, які можуть бути непомітними при візуальному спостереженні. Інверсія стану агрофітоценозів може бути виявлена за допомогою різних вегетаційних індексів залежно від довжини хвилі, що використовується для їх розрахунку.

Наземні прилади дистанційного зондування, такі як спектрорадіометри, застосовуються для визначення вмісту хлорофілу в рослинах та оцінки різних аспектів рослинного покриву. Дослідження також підкреслює важливість підбору вегетаційних індексів для різних класів рослинності, особливо для тих, які вирощуються на менших площах чи в лабораторних умовах.

Використання дистанційного зондування та вегетаційних індексів виявляється ключовим для отримання точних та надійних даних про стан довкілля, може служити основою для розробки стратегій мінімізації впливу кліматичних змін на довкілля та соціоекономічні процеси.

Досліджено методи виявлення змін довкілля з використанням двох різночасових мультиспектральних космічних знімків Землі. Оцінка еколого-геологічної обстановки та контроль динаміки процесів в реальному часі для попередження екологічних надзвичайних ситуацій, створення системи геоекологічного моніторингу ґрунтується на виявленні відносних змін, для чого розроблені три адаптивні методи в роботі [18]. Кожен метод оптимізує вибір

каналів для максимізації виявлення змін. Результати застосування індексу виявлення змін на мультиспектральних знімках свідчать, що вони можуть приймати як додатні, так і від'ємні значення, відображаючи тенденції змін на місцевості. Для території Солотвино, Закарпатська область, негативні значення індексів вказують на динаміку карстових воронок та озер, а позитивні — на збільшення площ рослинності. Порівняння застосування індексу на знімках з чотирьох, двох та одного каналу показало, що більше каналів дають більш обґрунтовану картину змін, хоча для конкретизації потрібні дані з наземних спостережень.

Зміни гідрогеологічної обстановки, спричинені затопленням гірничих виробок, що може мати регіональний характер та викликати різноманітні інженерно-геологічні, геомеханічні, геохімічні та екологічні наслідки. Затоплення шахт призводить до ряду змін у породному масиві, які можуть впливати на інженерно-сейсмогеологічну стійкість, особливо, в основах будівель і споруд. Фактори, які викликають втрату стійкості порід, включають підтоплення, заболочування та зрушення гірських масивів.

У роботі [19] розглядається застосування даних ДЗЗ для створення гідрогеологічних прогнозів та оцінки розвитку підтоплення територій, що поширюються за межі існуючих гірничих відводів. Зокрема, використовується чисельна модель геофільтрації для врахування фільтраційних особливостей масиву гірських порід, що був порушений в результаті гірничих робіт. В роботі [19] автори акцентують увагу на вивченні несприятливих геоморфологічних процесів, зокрема, просідання ґрунту поблизу населених пунктів та критичних об'єктів інфраструктури внаслідок тривалого процесу підтоплення територій. Розглядаються величини можливих вертикальних зміщень земної поверхні над гірничими виробками на основі геолого-маркшейдерських даних. На основі обробки знімків радіолокаційних супутників створюється картографічна модель інтенсивності висхідних рухів земної поверхні, що дозволяє визначити ділянки поширення великоамплітудних рухів. Отримані дані використовуються для уточненої схеми прогнозованого поширення зон підтоплення.

З явищем міських теплових островів пов'язано зацікавлення людства ще на початку XIX століття. Спостереження за міськими тепловими островами стали важливим напрямком досліджень в кліматології та екології міст. Однією з головних причин утворення теплових островів у містах є різке зменшення зелених зон та збільшення штучних покриттів, що стає особливо актуальним у зв'язку з урбанізацією, розвитком міських територій та глобальним потеплінням.

У роботі [23] розглядається вплив ландшафтно-функціональної структури міста на температурний режим в межах міських теплових островів. Зокрема, розглядаються зміни температури поверхні землі (LST — Land Surface Temperature) в місті Києві за період з 1985 по 2018 рік. Визначається, що структурні трансформації міста, зумовлені розширенням міських територій і економічним розвитком, впливають на температурний режим. Проаналізовано промислово-виробничі та постіндустріальні території міста, зокрема Шулявську і Святошинську промислові зони, вказано на їх високий рівень температури поверхні внаслідок щільності штучних покриттів. Наведено приклади недостатньої ревіталізації цих територій попри їхні трансформації та зменшення виробничого навантаження. Спостереження за наземною температурою показало, що теплові аномалії над виробничими зонами є стійким явищем, але влітку вони досягають значної амплітуди коливань між промисловими та природними зонами, особливо у зоні нового житлового будівництва та знищення природних ландшафтів.

Азовське море стало одним із найбільш забруднених водойм, несучи унікальні природні цінності. Головним аспектом екологічної кризи в цьому регіоні є забруднення промисловими викидами та скидами. Фактори, що призводять до найбільш серйозних екологічних проблем на шельфі Азовського моря, включають ендегенні, техногенні та екзогенні впливи. Промислові дії можуть спричинити екологічну катастрофу в регіоні. Особливу загрозу екологічній стійкості Азовського моря представляють порушення природокористування на шельфі, пов'язані з видобутком вуглеводнів. Автори [25] розглядають алгоритм виділення геодинамічних зон, побудований на

основі аналізу геолого-геофізичних та тектонічних карт, батиметричних даних, інформації про нафтогазоносність, структурних карт геологічних горизонтів, інженерно-геологічного районування.

В роботі [25] температурний режим поверхні Азовського моря, визначений за допомогою знімальної апаратури MODIS AQUA, за останні три роки. Просторовий розподіл геодинамічних зон на шельфі піддавався інтелектуальній інтеграції геопросторових даних, що в результаті призвело до створення докладної схеми цих зон. Створення моделі формування сигналу на космічних знімках морської поверхні для оцінки екологічної безпеки при нафтогазовидобувних роботах. Загальний висновок досліджень [25] підкреслює, що південна геодинамічна зона є найбільш насиченою екологічними ризиками при видобутку паливно-енергетичних ресурсів, тоді як центральна частина моря виявляється менш небезпечною в екологічному відношенні. Північна прибережна зона шельфу вважається однією з найбільш безпечних з точки зору екології.

В роботі [20] розглядаються можливості використання технологій дистанційного зондування Землі та геоінформаційних систем для моніторингу та оцінки впливу полігонів твердих побутових відходів на довкілля. Основна мета дослідження полягає у створенні загальних принципів та інформаційної системи геомоніторингу для аналізу ризику та надзвичайних ситуацій на території полігонів твердих побутових відходів. Проведено аналіз факторів негативного екологічного впливу полігонів твердих побутових відходів, на ґрунти, повітря та водоймища. Дослідження використовує дані ДЗЗ та космічних знімків для мапування температурного режиму поверхні землі на регіональному рівні. Аналіз проблем Київської області, пов'язані із зберіганням та утилізацією промислових відходів та сміття, вказує на несанкціоновані сміттєзвалища та їхні негативні ефекти на довкілля та здоров'я людини. Проведено аналіз та моніторинг розташування цих об'єктів за допомогою космічних знімків супутників IRS та Quick Bird. Робота [20] підкреслює важливість використання ДЗЗ/ГІС для моніторингу та аналізу впливу антропогенних джерел на навколишнє середовище, сприяючи розробці заходів

для зменшення негативного впливу на регіональний ландшафт та забезпечуючи сталого регіонального розвитку.

Супутниковий моніторинг інтенсивності нічного освітлення може застосовуватися як оперативний метод контролю соціальної та економічної сфер життєдіяльності населення. Автори [37] стверджують, що супутникові дані, отримані від американського супутника DMSP/OLS, стають дедалі контрольними інструментами в різних сферах господарської діяльності, таких як сільське господарство, лісове господарство, транспорт, розвиток міських агломерацій, забудова територій. Дані про нічне освітлення території можуть використовуватися для моніторингу змін загальної економічної та соціальної ситуації в адміністративних областях України. Представлено [37] залежність інтенсивності нічного освітлення від кількості населення та оцінено соціально-економічні умови в окремих областях протягом 1992–2012 років. На основі даних виконано ранжування областей за соціально-економічними показниками, яке підтверджується статистичними даними про зміни в міському та сільському населенні. Дані з супутника DMSP/OLS є важливим інструментом для моніторингу та швидкої оцінки напрямків змін в економіці та соціальній сфері окремих регіонів України.

Супутниковий моніторинг антропогенних змін дозволяє ефективно реагувати на проблеми. Супутники використовуються для виявлення забруднень повітря, водних об'єктів та ґрунту, сприяючи контролю за джерелами забруднення. Дистанційне зондування дозволяє вивчати зміни клімату, що є важливим для розуміння глобальних викликів. Застосування дистанційного зондування сприяють отриманню об'єктивної інформації, яка може бути використана для прийняття екологічно обґрунтованих рішень, моніторингу екологічних факторів та збереження довкілля, соціально-економічного розвитку регіонів.

## РОЗДІЛ 3

### ЗМІНИ ЕКОЛОГІЧНИХ ФАКТОРІВ ПІД ВПЛИВОМ ВІЙСЬКОВИХ ДІЙ В УКРАЇНІ

Військові дії спричиняють соціальну кризу із великою кількістю загиблих, поранених, внутрішньо переміщених осіб, біженців, знищенням цивільної та промислової інфраструктури. Військові дії зруйнували природні екосистеми, забруднили повітря, воду та землю сторонніми речовинами. Багато промислових установок отримали удари, що спричинило неконтрольовані викиди хімічних речовин. Лісові масиви та природні заповідники зазнали значних руйнувань. Моніторинг екологічних збитків ведуть: Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів України запустило веб-сайт Екозагроза [56], де агрегує звіти про завдані шкоди, про збитки від місцевих влад і громадян; Міжнародна організація Conflict and Environment Observatory [57] та міжнародна мережа Zoї Environment Network [58] регулярно випускають звіти, щоб оцінити різні типи екологічних збитків, таких як ризик радіаційної небезпеки, техногенної небезпеки, забруднення вод. Дані про події місцевого забруднення збираються громадянами і обробляються Центром екологічних ініціатив «Екоакція» [59] спільно з Greenpeace [60] за допомогою інтерактивної карти.

#### **3.1. Динаміка концентрацій парникових газів**

Окрім забруднення та деградації довкілля на території України, війна призвела до значних викидів парникових газів в атмосферу. Міжнародне товариство намагається радикально зменшити викиди парникових газів для обмеження середнього глобального підвищення температури до 1,5 °С. Викликані війною викиди затримують досягнення цілей Паризької угоди, а інколи координально змінюють національні вектори. Війна перенаправляє



фінансові потоки на сферу безпеки та оборони, на відбудову, тим самим підриває заходи з подолання кліматичних змін.

В аналітичному звіті [61] враховувались сектори: викиди від переміщення біженців, викиди від військових дій, не контрольовані пожежі в лісах та містах, майбутні викиди від відновлення зруйнованої інфраструктури. Друга оцінка кліматичних збитків [62] оновлювала статистичні дані за секторами викидів за перший рік війни. В наступному аналітичному звіті охоплюється 18 місяців з моменту повномасштабного вторгнення [63] доповнено новим сектором викидів цивільної авіації (таблиці 3.1).

Таблиця 3.1

## Загальні викиди парникових газів у різних секторах за 18 місяців [63]

	(MtCO <sub>2</sub> e)	%
Військові дії	37,0	25
Біженці та ВПО	3	2
Пожежі	22,2	15
Північний потік 1@2	14,6	10
Реконструкція	54,7	36
Цивільна авіація	18	12
Загальні	150	100

У звіті [63] запропановано методологію того, як викиди війни можуть бути відображені у грошових виразах, тобто як завдані збитки суспільству, надано огляд можливих юридичних шляхів для судового позову щодо цих збитків. Презентовано різні рішення того, як Україна може використати компенсацію для усунення більшості додаткових викидів парникових газів, або висаджування лісів, або через зелене відновлення. У детальному дослідженні наведено кілька рішень, як мінімізувати викиди від будівельних робіт.

Наведені [63] оцінки викидів парникових газів з різних джерел даних побудовані на методології моделювання та прогнозування, вихідними даними були споживання пального, площі, що постраждала від пожеж, чи кількість пошкоджених багатоквартирних будинків. Оцінки базуються на багатьох

припущеннях, які можуть бути переглянуті з часом залежно від наявності більше інформації. Після завершення бойових дій припущення можуть бути перевірені. Польові дослідження часто неможливі через проблеми безпеки, мобілізацію кваліфікованих фахівців або окупацію території, доступ до даних обмежено з міркувань безпеки. Таким чином, віддалене зондування через супутники та покладання на непрямі дані часто є єдиною доступною опцією.

Картографування викидів парникових газів виконано за допомогою ресурса Giovanni, розроблений NASA GES DISC, виступає як інструмент для вивчення глобального потепління та зміни клімату, а також їхнього впливу на життєво важливі сфери, такі як погода, якість повітря, сільське господарство та водні ресурси. Завдяки довгостроковим, широкодоступним даним високої роздільної здатності, Giovanni дозволяє вивчення різних параметрів, таких як температура, опади та концентрації парникових газів, включаючи водяну пару, метан, вуглекислий газ та озон. Інфраструктура Giovanni ефективна для обчислення та візуалізації довгострокових середніх значень, аналізу трендів, вивчення міжрічної та внутрішньорічної мінливості, а також виявлення та вивчення екстремальних явищ, таких як урагани, повені, посухи. Giovanni не тільки забезпечує зображення, але також надає вихідні дані у різних форматах (ASCII, HDF, NetCDF, KML), а також дозволяє експортувати зображення в Google Earth. Giovanni зробив значний внесок у вивчення глобального потепління та зміни клімату. Враховуючи екологічні виклики, пов'язані з цими явищами, Giovanni стає інструментом для розуміння та прийняття рішень в контексті нашого спільного майбутнього на планеті.

Кількість вуглекислого газу у земній атмосфері визначається рядом факторів, які включають природні процеси та вплив антропогенної діяльності. Вуглекислий газ, як найбільш значний парниковий газ, впливає на радіаційний баланс планети, зберігаючи тепло в приземній атмосфері. Затримання інфрачервоного випромінювання від поверхні Землі є ключовим фактором у формуванні теплового балансу, що визначає температуру атмосфери. Концентрація вуглекислого газу визначає вміст для інших парникових газів, які залежать від температури, зокрема водяної пари.

Цикл карбону включає процеси, такі як дихання тварин і фотосинтез рослин, що призводять до обміну вуглекислого газу між атмосферою, океанами та біосферою. Антропогенний фактор, зокрема спалювання викопного палива, зміни землекористування та виробництво цементу, призводить до значних викидів вуглекислого газу в атмосферу. Людська діяльність може також впливати на зменшення викидів вуглекислого газу через заходи, такі як збільшення кількості рослинного покриву за рахунок додавання поживних речовин і добрив, що сприяє збільшенню поглиблення вуглекислого газу в процесі фотосинтезу. Сезонні зміни концентрації вуглекислого газу в атмосфері в Північній півкулі пов'язані з рослинною складовою біотичного фактору, особливо з вегетаційними змінами листяних рослин. У Південній півкулі цей ефект менш виражений через менші площі суші. Враховуючи комплексні процеси, які визначають концентрацію вуглекислого газу в атмосфері, важливо продовжувати моніторинг та наукові дослідження для зрозуміння впливу природних і антропогенних чинників на склад газового складу атмосфери.

Для оцінки швидкості зміни парникових газів використовуються дані про концентрації в атмосфері з атмосферного інфрачервоного ехолота (AIRS, AIRX3STM) і служби візуалізації GES DISC Giovanni, який обчислює ладаний часовий ряд усереднених по площі концентрацій парникових газів в атмосфері (у форматі csv) над визначеною територією. Часовий ряд також можна обчислити за допомогою Python або ArcGIS. Швидкість зміни обчислюється шляхом взяття різниці усереднених по площі концентрацій.

На рис.3.1 та рис.3.2 наведено графічні залежності концентрацій вуглекислого газу та метану протягом 2015-2023 років над територією України. Отримані залежності за період 2021-2023 року мають схожий характер з попередніми роками, при збереженні загальної тенденції зростання середньої концентрації, що призводить до збільшення температури (рис.3.3).

Time Series, Area-Averaged of Carbon dioxide, assimilated dry-air column average monthly 0.5 x 0.625 deg. [GEOS-CHEM OCO2\_GEOS\_L3CO2\_MONTH v10r] mol CO2/mol dry-air over 2015-01-16 12Z - 2022-03-14 23Z, Shape Ukraine

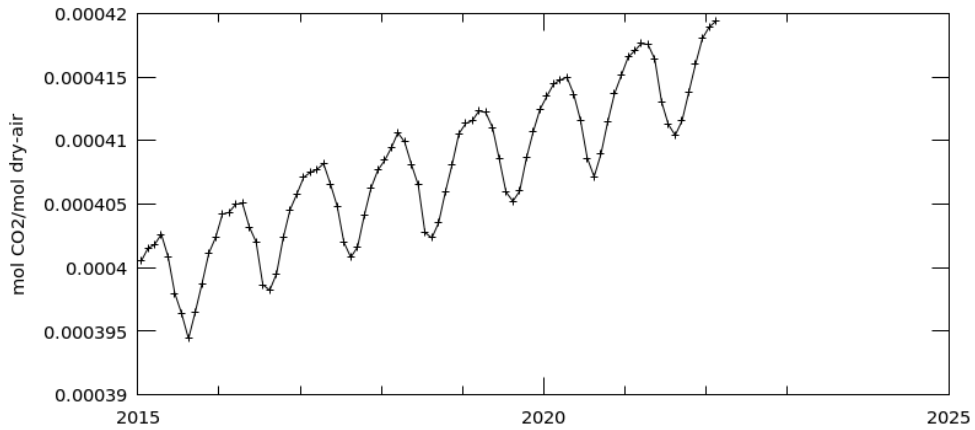


Рис. 3.1. Динаміка концентрація вуглекислого газу за даними GEOS-CHEM

Time Series, Area-Averaged of Methane, Mole Fraction in Air (Daytime/Ascending, AIRS-only) monthly 1 deg. @1000hPa [AIRS AIRS3S1M v006] ppbv over 2015-Jan - 2023-Nov, Region 22.0813E, 44.2311N, 40.134E, 52.2246N

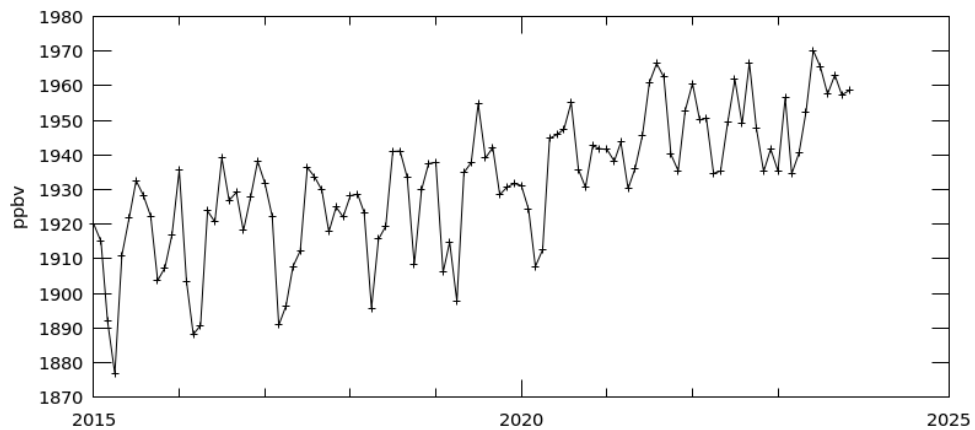


Рис. 3.2. Динаміка концентрації метану за даними AIRS-ONLY

Time Series, Area-Averaged of Air Temperature (Daytime/Ascending, AIRS-only) monthly 1 deg. @1000hPa [AIRS AIRS3STM v7.0] K over 2015-Jan - 2023-Nov, Region 22.0813E, 44.2311N, 40.134E, 52.2246N

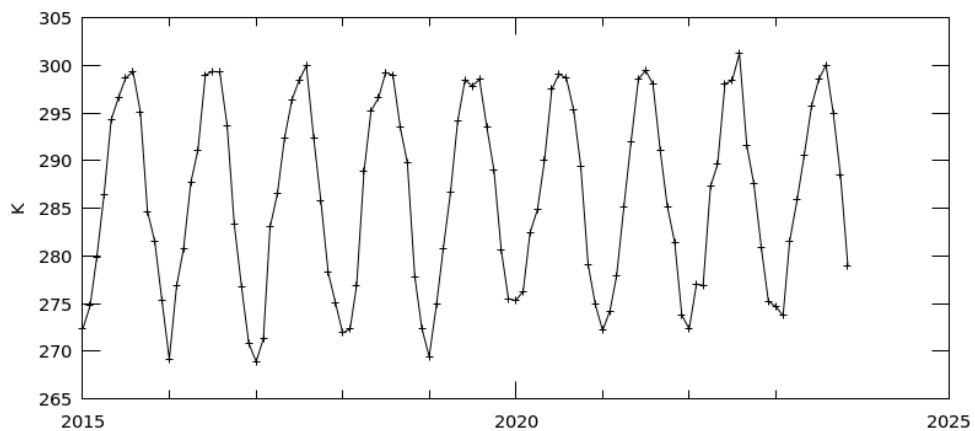


Рис. 3.3. Динаміка температури (K) за даними AIRS-ONLY

Дослідження викидів парникових газів збройними силами в різних країнах підтверджують, що ці викиди можуть становити не менше 1% у мирний час, під час бойових дій зростає більш ніж в десятки разів від загальних національних викидів, за рахунок витрат значних обсягів викопного палива, використання високотехнологічного обладнання, будівництво укріплень та ланцюгів постачання. Прозорість та точність в оцінці кліматичних наслідків військової діяльності є складним завданням через засекреченість даних та складність ланцюгів постачання. Тривалість військових дій та використання резервів, накопичених протягом років, додають складності у визначенні впливу.

### **3.2. Зміна концентрацій показників загального моніторингу атмосферного повітря**

Активні військові дії чинять руйнівні екологічні збитки екосистемам: вибухи, пожежі природних екосистем, пожежі на промислових об'єктах, транспортні викиди від руху техніку, аварійні викиди під час руйнування промислових об'єктів, житлового сектору та комунальних систем, приводять до викидів парникових газів в атмосферне повітря. Попередні дослідження [64] припускають, що існує тенденція зниження тривалості життя населення після завершення бойових дій, яка спостерігається в тому числі через якість атмосферного повітря.

До початку військового конфлікту екологічний стан атмосферного повітря України викликав занепокоєння, особливо в найбільш техногено навантажених регіонах. Однак з початком бойових дій екологічна ситуація на сході України набула потенціалу катастрофічного розвитку. В зв'язку з цим виникає необхідність впровадження цілісної системи моніторингу з урахуванням повного спектру факторів, що впливають на екологічний стан атмосфери. Така система має забезпечувати оцінку та прогнозування динаміки змін на основі аналізу і врахування різноманітних впливів.

Система моніторингу атмосферного повітря України зазнала руйнівний вплив. За даними SaveEcoBoty м. Київ на початку військових дій працювало орієнтовно 20 % громадських станцій моніторингу атмосферного повітря, автоматизована система моніторингу атмосферного повітря в Донецькій області припинила функціонування. Під час активної фази військових дій можливості вимірювання показників загального та оперативного моніторингу атмосферного повітря обмежені або відсутні, виявити фактичний вплив на довкілля технічно небезпечно та ускладнено. Актуальною залишається кількісна оцінку показників якості довкілля, що виявилось в епіцентрі, яку можливо отримати з використанням доступних супутникових даних.

В роботі [65] проведено порівняння супутникових даних двох першихтижнів військових дій 2022 р. з тим же самим періодом в 2019 - 2021 рр. для базових показників інтегральної моделі Індекс забруднення атмосфери, AQI (нітроген(IV) оксид, карбон(II) оксид, озон, сульфур(IV) оксид, PM(2,5) для України та м. Києва. За результатами дослідження спостерігається загальне зниження концентрації нітроген(IV) оксиду на 24,1 % для України та на 40,42 % для Києва, високе зниження було зареєстровано для PM2,5 на 38,33 % (Україна) і 30,82 % (Київ), набагато менше зниження для карбон(II) оксиду 3,83 % (Україна) і 2,73 % (Київ). Напротивагу спостерігається підвищення концентрацій озону (2,45 % для України і 3,38 % для Києва) та сульфур(IV) оксиду (38,06% для України і 10 % для Києва). Зниження добових концентрацій, а також зниження максимальних концентрацій забруднюючих речовин можна пояснити зниженням активності стаціонарних та пересувних джерел, які були традиційними забруднювачами атмосферного повітря.

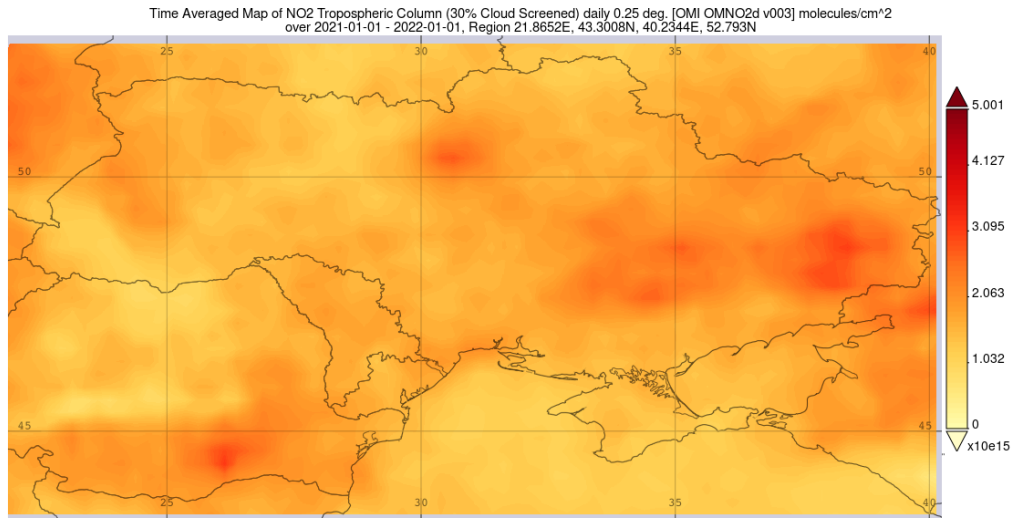
Локальний різкий ріст пікових концентрацій на територіях військових дій, свідчить про тривалу дію димових часток від локальних вибухів, руйнування військових і громадянських об'єктів. При розгляді питання про белігеративний вплив на території, що знаходяться в епіцентрі антропогенної трагедії, виникають глобальні загрози з приводу стану навколишнього середовища та живих організмів. Перевищення безпечних рівнів забруднення мають короткострокову дію, в той час як інші зберігаються протягом тривалого часу

та чинять довгостроковий вплив. Середньодобові показники знаходяться в межах норми, але максимально разові концентрації мають миттєвий вплив, такі речовини осідають на поверхні, з осадками потрапляють в ґрунт. На території викидається величезна кількість ксенобіотичних речовин, що, матиме довгострокові наслідки для природних та антропогенних екосистем.

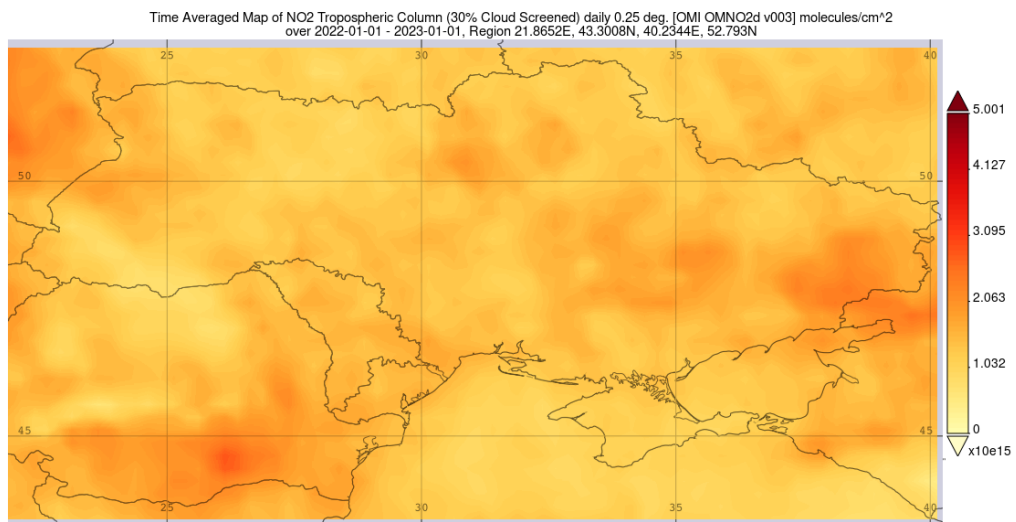
Одним з потенційно небезпечних аспектів є ймовірність виникнення пожеж під час військових дій. Згідно з дослідженнями, пожежа є однією з основних причин виснаження лісових екосистем, і це стає ключовою темою в екологічних та лісогосподарських дослідженнях. В контексті військових конфліктів на сході України, було розроблено математичні моделі, які використовують дані дистанційного зондування, методи математичної статистики та аналізу для моніторингу, прогнозування та прийняття рішень. Проте, наявність обмежень в інформації та швидкість реакції обставин складають виклики для ефективного вирішення завдань моніторингу та врахування негативного впливу на довкілля.

Актуальність використання даних дистанційного зондування та спостережень Землі для розв'язання екологічних проблем на сході України виокремлюється в контексті обмежених ресурсів та ускладненої ситуації на території. Вирішення проблем охорони довкілля на сході України стає викликом через відсутність систематичного екологічного моніторингу, нестачу інформації та обмеження доступу до даних. Однак це дослідження підкреслює важливість використання наявних методів та ресурсів для оцінки та прогнозування екологічних змін у військових умовах.

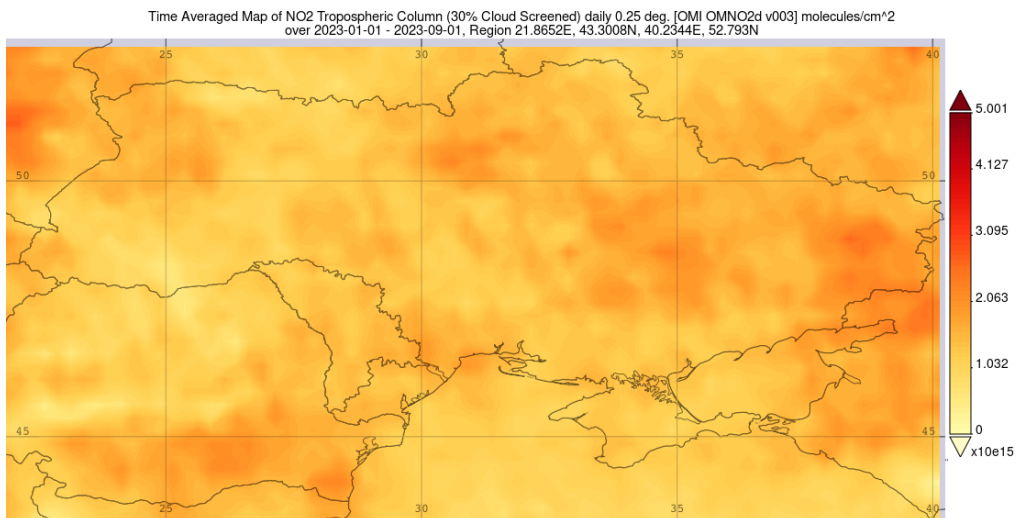
Війна в Україні спричиняє трагічний вплив на людські життя та руйнування інфраструктури, призводить до значної шкоди довкіллю, зокрема до забруднення повітря. Розглянуто зміну якості атмосферного повітря з початку бойових дій дотепер. Досліджено зміни показника якості атмосферного повітря нітроген діоксид, який має високий ступінь кореляції з антропогенною діяльністю рис 3.4. Супутникові дані показують загальне зниження концентрації нітроген діоксиду по території України між довоєнним періодом і



(a)



(б)



(в)

Рис. 3.4. Розподіл концентрація нітроген діоксиду за даними супутника OMI: (a)- 2021; (б)-2022; (в)-2023.



перебігом війни. На початку військових дій в середньому було зменшення в цілому по країні на 9,4% .

У довоєнний період розподіл нітроген діоксиду є відносно рівномірним, максимальні концентрації спостерігаються в Київській, Донецькій та Запорізькій області. Вищі концентрації знаходяться переважно в найбільших міських районах і в промислових та вугледобувних районах. Зниження понад 30% за період війни, можна побачити навколо великих міських і промислових центрів: Маріуполь, Київ, Кривий Ріг і Запоріжжя. На прикладі Маріуполя видно, що ключовий внесок в забруднення повітря було через важку промисловість, функціонування якої призупинено з військовими діями.

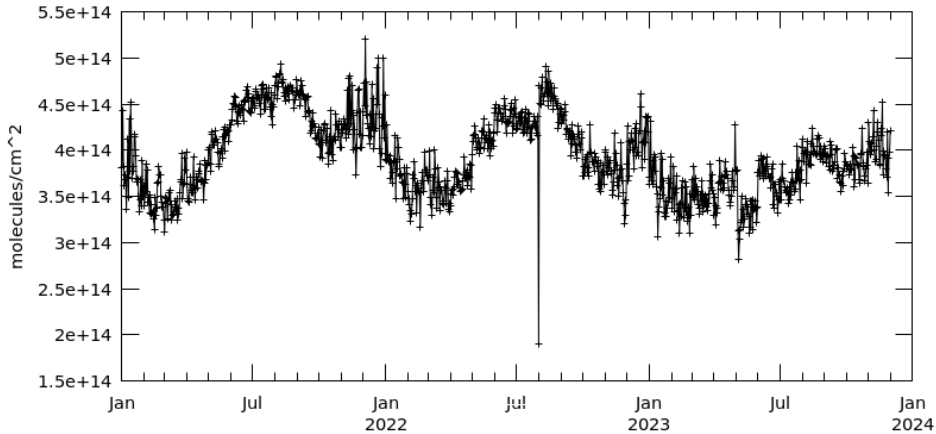
Військові дії вплинули на суспільство, що спричинило велику кількість людей, які залишили свої домівки, призвело до зниження економічної активності та обмеження руху транспорту. Спостерігалось зниження концентрації нітроген діоксиду в регіонах з високим показником внутрішньо переміщених осіб [63]. Макрорегіони з найвищими частками ВПО відзначилися найвиразнішим зменшенням концентрації нітроген діоксиду: найбільше значущі зміни в рівнях забруднення були помітні в м.Києві та Харківська, Донецька та Дніпропетровська області.

Вимірювання нітроген діоксиду за допомогою датчика TROPOMI супутника Sentinel-5P недостатньо чутливе для реєстрації щоденних змін у викидах, це може бути пов'язано з обмеженою роздільною здатністю датчика. Не встановлено зв'язку між одноразовим підвищенням добових значень концентрації NO<sub>2</sub> та обстрілом українських міст. Після вибуху забруднюючі речовини розсіюються в широкому просторі через погодні умови. Супутникова естакада рідко збігається з часом і подією, тому датчик не завжди може виявити підвищені значення. Коливання концентрації нітроген діоксиду відбуваються навіть за звичайних умов, тому чітке визначення, чи пов'язане короткочасне підвищення значень з вибухом, чи спричинене іншими факторами, неможливо надати.

Важливо зауважити, що нітроген діоксид є не єдиною речовиною, яка викидається в атмосферу під час вибухів. Вибухи можуть призводити до

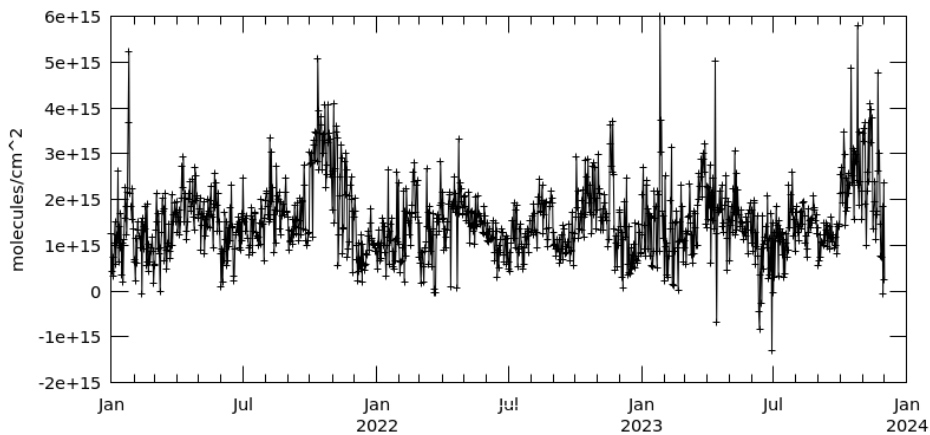
поширення пожеж та забруднення промислових, інфраструктурних та природних об'єктів, що стають серйозним джерелом викидів. Країна спостерігала за 77-кратним збільшенням лісових пожеж під час війни в порівнянні з 2021 роком, 70% з яких були спричинені воєнними діями [63].

Time Series, Area-Averaged of NO<sub>2</sub> Tropospheric Column (30% Cloud Screened) daily 0.25 deg. [OMI OMNO2d v003] molecules/cm<sup>2</sup> over 2021-01-01 - 2023-12-01



(a)

Time Series, Area-Averaged of NO<sub>2</sub> Tropospheric Column (30% Cloud Screened) daily 0.25 deg. [OMI OMNO2d v003] molecules/cm<sup>2</sup> over 2021-01-01 - 2023-12-01, Shape Ukraine



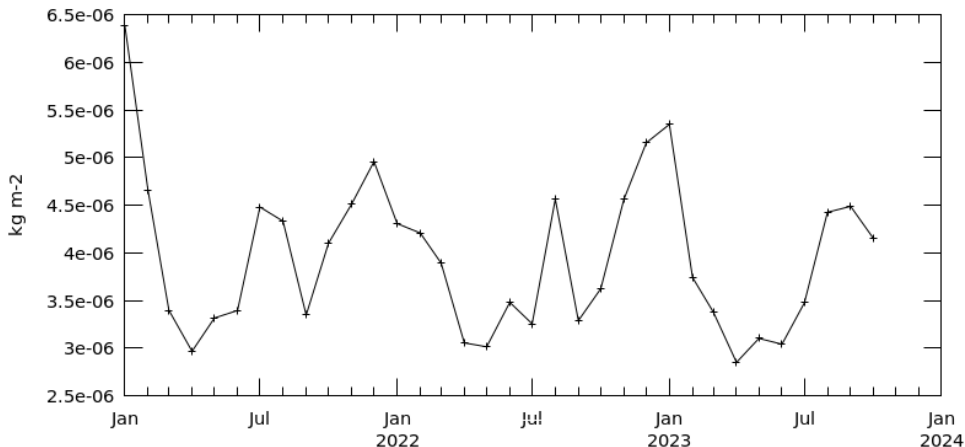
(б)

Рис. 3.5. Розподіл концентрація нітроген діоксиду за даними супутника ОМІ: (а)- глобальний рівень; (б)-національний.

Дослідження проводилось на регіональному та національному рівнях, масштабні лісові пожежі, спричинені безпосередньо обстрілом, не завжди можна було однозначно визначити. На рис.3.5-3.7. наведено динаміку змін РМ<sub>2,5</sub> сульфур діоксиду. Залежності під час 2022-2023 року мають

традиційний сезонний характер коливань в порівнянні з 2021 роком, національний показник вище глобального на порядок.

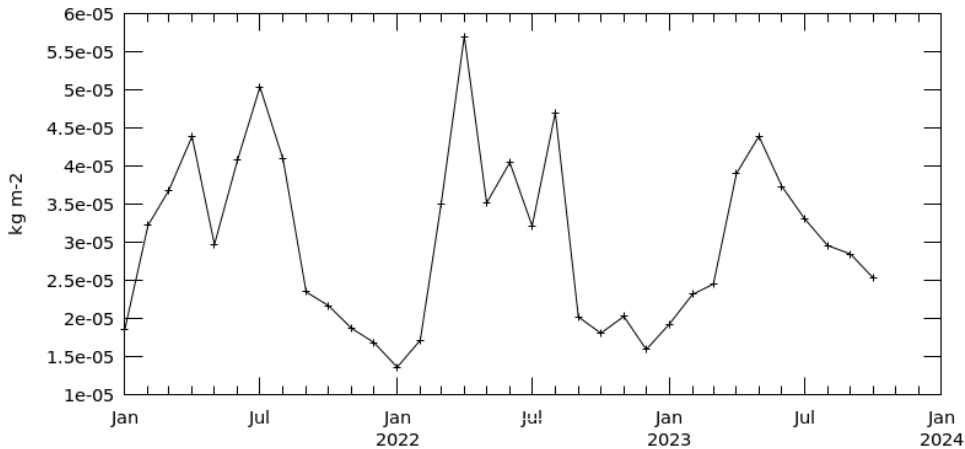
Time Series, Area-Averaged of SO2 Column Mass Density (ENSEMBLE) monthly 0.5 x 0.625 deg. [MERRA-2 Reanalysis M2TMNXAER v5.12.4] kg m-2 over 2021-Jan - 2023-Oct, Shape Ukraine



- Selected date range was 2021-Jan - 2023-Dec. Title reflects the date range of the granules that went into making this result.

Рис. 3.6. Розподіл концентрація сульфур діоксиду за даними ESEMBLER

Time Series, Area-Averaged of Total Column Mass Density - PM 2.5 monthly 0.5 x 0.625 deg. [MERRA-2 Reanalysis M2TMNXAER v5.12.4] kg m-2 over 2021-Jan - 2023-Oct, Shape Ukraine



- Selected date range was 2021-Jan - 2023-Dec. Title reflects the date range of the granules that went into making this result.

Рис. 3.7. Динаміка концентрація PM2,5 за даними MERRA-2

### 3.3 Кореляція між абіотичними та біотичними факторами

Водні екосистеми, регулярно стикаються з явищем "евтрофікації" води, що залишається предметом дослідження науковців. Масштаби та часові

параметри цього явища залишаються невизначеними, але дослідники довели його сезонність та залежність від температурних коливань води. Для розкриття цього таємничого явища науковці застосовують сучасні методи, включаючи дистанційне зондування Землі. Замість традиційного відбору та аналізу проб фітопланктону, використання даних дистанційного зондування дозволяє щоденно або середні за місяць отримувати знімки водних територій. Дані дозволяють точно визначати період початку та завершення "евтрофікації", а також встановлювати фактори, що впливають на явище. Велика увага приділяється впливу погоди та інших факторів, таких як вітер та температура води, на розвиток водоростей у різних частинах моря. Оцінка періоду [32] підкреслила значення погодних умов у формуванні інтенсивності «цвітіння».

Для оцінки рівня евтрофікації Азовського моря використовувались дані супутникових спостережень Sentinel-2 L2A за якісним показником UWQV. У контексті оцінки ступеня евтрофікації вод, відповідно до рамкової Директиви морської стратегії ЄС 2008/56/ЄС, концентрація хлорофілу-А є прямим показником ефекту збагачення вод біологічною речовиною, що вказує на ступінь евтрофікації вод.

На рис 3.8 представлені дані щодо просторової динаміки евтрофікації поверхневих вод Азовського моря протягом літніх сезонів 2021-2023 року, вимірювані концентрацією хлорофілу-А. Максимальні концентрації спостерігалися у червні на основній частині акваторії, відображаючи високу середню температуру води та вплив стоку.

За період 2021-2023 виявлено тенденція зниження концентрації хлорофілу-А в водах Таганрозької затоки Азовського моря. Отримані дані візуалізують залежність від антропогенного фактору. Збільшення вмісту органічних речовин призводить до зниження концентрації кисню, що негативно впливає на гідробіонтів, впливає на донних безхребетних, на риб'ячий нерест та бактеріологічний стан води.

Температура води, один із ключових показників якості води, істотно впливає на евтрофікацію водойм. Сучасні методи дистанційного зондування дозволяють визначати температуру поверхні землі та води з високою точністю.

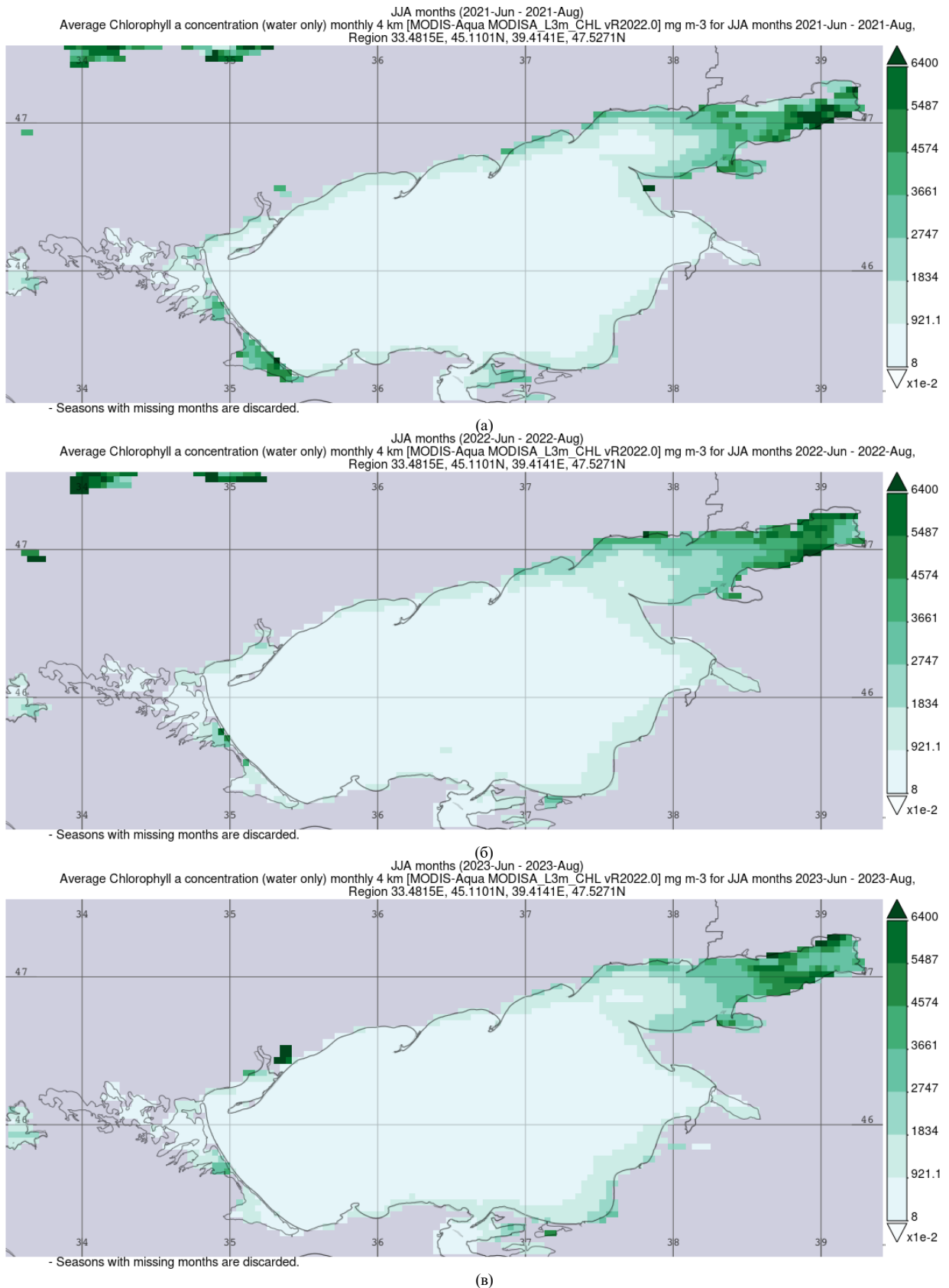
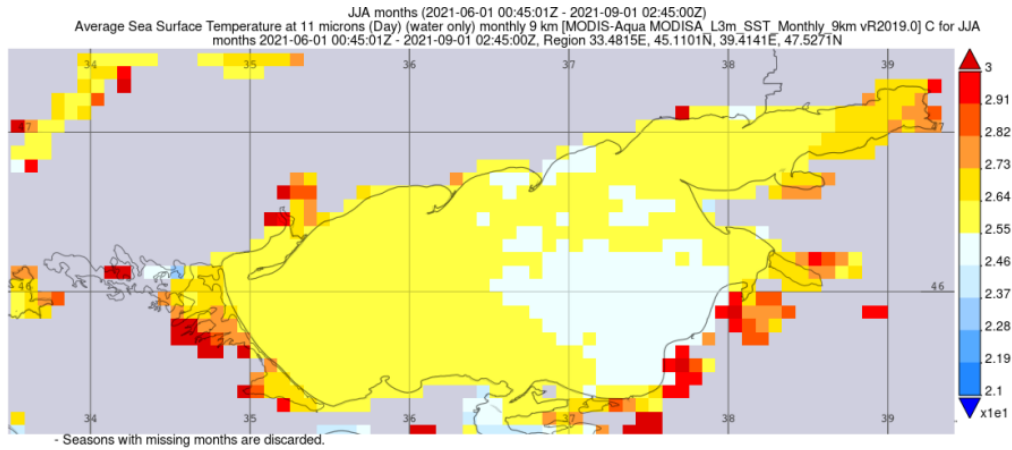
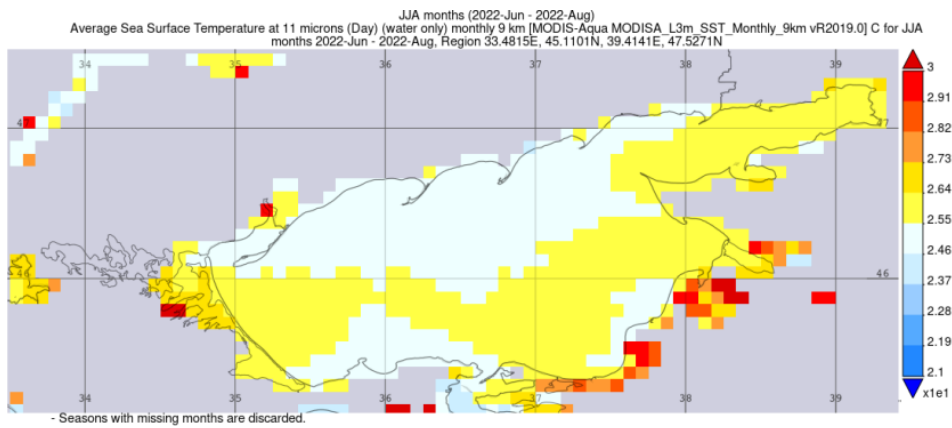


Рис. 3.8. Розподіл концентрація хлорофілу поверхні Азовського моря червень-липень-серпень за даними супутника MODIS-Aqua MODISA : (а)- 2021; (б)- 2022; (в)-2023.

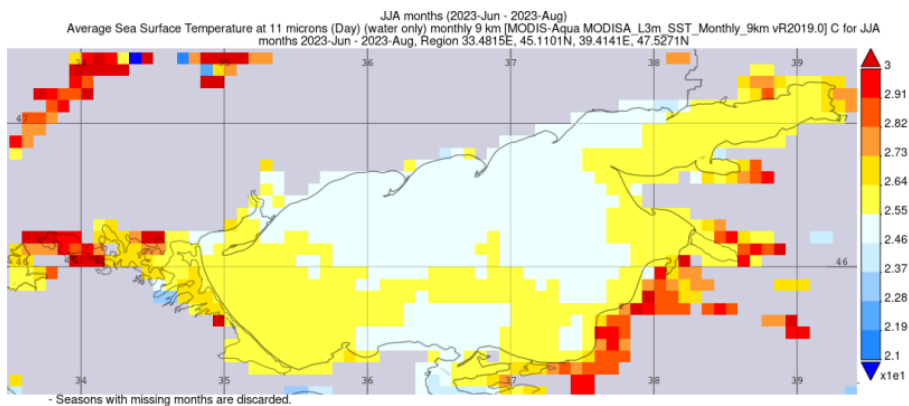
На рис.3.9 представлено карти розподілу температури води за літній період 2021-2023 року в Азовському морі отримані з використанням супутникових знімків MODIS-Aqua.



(a)



(б)



(в)

Рис. 3.9. Розподіл температури поверхні Азовського моря червень-липень-серпень за даними супутника MODIS-Aqua MODISA : (а)- 2021; (б)-2022; (в)-2023.

Побудована кореляційна залежність (рис. 3.10) між температурою та вмістом хлорофілу у воді, розраховане значення коефіцієнту кореляції 0,76, що вказуючи на високий зв'язок між досліджуваними факторами.

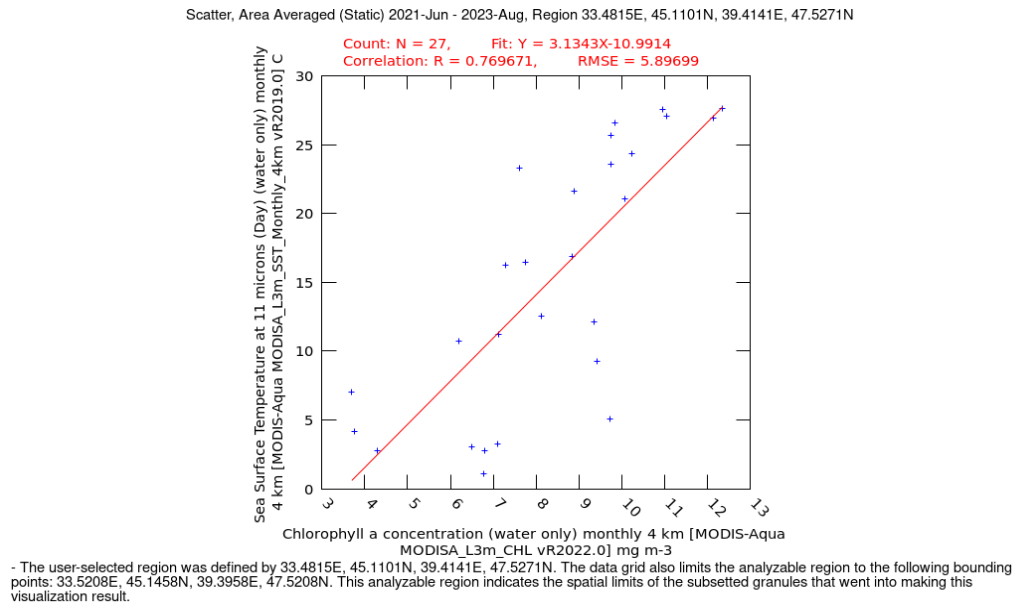


Рис. 3.10. Розподіл концентрація хлорофілу поверхні Азовського моря червень-липень-серпень за даними супутника MODIS-Aqua MODISA : (а)- 2021; (б)-2022; (в)-2023.

Аналізуючи вплив білігеративних дій на території, що перебуває в епіцентрі антропогенних трагедій, наявні загрози для стану довкілля та живих організмів стають очевидними. Перевищення безпечних рівнів забруднення може мати короткостроковий вплив, однак інші забруднюючі речовини можуть залишатися в атмосфері тривалий період та викликати довгострокові наслідки.

Зниження добових та максимальних концентрацій забруднюючих речовин у повітрі може бути пояснено внаслідок скорочення активності стаціонарних та пересувних джерел, традиційно визнаних як основні джерела забруднення атмосферного повітря. Різкий локальний підйом концентрацій на територіях військових конфліктів свідчить про тривалу дію димових часток, які утворюються в результаті локальних вибухів та руйнування об'єктів.

Хоча середньодобові показники можуть залишатися в межах норми, максимально разові концентрації мають негайний вплив на довкілля.

Забруднюючі речовини осідають на поверхні, а з осадками потрапляють в ґрунт. Вторинне забруднення може призвести до виникнення значної кількості ксенобіотичних речовин на території викидів, що в свою чергу матиме довгострокові наслідки для природних та антропогенних екосистем.

Узагальнюючи, ефекти воєнних конфліктів на забруднення атмосфери та екологічні системи виявляються короткостроковими та довгостроковими, створюючи великий тиск на природне середовище та загрожуючи здоров'ю живих організмів у відповідних регіонах.

Після війни в Україні необхідна реалізація комплексу заходів для підтримки якості повітря: моніторинг забруднення, проведення повноцінної оцінки джерел забруднення повітря на територіях для визначення фонових рівнів, впровадження правил енергоефективності згідно із стандартами ЄС у таких галузях, як реконструкція будівель, промислова модернізація та реалізація розумних транспортних рішень. Впровадження технологій контролю забруднення, встановлення стандартів викидів та стимулювання промисловості для впровадження низьковуглецевих процесів сприятиме зменшенню промислових викидів. Створення програм зеленого фінансування з грантами та субсидіями може підтримати впровадження зелених технологій і стійких методів виробництва. Посилення контролю регуляторних органів, виділення ресурсів для перевірок та аудитів, а також запровадження штрафних санкцій за невиконання стандартів якості повітря буде сприяти ефективному забезпеченню їх дотримання. Заохочення післявоєнної реконструкції з фокусом на сталій промисловості та виробництві енергії, підтримка альтернативних джерел енергії стане ключовим у забезпеченні якості атмосферного повітря. Доступу громадськості до інформації про якість повітря підвищить рівень екологічної свідомості населення. Дотримання екологічних цілей сталого розвитку дозволить країні побудувати стале майбутнє для майбутніх поколінь..



## ВИСНОВКИ

В період антропоцену біотична та абіотична складова підпадають під значний техногенний вплив, вектор якого змінюється під впливом білігеративних дій. Збалансоване функціонування біотичних компонентів є критичним завданням для майбутньої сталості екосистем. Врахування взаємодії екологічних факторів у стратегіях охорони довкілля та раціонального використання природних ресурсів є необхідним для сталого розвитку.

Зростання білігеративного впливу ставить під загрозу безпеку та стабільність екосистем. Управління цим впливом вимагає розвитку наукових підходів та стратегій для збереження екосистем. Комплексний підхід дозволяє забезпечити стійкість екосистем та збереження для наступних поколінь. Для забезпечення безпеки екосистем важливо впроваджувати комплексні стратегії управління антропогенним впливом, включаючи збалансоване землекористування, контроль викидів, раціональне використання водних ресурсів та захист від змін клімату. Ефективне співробітництво між науковцями, владою та громадськістю є важливою складовою успішних стратегій управління екосистемами.

Моніторинг екологічних факторів довкілля за допомогою супутникових технологій став важливим інструментом для оперативного вивчення змін викликаних військовими діями, дозволяє отримувати дані про стан атмосферного повітря, водних ресурсів, ґрунтів та біотичних факторів в часі та просторі без загрози життю виконавців. Супутникові дані дозволяють вченим та екологам вчасно реагувати на потенційні небезпеки для довкілля та забезпечує підтримку прийняття рішень щодо збереження природних ресурсів.

Супутниковий моніторинг необхідний інструмент для збереження екосистем та сталого використання природних ресурсів. Забезпечуючи точні дані та розширюючи можливості дослідження, супутникові технології відкривають нові можливості для ефективного управління довкіллям та вирішення проблем, пов'язаних із військовими діями.

Військові дії в Україні суттєво змінили екологічні фактори в регіонах, призводячи до серйозних наслідків для природи та клімату. Руйнування інфраструктури, великі викиди парникових газів та пожежі стали ключовими факторами, які вплинули на екосистеми. В роботі досліджено зміни концентрації вуглекислого газу, метану та температурна динаміка атмосферного повітря протягом 2021-2023 років на національному рівні. Отримано розподіл концентрація хлорофілу поверхні Азовського моря за літній період 2021-2023 років за даними супутника MODIS-Aqua MODISA, побудовано карти розподілу температури води за літній період 2021-2023 року в Азовському морі з використанням супутникових знімків MODIS-Aqua, побудовано кореляційна залежність, коефіцієнт кореляції 0,76 за досліджений період, що свідчить про вис

Прогнозування та запобігання лісовим пожежам, а також ретельне врахування екологічних наслідків при відновленні інфраструктури, є важливими етапами в забезпеченні сталого розвитку регіону та збереженні природного середовища для майбутніх поколінь.

Застосування дистанційного зондування в екологічних дослідженнях має свої переваги, такі як великий охоплення території, можливість моніторингу в реальному часі та ефективність в вивченні важкодоступних регіонів. Перспективи включають постійне вдосконалення технологій зондування та розширення застосування для збору даних на регіональному, національному та глобальному рівні.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Environmental and Sustainability Education in Teacher Education. Douglas D. Karrow, Maurice DiGiuseppe. *Springer Cham.* 2020. p. 336 <https://doi.org/10.1007/978-3-030-25016-4>
2. Assarkhaniki, Z., Sabri, S., Rajabifard, A. et al. Advancing sustainable development goals: embedding resilience assessment. *Sustain Sci* 18, 2405–2421 (2023). <https://doi.org/10.1007/s11625-023-01372-7>
3. Прижиттєві методи дослідження екології тварин та їх значення у дослідженнях на прикладі *sciurus vulgaris*. *Праці Теріологічної школи.* 10 (2010): 115–127
4. Перспективи і особливості використання різних типів дистанційного зондування Землі для моніторинга екологічних індикаторів болотних та річкових екосистем. 2021: Матеріали XXII Міжнародної науково-практичної конференції «Екологія. Людина. Суспільство» (20-21 травня 2021 р., м. Київ)
5. Методи оцінювання антропогенних загроз біорізноманіттю прісноводних екосистем. Д.Є.Рішетняк. *Вісник Дніпропетровського університету. Серія: геологія, географія.* 25 (1), 2017, 71 – 79.
6. Дистанційне зондування в гідрології <https://ts2.space/uk>
7. Моделювання пожеж за результатами кореляційного аналізу. О.Бутенко, А.Топчий. *Український журнал дистанційного зондування Землі.* Т.10(2023). №3.
8. Порівняння різночасових і різнометодичних оцінок екологічного стану водного середовища (на прикладі річки Прип'ять за 1999 та 2022 рр.). О. Федоровський, А.Хижняк, О.Томченко. *Український журнал дистанційного зондування Землі.* Т.10(2023). №3. С.34-40.
9. Методика визначення втрат лісу з використанням ГІС технологій С. Гоелік, Д.Саул-Газе. *Український журнал дистанційного зондування Землі.* Т.10(2023). №2.

10. Супутниковий моніторинг стану геосистеми локального рівня на прикладі Матвіївського лісу поблизу м. Миколаїв (Україна). Л.Ліщенко. *Український журнал дистанційного зондування Землі*. Т.10(2023). №2.
11. Газообмін рослин на прикладі осоки побережної та співставлення з матеріалами спектро-газометричного наземного вимірювання, з БПЛА та супутника Sentinel-2. В. І. Лялько, С. С. Дугін, О. М. Сибірцева, Є. М.Дорофей, С. І. Голубов, Г. М. Жолобак. *Український журнал дистанційного зондування Землі*. Т.9(2022). №4.
12. Імітаційне математичне моделювання гідроекологічного моніторингу водних ресурсів з використанням космічних знімків Землі В. Якимчук. *Український журнал дистанційного зондування Землі*. Т.9(2022). №2. С.37-42
13. Моніторинг антропогенної зміни русла р. Десенка (Київ, Україна) на основі дистанційних аерокосмічних даних. Ю. Чжен, Н. А. Шевякіна, С.А.Загородня, О. В. Томченко, І.В.Радчук *Український журнал дистанційного зондування Землі*. Т.9(2022). №1. С.11-12
14. Результати порівняльного використання інформації ОСО-2 для виявлення залежності між змінами концентрації CO<sub>2</sub> в атмосфері та температурою повітря в районі Аргентинських островів та України. І. Г. Артеменко *Український журнал дистанційного зондування Землі*. Т.8(2021). №4. С.12-19
15. Дослідження просторово-часових змін поверхневих температур міста Запоріжжя (Україна) за даними дистанційного зондування Землі Л. Ліщенко, О. Кудряшов *Український журнал дистанційного зондування Землі*. Т.8(2021). №3. С.27-36
16. Виявлення вегетаційних індексів – раціональних спектральних індикаторів стану рослинності в умовах лабораторного дослідження В.І. Лялько, Галина Михайлівна Жолобак, Станіслав Сергійович Дугін, Оксана Миколаївна Сибірцева, Єлизавета Миколаївна Дорофей *Український журнал дистанційного зондування Землі*. Т.8(2021). №2. С.12-20

17. Використання засобів дистанційного зондування Землі до оцінки природно-антропогенних трансформацій озер Поліського регіону. В. О. Мартинюк, О. В. Томченко. *Український журнал дистанційного зондування Землі*. Т.8(2021). №2. С.27-35
18. Адаптивні методи виявлення змін довкілля за допомогою мультиспектральних космічних знімків Землі на прикладі території Солотвино В.Г.Якимчук, К.Ю. Суханов, О. В. Томченко *Український журнал дистанційного зондування Землі*. Т.8(2021). №1. с.10-17
19. Прогноз підтоплення територій ліквідованих вугільних шахт України за даними ДЗЗ. О. А. Улицький, К. Є. Бойко. *Український журнал дистанційного зондування Землі*. Т.8(2021). №1. с.18-25
20. Інтегрування ГІС та ДЗЗ з метою ефективного моніторингу довкілля територій сміттєзвалищ. О.Т. Азімов, О. В. Шевчук, К. О. Азімова. *Український журнал дистанційного зондування Землі*. Т.27(2020). с.4-12
21. Спосіб оцінювання екологічного стану прісноводних водойм на основі космічного геомоніторингу та статистичного критерію з віртуальними еталонами (обґрунтування та апробація) О.Д. Федоровський, А. В.Хижняк, О. В. Томченко, А. Ю. Порушкевич, Л. В. Підгородецька. *Український журнал дистанційного зондування Землі*. Т.27(2020). с.18-25
22. Долинні комплекси як екосистемні активи «теплових островів» міських агломерацій (на прикладі правобережної частини м. Києва). Н.В.Пазинич *Український журнал дистанційного зондування Землі*. Т.26(2020).
23. Моніторинг теплового поля колишніх виробничих зон і промислових об'єктів м. Києва за супутниковими даними Л. П. Ліщенко *Український журнал дистанційного зондування Землі*. Т.25(2020). с.17-27
24. Експериментальні дослідження особливостей кругообігу вуглецю в системі «атмосфера-рослинність» на території водно-болотних угідь лісостепової зони України із залученням дистанційних спектро- та газометричних зйомок за сучасних кліматичних змін. В.І. Лялько, Г.М. Жолобак, С. С. Дугін, О.М. Сибірцева, С. І.Голубов, Є. М. Дорофей, О. В.

- Поліщук. *Український журнал дистанційного зондування Землі*. Т.24(2020).
25. Геодинамічне районування шельфу Азовського моря та екологічні проблеми при нафтогазовидобувних роботах. Т. А. Єфіменко, З. М. Товстюк, С.М. Єсипович, О.В. Титаренко, М. О. Свіденюк, А.Д. Бондаренко, О.П.Головащук, І. В. Лазаренко. *Український журнал дистанційного зондування Землі*. Т.24(2020). с.23-33.
  26. Визначення тенденцій розвитку рослинного покриву на підставі розрахунку нормалізованого вегетаційного індексу на прикладі Петриківського району Дніпропетровської області. І. Ю. Омеліч, А.А.Яременко, Н.О.Непошивайленко, І. В.Горай. *Український журнал дистанційного зондування Землі*. Т.23(2019). с. 9-13.
  27. Просторово-часовий аналіз тренду продуктивності рослинного покриву в Європі з використанням супутникових даних MODIS. Д. М. Мовчан. *Український журнал дистанційного зондування Землі*. Т.22(2019). с. 4-11.
  28. Методична схема ранжирування інтервальних експертних оцінок вуглеводневого потенціалу територій. М.О. Попов, О. В.Зайцев, І.О. Пестова *Український журнал дистанційного зондування Землі*. Т.22(2019). С.35-39.
  29. Африканські озера Ніос і Монун — індикатори унікального вуглекислотно-глибинного дихання Землі. М. М. Шаталов. *Український журнал дистанційного зондування Землі*. Т.21(2019). С.4-22
  30. Теплове мікрокартування міських територій з використанням космічних знімків та польових завіркових вимірювань на прикладі міста Києва. І.О.Пестова, М. С. Лубський, М. О.Свіденюк, С. І. Голубов. *Український журнал дистанційного зондування Землі*. Т.21(2019). С.40-48.
  31. Аналіз розподілу літніх температур поверхні міста Миколаєва за даними теплового діапазону супутників серії Landsat. Л. П. Ліщенко, Н. В.Пазинич, В. Є. Філіпович. *Український журнал дистанційного зондування Землі*. Т.21(2019). С.49-59.

32. Просторово-часова мінливість «цвітіння» води у Дніпровських водосховищах. В.І.Вишневецький. *Український журнал дистанційного зондування Землі*. Т.20(2019). С.18-27.
33. Космічний моніторинг довкілля – ефективний механізм охорони лісів. В.І. Лялько, Г.М. Жолобак, А. Я. Ходоровський, О. А. Апостолов, О.М.Сибірцева, Л.О. Єлістратова, І. Ф. Романчук, Є. М. Дорофей. *Український журнал дистанційного зондування Землі*. Т.20(2019). С.4-12.
34. Результати моделювання температурних аномалій на водній поверхні дослідного басейну Інституту гідромеханіки НАН України. О.Д.Федоровський, В. Ю. Філімонов, І. О. Пестова, С.С.Дугін, В. Г. Якимчук, А. В.Хижняк, К.Ю.Суханов. *Український журнал дистанційного зондування Землі*. Т.19(2018). С.40-45.
35. Передумови зменшення озонної діри у 2017 році. В. О. Кравченко, О.М. Євтушевський, А.В.Грицай, Г.П.Міліневський, Ендрю Р. Клекочук. *Український журнал дистанційного зондування Землі*. Т.18(2018). С.53-58.
36. Оперативний супутниковий моніторинг рослинності та водойм на території міст. Д.К. Мозговий. *Український журнал дистанційного зондування Землі*. Т.17(2018). С.18-25.
37. Оцінка соціально-економічного розвитку областей України за роки незалежності на підставі даних супутника DMSP/OLS про нічне освітлення. В.І. Лялько, О. А.Апостолов, Л.О. Єлістратова, А. Я. Ходоровський. *Український журнал дистанційного зондування Землі*. Т.16(2018). С.27-33.
38. Дистанційний моніторинг стану атмосферного середовища на території України в період карантинних обмежень COVID-19 В.І. Лялько, Л.О. Єлістратова, О. А. Апостолов, І.Ф. Романчук. *Український журнал дистанційного зондування Землі*. Т.26(2020). с.48-54.
39. Основні способи прижиттєвого мічення дрібних ссавців О.Марковська *Novitates Theriologicae*. 2017. Pars 10: с. 54–59

40. Зміна клімату і як з нею боротися: ключова інформація. UNICEF. URL: <https://www.unicef.org/ukraine/stories/climateaction>.
41. Зміна клімату в Україні та світі: причини, наслідки та рішення для протидії. Екодія. URL: <https://ecoaction.org.ua/zmina-klimatu-ua-ta-svit.html>.
42. Yearly Carbon Dioxide Peak | Climate Central. Climate Central. URL: <https://www.climatecentral.org/climate-matters/yearly-carbon-dioxide-peak>.
43. Visualized: Historical Trends in Global Monthly Surface Temperatures (1851-2020). Visual Capitalist. URL: <https://www.visualcapitalist.com/global-temperature-graph-1851-2020>.
44. Загальна геологія : навч. посіб. Київ: Київ. нац. ун-т ім. Тараса Шевченка ННІ «Ін-т геології», 2020. 205с. URL: [http://www.geol.univ.kiev.ua/lib/General\\_geology\\_Ivanik\\_Menasova\\_Krochak.pdf](http://www.geol.univ.kiev.ua/lib/General_geology_Ivanik_Menasova_Krochak.pdf).
45. Гулійчук Д. На Закарпатті стався землетрус: влада закликає місцевих до пильності. URL: <https://tsn.ua/ukrayina/na-zakarpatti-stavsya-zemletrus-vlada-zaklikaye-miscevih-do-pilnosti-2426620.html>.
46. В Україні через повені підтоплені будинки, поля, розмиті переправи. Суспільне Новини. URL: <https://suspilne.media/448641-zatopleni-budinki-pola-zarovidniki-rozmiti-perepravi-so-vidomo-pro-roveni-v-ukraini/>.
47. Ukrinform. МАГАТЕ: Загрози ядерній безпеці на Запорізькій АЕС немає. Укрінформ - актуальні новини України та світу. URL: <https://www.ukrinform.ua/rubric-economy/3718816-magate-zagrozi-adernij-bezpeci-na-zaporizkij-aes-nemaie.html>.
48. Pollution and health: a progress update / R. Fuller et al. The Lancet Planetary Health. URL: [https://www.thelancet.com/journals/lanplh/article/PIIS2542-5196\(22\)00090-0/fulltext](https://www.thelancet.com/journals/lanplh/article/PIIS2542-5196(22)00090-0/fulltext).
49. Стало відомо, хто найбільше забруднює повітря у Києві. ЕкоПолітика. URL: <https://ecopolitic.com.ua/ua/news/v-kmda-rozpovili-hto-najbilshe-zabrudnjuie-povitrya-u-kiievi-2/>.



50. [https://ukrayinska.libretexts.org/Хімія/Вступний%2С\\_концептуальний\\_та\\_3\\_ОБ\\_Хімія/Хімія\\_для\\_зміни\\_часів\\_\(Hill\\_i\\_McCreary\)/13%3A\\_Повітря/13.0\\_4%3A\\_Забруднення\\_зовнішнього\\_повітря](https://ukrayinska.libretexts.org/Хімія/Вступний%2С_концептуальний_та_3_ОБ_Хімія/Хімія_для_зміни_часів_(Hill_i_McCreary)/13%3A_Повітря/13.0_4%3A_Забруднення_зовнішнього_повітря)
51. Економічна правда. Війна і екомодернізація: чи можлива реформа промислового забруднення в Україні. Економічна правда. URL: <https://www.epravda.com.ua/columns/2022/10/13/692591/>.
52. About WHO Europe. World Health Organization (WHO). URL: <https://www.who.int/europe/about-us/about-who-europe>.
53. Вбивча природа: як забруднення навколишнього середовища впливає на здоров'я. Новини України - останні новини України сьогодні - УНІАН. URL: <https://www.unian.ua/ecology/1304769-vbivcha-priroda-yak-zabrudnennya-navkolishnogo-seredovischa-vplivae-na-zdorovya.html>.
54. IPBES Home page | IPBES secretariat. IPBES secretariat. URL: <https://www.ipbes.net> .
55. Біорізноманіття під загрозою - PCC Group Product Portal. PCC Group Product Portal. URL: <https://www.products.pcc.eu/uk/blog/біорізноманіття-під-загрозою>.
56. <https://ecozagroza.gov.ua/en>
57. <http://www.ceobs.org/publications/>
58. <https://zoinet.org> and <https://ecodozor.org/index.php?lang=en>
59. <https://en.ecoaction.org.ua/warmap.html>
60. [https://maps.greenpeace.org/maps/gpcee/ukraine\\_damage\\_2022/](https://maps.greenpeace.org/maps/gpcee/ukraine_damage_2022/)
61. Climate Damage caused by Russia's war in Ukraine, first interim assessment. En: <https://en.ecoaction.org.ua/climate-damagecaused-by-russias-war.html>. Ukrainian: <https://ecoaction.org.ua/vplyv-ros-vijny-na-klimat.html>
62. Climate Damage caused by Russia's war in Ukraine, second interim assessment. En: <https://en.ecoaction.org.ua/climate-damageby-russia-12-months.html>. Uk: <https://ecoaction.org.ua/vplyv-ros-vijny-na-klimat-2.html>
63. Climate Damage caused by Russians War in Ukraine/ <https://en.ecoaction.org.ua/wp->

content/uploads/2023/12/20231201\_ClimateDamageWarUkraine18monthsEN\_1.pdf.

64. C.Protopsaltis Air pollution caused by war activity WIT. *Transactions on Ecology and The Environment*, Vol 157, 2012. 2.
65. R.Zalakeviciute, D.Mejia, H.Alvarez, X.Bermeo, S.Bonilla-Bedoya, Y.Rybarczyk, B.Lamb War Impact on Air Quality in Ukraine. *Sustainability*. 2022, 14, 13832.