НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНА УСТАНОВА «НАУКОВИЙ ЦЕНТР АЕРОКОСМІЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ЗЕМЛІ ІНСТИТУТУ ГЕОЛОГІЧНИХ НАУК НАЦІОНАЛЬНОЇ АКАДЕМІЇ НАУК УКРАЇНИ»

Костюченко Юрій Васильович

УДК 528.8+519.21: 504.064.37

КОМПЛЕКСУВАННЯ ДАНИХ СУПУТНИКОВИХ СПОСТЕРЕЖЕНЬ І МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ В ЗАДАЧАХ ОЦІНКИ ГЕОЕКОЛОГІЧНИХ РИЗИКІВ І БЕЗПЕКИ

05.07.12 – дистанційні аерокосмічні дослідження

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
доктора технічних наук

Київ – 2017

Дисертацією є рукопис

Робота виконана в Державній установі «Науковий центр аерокосмічних досліджень Землі Інституту геологічних наук Національної академії наук України»

Науковий консультант: доктор геолого-мінералогічних наук, професор, академік Національної академії наук України **Лялько Вадим Іванович**, ДУ «Науковий центр аерокосмічних досліджень Землі Інституту геологічних наук Національної академії наук України», головний науковий співробітник

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор, член-кореспондент НАН України **Трофимчук Олександр Миколайович,** Інститут телекомунікацій та глобального інформаційного простору НАН України, директор

доктор технічних наук, професор **Яценко Віталій Олексійович**, Інститут космічних досліджень НАН та ДКА України, завідувач відділу дистанційних методів та перспективних приладів

доктор технічних наук, доцент **Кохан Світлана Станіславівна**, Національний університет біоресурсів і природокористування України, Міністерство освіти і науки України, завідувач кафедри геоінформаційних систем і технологій

Захист дисертації відбудеться «_30_» _січня_ 2018 р. о **10:00** годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 26.162.03 ДУ «Науковий центр аерокосмічних досліджень Землі Інституту геологічних наук Національної академії наук України» за адресою Україна, 01054, м. Київ, вул. О. Гончара, 55-б.

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці Інституту геологічних наук Національної академії наук України (Україна, 01054, м. Київ, вул. О. Гончара, 55-б), а також на сайті ЦАКДЗ ІГН НАН України: http://www.casre.kiev.ua/uk/organization/abstracts-and-dissertations-since-2015

Автореферат розісланий «27» _грудня_ 2017 р.

Учений секретар спеціалізованої
вченої ради Д 26.162.03
кандидат геологічних наук

О.В. Седлерова

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Роботу присвячено вивченню ризиків надзвичайних ситуацій (НС) засобами супутникового спостереження. Надзвичайні події призводять до значних економічних втрат, а подолання довготривалих наслідків потребує багато часу і зусиль. Виходячи з тенденцій кліматичних змін, можна стверджувати, що існує загроза ескалації небезпечних процесів. Тому необхідна інтеграція зусиль фахівців, як на національному, так і на міжнародному рівні, для визначення особливостей формування та розповсюдження НС, розробки системи заходів із зменшення економічних, соціальних і екологічних втрат.

Як зазначено у стратегічних міжнародних документах, розробка та впровадження стратегій сталого розвитку, в тому числі, стратегій визначення загроз та ризиків НС, має базуватися на серйозній науковій основі. Окремої уваги потребують новітні методи моніторингу і спостереження земної поверхні, зокрема, супутникові технології. Враховуючи, що дистанційне зондування Землі (ДЗЗ) є однією з провідних і ефективних сучасних космічних технологій, слід широко застосовувати його для оперативного і економічного вирішення актуальних для України задач. Як показує світовий досвід, висока оперативність отримання результатів, наявність великої кількості знімальної апаратури в різних діапазонах спектру з різною роздільною здатністю, високий ступінь інтегрування інформації, якими характеризуються супутникові технології, зумовлюють іноді визначальну роль дистанційних методів при вирішенні низки прикладних задач.

Реалізація ефективних стратегій управління ризиками вимагає глибокого аналізу і фізико-математичного моделювання природних процесів, що ведуть до формування НС. Застосування ДЗЗ та методик аналізу просторово розподілених даних дозволяє більш ефективно проводити моніторинг та контроль стану земної поверхні, динаміки спектральних показників земних утворень. Тому розроблені моделі формування НС слід орієнтувати на використання саме таких методів.

Таким чином, необхідність створення моделей навколишнього середовища, які оперують даними ДЗЗ та спрямовані на отримання сукупності оцінок небезпечних природних явищ на основі аналізу взаємопов’язаних небезпечних геологічних і геофізичних процесів, кліматичних та екологічних змін, а також вдосконалення засобів та систем аерокосмічного моніторингу для прогнозування регіональних змін клімату, зумовлює актуальність представленої роботи.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дослідження, пов’язані з дисертаційною роботою виконувалися протягом більше як десяти років в Науковому центрі аерокосмічних досліджень Землі ІГН НАН України в рамках 12 науково-дослідних тем. Серед них, зокрема, НДР (державні контракти в рамках Загальнодержавної цільової науково-технічної космічної програми України від 18.07.2003 № 1-08/03, від 15.09.2008 № 1-08/08та від 27.04.2012 № 1-08/12) “Зондування” (2003 – 2007, 2008, 2012), НДР «Розробка теоретико-методичних засад прогнозування розвитку небезпечних природних явищ гідрологічного і гідрометеорологічного характеру на основі використання даних аерокосмічних зйомок та моделювання різномасштабних процесів енергомасообміну в геосистемах» (2006), «Визначення сукупності методів супутникового спостереження для оцінки деформації земної поверхні в районах вуглевидобування та адаптація підходів до регіональних умов» в рамках програми «Комплексні дослідження процесів масопереносу і формування полів напружень і деформацій при розробці родовищ корисних копалин для створення способів і засобів активного керування станом масиву з метою підвищення економічної ефективності і аварійної безпеки ведення гірничих робіт» (2007), НДР «Координація досліджень по створенню аерокосмічного блоку системи GMES» (№ держреєстрації 0107U002303), НДР «Розробка нових

методик космічного моніторингу земних покровів (рослинність, ґрунти, водні ресурси), біорізноманіття в умовах кліматичних змін з метою управління ризиками надзвичайних ситуацій» (№ держреєстрації 0112U000703), НДР (грант ДФФД) «Оцінка впливу регіональних змін клімату на екосистеми та визначення ризиків їх негативних наслідків з використанням даних дистанційного зондування та наземних спектро-, газометричних і гідрометеорологічних вимірів» (№№ держреєстрації 0115U005583 та 0116U002674), НДР (грант УНТЦ) «Інформаційно-технологічне забезпечення оцінювання впливу парникового ефекту на зміни клімату та довкілля на регіональному рівні тза матеріалами космічних зйомок та полігонних досліджень» (№№ держреєстрації 0116U006574 та 0117U006288). Крім того, роботи велися в рамках двосторонніх міжнародних проектів з Геологічним інститутом Геологічної служби Угорщини, двосторонніх досліджень з Центром космічних досліджень Польської академії наук, досліджень під егідою Комітету із системного аналізу при Президії НАН України за тематикою «Системні дослідження Міжнародного інституту прикладного системного аналізу (Австрія). Таким чином, робота є невід'ємною складовою загальної тематики НАН України, ЦАКДЗ та відділу ЕМОГС, і її виконання дозволило зробити суттєвий внесок в розвиток досліджень, пов'язаних з визначенням ризиків надзвичайних ситуацій, кліматичних та екологічних змін, та розвитку національних сегментів глобальних систем спостереження Землі. При цьому конкретна тематика цих робіт, пов'язана з визначенням та прогнозуванням небезпечних природних явищ, має окрему вагу та науковий інтерес, що й зумовлює актуальність цієї теми як окремого дослідження.

Мета роботи полягає у тому, щоб **розробити нову методологію комплексування даних супутникового спостереження, наземних вимірювань та математичного моделювання для підвищення достовірності оцінювання геоекологічних ризиків НС окремих типів**.

Об'єктом дослідження є природне середовище та екосистеми під впливами НС, які описуються фізико-математичними моделями земних утворень, інформацією супутникового спостереження земної поверхні про спектральні характеристики відбитого випромінювання, та просторово розподіленими статистичними даними. **Предметом дослідження є методи оцінювання стану природного середовища та екосистем під впливами НС визначених типів**.

Для досягнення поставленої мети в роботі було поставлено і розв'язано окремі **наукові задачі**.

Проаналізовано просторово-часовий розподіл НС природного походження з метою виявлення тенденцій їх виникнення та перебігу.

Розроблено нові інтегровані моделі енергомасообміну в природних системах та моделі формування корисного сигналу земних утворень. Розроблено підходи до оцінювання наслідків прогнозованих кліматичних змін на ескалацію природних надзвичайних ситуацій для території України.

Розроблено методи вирішення моніторингових та прогностичних задач для контролю НС. Зокрема, визначено дешифрувальні ознаки при оцінюванні й прогнозуванні паводкового потенціалу територій та оцінено необхідні обсяги і якісні характеристики завіркових даних при оцінюванні й прогнозуванні паводкової небезпеки.

Запропоновано узагальнюючий формалізований вигляд підходу до оцінки ризиків надзвичайних ситуацій з використанням даних ДЗЗ. На основі отриманих моделей та запропонованого методу було зроблено оцінки ризику надзвичайних ситуацій для території України.

Таким чином, наукове завдання роботи можна сформулювати як створення нових комплексних підходів до оцінки ризиків небезпечних явищ з використанням даних ДЗЗ, геопросторового аналізу та фізико-математичного моделювання.

Наукова новизна отриманих результатів. В роботі вперше представлено наукові результати оцінювання показників довгострокової небезпеки виникнення надзвичайних ситуацій за допомогою комплексування даних ДЗЗ різних діапазонів, просторового аналізу даних, розроблених моделей енергомасообміну в природних системах та моделей формування корисного сигналу земних утворень.

Науковими результатами, що мають новизну є розроблені моделі енергомасообміну в природних системах, орієнтовані на застосування методів ДЗЗ та аналізу просторово розподілених даних:

1. *Вперше* запропоновано інтегрований підхід до статистичного аналізу даних спостережень, який базується на модифікованому методі нелінійного кернелівського аналізу головних компонент, і дозволяє отримувати регуляризовані розподіли в одиницях, інваріантних щодо характеру даних. Це дозволяє аналізувати одночасно різні типи НС, незалежно від їхнього походження і, таким чином, незважаючи на різні часові і просторові масштаби, притаманні рушійним силам та процесам, що генерують небезпеку. Водночас, *вперше* запропоновано кількісні індекси (*IoD* та *IoV*) для оцінки ефективності заходів управління ризиками.
2. Розроблено та адаптовано *нові* інтегровані моделі енергомасообміну в природних системах та моделі формування корисного сигналу для використання в задачах оцінки ризиків за даними ДЗЗ; *вперше* створено комплекс взаємопов'язаних детермінованих і стохастичних моделей аналізу просторово розподілених даних спостережень та вимірювань в задачах оцінки ризиків.
3. *Вперше* запропоновано метод оцінювання довгострокових регіональних небезпек, пов'язаних із глобальними змінами на основі розробленої методики аналізу спостережень та уточнення моделей по наборам даних, представлених на гільбертових випадкових просторах та адаптованої методики трансформації ансамблів фільтрацією Калмана, а також з використанням методу оцінки комплексних мір ризику за результатами спільного аналізу багатовимірних мультиваріативних величин на основі непараметричних кернелівських копула-функцій.
4. *Набули подальшого розвитку* методи оцінювання ризиків, зокрема, на основі розроблених моделей, запропонованих методів аналізу даних, а також з використанням підходу, що базується на використанні правила Баєса, було запропоновано суттєво вдосконалений підхід до побудови методик оцінки ризиків надзвичайних ситуацій з використанням даних ДЗЗ; вперше на цій основі зроблено оцінки ризику надзвичайних ситуацій природного походження, зокрема, і для території України.
5. *Набули подальшого розвитку* методи комплексування даних ДЗЗ, розроблено нові та вдосконалено існуючі проблемно-орієнтовані методи комплексування, запропоновано та обґрунтовано використання спектральних індексів, визначено підходи до їх наземної завірки і калібрування.
6. *Встановлено* окремі важливі тенденції середньо- та довгострокового розвитку НС по території досліджень, які мають гетерогенний розподіл в просторі і часі та зумовлені взаємопов'язаними впливами ескалації кліматичних змін, антропогенних навантажень та надзвичайних ситуацій різного характеру.

Результати дослідження дозволяють більш ефективно застосовувати дані ДЗЗ і, таким чином, більш об'єктивно оцінювати довгострокову небезпеку виникнення надзвичайних ситуацій.

Методи дослідження і використані матеріали. методами дослідження є: фізико-математичне моделювання просторово розподілених процесів енергомасообміну в природних системах, моделі формування корисного сигналу природними утвореннями, а також методи оперування даними та статистичний аналіз, зокрема, методи лінійної редукції даних спостережень та уточнення моделей по наборам даних спостережень, представлених на гільбертових випадкових просторах, метод кернелівського аналізу головних компонент (*KPCA*), методи рекурсивного аналізу лінійних

динамічних систем, зокрема, модифікований метод трансформації ансамблів фільтрацією Калмана (*ETKF*). Крім того було запропоновано та використано методи оцінки просторово-розподілених показників ризику, зокрема спільного аналізу багатовимірних мультиваріативних величин на основі застосування непараметричних кернелівських копула-функцій, та метод оцінки міри ризику на основі використання правила Баєса.

При виконанні роботи було використано матеріали супутникового спостереження земної поверхні AVHRR/NOAA–11 - 18, MODIS/EOS Terra & Aqua, SPOT, Landsat–2 MSS, -5 TM, -7 ETM, SAR & InSAR/ERS –1, -2, SCIAMACCI/ENVISAT, дані супутників «Січ–1» та «Океан–О» , а також геофізичні дані GTOPO30 і гідрологічні бази даних HYDRO1k. За надані дані та матеріали автор висловлює подяку Національному космічному агентству України, Національному управлінню з досліджень атмосфери і океану США (NOAA), Геологічній службі США (USGS), Лабораторії з вивчення реактивного руху Каліфорнійського технологічного інституту (NASA JPL, USA), Національному центру атмосферних досліджень (NCAR, USA), Геологічному інституту Угорщини (MAFI), Дослідному інституту ґрунтознавства та агрохімії Угорської академії наук (RISSAC) та Європейському інституту космічних досліджень Європейського космічного агентства (ESRIN/ESA, Італія).

Обґрунтованість і достовірність наукових результатів. Обґрунтованість запропонованого підходу підтверджується повнотою та адекватністю фізичного опису ключових процесів переносу в природних системах, а також тим, що при розробці запропонованих методів використовувалися відомі апробовані фізико-математичні та статистичні моделі окремих процесів.

Достовірність отриманих результатів, а саме запропонованого модельного підходу та отриманих оцінок підтверджується відповідними розрахунками, коректністю запропонованих методик спостереження земної поверхні в порівнянні з існуючими світовими аналогами, порівняльним аналізом даних, отриманих за допомогою запропонованого підходу, а також використанням відомих методів обробки даних і сертифікованих програм.

Практичне значення одержаних результатів. Запропоновані моделі, методи та підходи до інтерпретації матеріалів аерокосмічної зйомки було використано при реалізації Загальнодержавних цільових науково-технічних космічних програм України, зокрема при відпрацювання аерокосмічних технологій та методик дистанційного зондування Землі.

Запропоновані підходи та розроблені на їхній основі методики контролю та моніторингу ландшафтних пожеж було впроваджено в Черкаській академії пожежної безпеки ім. Героїв Чорнобиля.

Розроблений комплекс методів оцінки ризиків надзвичайних ситуацій та методика контролю та моніторингу надзвичайних ситуацій гідрогеологічного характеру було впроваджено в Державному комунальному підприємстві «Плесо» Київської міської державної адміністрації.

Результати робіт було використано при підготовці Національної доповіді «Про стан техногенної та природної безпеки в Україні» за 2008-2014рр. Також результати роботи впроваджено в інших установах та організаціях.

Особистий внесок здобувача. Основою роботи стали результати досліджень автора, як виконаних ним особисто, так і у співавторстві з групою співробітників відділу енергомасообміну в геосистемах Наукового центру аерокосмічних досліджень Землі ІГН НАН України, протягом 2000 - 2016 рр. Постановки задач, розробку моделей та застосованих методів зроблено особисто автором. Результати співпраці з колегами та спеціалістами інших наукових закладів відображено в спільних наукових публікаціях.

Апробація результатів дисертації. Результати дисертаційних досліджень доповідалися на багатьох міжнародних та національних наукових конференціях. Зокрема: “Залучення нових членів Євросоюзу до співробітництва в галузі прикладного спостереження Землі / GMES” (27 – 29 вересня

2005, Берлін, Німеччина), “Визначення якості та придатності даних про стан земних покровів і атмосфери при визначенні ключових кліматичних змінних” (15 - 16 грудня 2005, Краків, Польща), Перша наукова конференція “Науки про Землю та Космос – суспільству” (25 – 27 червня 2007, Київ, Україна), Міжнародна конференція Німецького Федерального університету Військово – повітряних сил (IFIP), Міжнародного інституту прикладного системного аналізу (IIASA) та Міжнародної асоціації прикладної математики і механіки (GAMM) «Управління невизначеностями: сталі рішення» (10 – 12 грудня 2007, Лаксенбург, Австрія), «Конференція регіональної наукової групи NEESPI з питань небореальної частини Європи» (23-28 серпня 2008, Одеса, Україна), Міжнародний дослідницький семінар «Використання супутникових та наземних даних в інтересах сталого розвитку» (Київ, Україна, 9 – 12 червня, 2009), Міжнародна конференція «Robust Design – Coping with Hazards, Risks and Uncertainties» («Сталі методи вивчення катастроф, ризиків та невизначеностей», м. Сінгапур, 2 – 5 березня 2010р.), Міжнародний симпозіум «Fifth Asian-Pacific Symposium on Structural Reliability and its Applications (APSSRA)» (5-ий Азійсько-Тихоокеанський симпозіум з прикладних питань безпеки і надійності, Сінгапур, 23- 25 травня 2012), 11 International Probabilistic Workshop (11-ий Міжнародний симпозіум з теорії ймовірності, Брно, Чехія, 2013), симпозіум SPIE (Варшава, 2017) та інші.

Публікації. Основні результати досліджень опубліковано у 48 друкованих роботах, з них, 23 – статті у фахових періодичних виданнях, 25 – розділи у збірниках та монографіях, 21 робота опублікована англійською, 12 робіт входять до бази SCOPUS, 6 робіт у переліку додатково висвітлюють зміст дисертаційної роботи.

Структура і обсяг дисертації. Дисертація складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, переліку посилань та додатку. Обсяг роботи складає 378 сторінок, з яких 271 сторінка основного тексту, 20 сторінок бібліографії, та 84 сторінки додатків. Дисертація містить 92 рисунки, 28 таблиці та 257 формул. Список використаних джерел налічує 278 посилань.

Автор висловлює щиру подяку науковому консультанту доктору геолого – мінералогічних наук, академіку НАН України професору В.І. Лялько, а також акад. НАН України Ю.М. Єрмольєву, акад. НАН України В.М. Шестопалову, чл.-кор. НАН України проф. П.С. Кнопову, проф. П.І. Лакиді, д.т.н. проф. М.О. Попову за вагому наукову допомогу, корисні поради, зауваження і консультації на всіх етапах роботи.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

Вступ. Обґрунтовано актуальність теми з точки зору сучасного розвитку робіт з геоекологічної безпеки, ДЗЗ і геоінформатики, показано місце і роль дисертаційного дослідження в реалізації відповідних міжнародних та національних наукових програм та ініціатив, а також в тематиці Наукового центру аерокосмічних досліджень Землі ІГН НАН України, сформульовано наукову проблему, визначено об’єкт та предмет дослідження, викладено стислу загальну характеристику роботи.

Розділ 1. Аналітичний огляд стану досліджень в галузі застосування супутникових зйомок в комплексі методів моніторингу та прогнозування надзвичайних ситуацій. У цьому розділі проведено проблемно – орієнтований аналіз стану досліджень в галузі застосування методів ДЗЗ та аналізу просторово-розподілених даних для вивчення ризиків НС природного походження. Визначено тенденції кількісних та якісних змін частоти та інтенсивності НС, показано взаємозв’язок між виникненням та наслідками НС, ескалацією змін клімату та соціально – економічними змінами.

Серед існуючих на даний момент робіт в області оцінки ризиків із застосуванням просторово розподілених даних і, в тому числі, даних ДЗЗ, слід зазначити кілька важливих досліджень. В галузі

оцінки загроз небезпечних гідрологічних і гідрогеологічних процесів слід зазначити розроблені моделі (*Лялько В.І.* та ін., 1985 – 2013, *Шестопалов В.М.* та ін., 1995 - 2010), які дозволяють оцінювати в окремих випадках пряму вірогідність виникнення небезпечних явищ, хоча і не завжди можуть бути застосовані для моделей оцінки ризиків, у тому числі - довгострокових. Також не всі ці моделі, зокрема гідрогеологічні, призначені для прямого застосування даних ДЗЗ і мають бути окремо адаптовані до різних видів даних.

Важливі результати були отримані під час спільних проектів Інституту геологічних наук НАН України, ЦАКДЗ ІГН НАН України та Інституту геоекології ім. Е.М. Сергєєва РАН (*Вікторов А.С., Сахацький О.І,* та ін., 2006, 2007, 2011, 2013) з використанням просторово розподілених даних, методів ГІС і даних ДЗЗ. Проте, методи оцінки ризиків, у тому числі, небезпечних гідрологічних і гідрогеологічних процесів (підтоплення, термокарст, заболочування) були виконані у рамках підходу, який ґрунтується на аналізі індивідуальних ризиків враження в моделі випадкового процесу Пуассона. Тобто є прямим аналогом методу оцінки сейсмічних ризиків. Застосування такого роду моделей не може бути визнане універсальним методом для оцінки гідрологічних ризиків в усіх регіонах, а тому потребує істотного методологічного вдосконалення.

Ґрунтовні роботи з оцінки кліматичних змін та індукованих ними загроз було виконано колективом вітчизняних метеорологів, океанологів та кліматологів. Змістовний аналіз поточних та очікуваних змін, зокрема представлено роботах колективів Українського науково-дослідного гідрометеорологічного інституту (УкрНДГМІ), Інституту геофізики НАН України ім. Суботіна, Морського гідрофізичного інституту (МГІ) НАН України (*Волощук В.М., Бойченко С.Г., Осадчий В.І., Мартазинова В.Ф., Полонський А.Б.*, та інші, 1990 - 2014). Великий обсяг метеорологічних вимірювань та застосування обґрунтованих кліматичних моделей дозволяє використовувати запропоновані підходи для прогнозування небезпечних процесів. Водночас використання даних ДЗЗ в цих роботах є обмеженим, а крім того, розрахунки ризиків не проводяться в необхідному обсязі. Отже, з методологічної точки зору, з'являється можливість розвитку наявних підходів.

Найбільш ґрунтовним оглядом застосування методів оцінки ризиків, пов'язаних з широким спектром природних і антропогенних загроз, слід визнати дослідження Інституту геохімії навколишнього середовища НАН України (*Лисиченко Г.В., Забулонов Ю.Л., Хміль Г.А.*, 2008). Там представлені майже усі наявні методи аналізу ризиків і загроз, у тому числі, із застосуванням просторово розподілених даних. Проте, можливості використання даних ДЗЗ у рамках описаних методів, відповідним чином не представлено. Таким чином, запропоновані підходи вимагають певного уточнення. Те ж можна віднести і до робіт Національного інституту стратегічних досліджень (*Іванюта С.П., Качинський А.Б., Горбулін В.П., Яковлєв Є.О.* та ін., 2007 - 2016), де пропонується досить повний перелік способів обліку ризиків і загроз, проте без врахування всіх наявних можливостей використання просторово розподілених даних і методів ДЗЗ.

Вагомих результатів було досягнуто в роботах Інституту космічних досліджень НАН України (*Федоров О.П.,* та ін., 1999 – 2014) в галузі застосування ДЗЗ та інформаційних технологій для оцінки ризиків і небезпек, пов'язаних із розповсюдженням небезпечних процесів (повені, посухи) за даними ДЗЗ. Було розроблено високоякісні моделі оперування даними, отримано методи оперативного контролю, продемонстровано ґрунтовні результати. Однак при цьому, методи оцінки ризиків ґрунтуються на пуасонівському представленні випадкових процесів, що накладає певні обмеження на масштаби моделювання та міри інтегрування. В умовах моделей індивідуальних ризиків, що моделюються пуасонівськими процесами, в загальному випадку зазвичай отримуються оцінки відхилень від глобального середнього та/або нормального розподілу на невизначених інтервалах. В умовах ергодичних процесів такі підходи можуть бути прийнятними і давати достовірні результати,

але ергодичність процесів, що є рушійними силами надзвичайних ситуацій не є доведеною. При цьому в умовах порушення ергодичності такий підхід призведе до вироджених рішень в області екстремальних розподілів, що показано в роботах (*Єрмольєв Ю.М.*, та ін. 2001 - 2012). Це означає, що при задовільній якості оцінок на глобальних масштабах (там, де важливі і прийнятні оцінки середніх значень), ми істотно втратимо достовірність регіональних і особливо локальних оцінок. Зазвичай, в умовах обмежень даних і високих невизначеностях, в таких випадках є сенс використовувати непараметричні методи оцінювання, а також стохастичні і ймовірнісні міри ризику. Тобто, підхід, пропонований колективом ІКД, є чутливим по відношенню до якості і обсягів даних. Також моделі процесів, що формують небезпеку, не було включено до запропонованої авторами методики. Таким чином з'являється можливість розробки феноменологічно обґрунтованого методу оцінки ризиків, що був би прийнятний також в умовах наявності обмежень по даним.

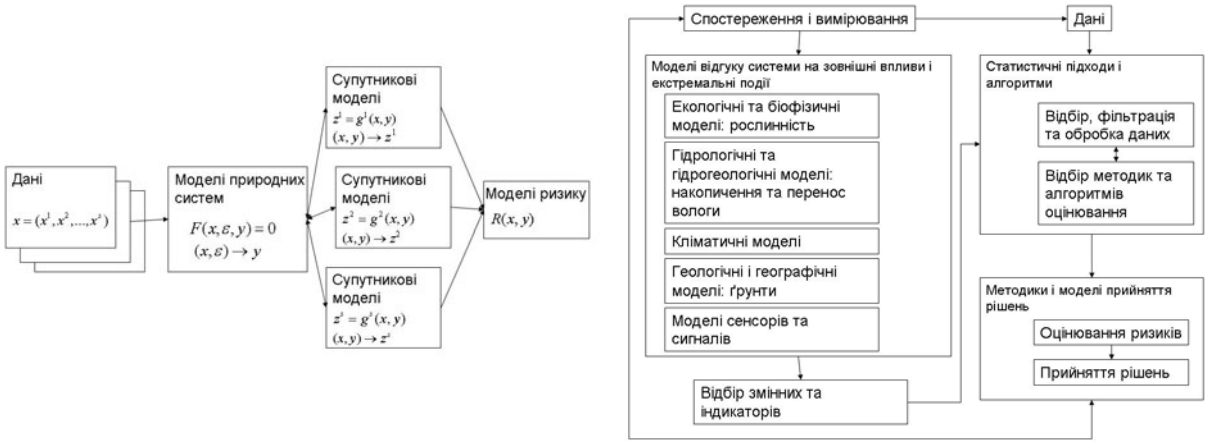
При цьому можна відзначити, що більшість із згаданих вище досліджень традиційно базуються на неявному припущенні, що оцінювані розподіли показників небезпеки є близькими до нормальних, а процеси, що генерують ці розподіли є ергодичними. Водночас, численні дослідження в галузі оцінки ризиків (*Єрмольєв Ю.М., Норкін В.І., Кнопов П.С., Кирилюк В.С.*, 2012 – 2014, *Наконечний О.Г*, 2006-2009, *Rockafellar R., Uryasev S.*, 2002-2004, та інші) вказують, що ці припущення не є справедливими у більшості реальних випадків, отже застосування їх призводить до збільшення невизначеностей при аналізі різномасштабних явищ.

Одними з найзначніших слід визнати дослідження в області методів оцінки ризиків Інституту кібернетики НАН України та Міжнародного інституту прикладного системного аналізу (*Єрмольєв Ю.М., Норкін В.І., Кнопов П.С.*, та ін. 1986 - 2014). Комплекс запропонованих методів дозволяє з найбільшою ефективністю оцінювати будь-які ризики в умовах невизначеності. Ці дослідження є вільними від згаданих методичних обмежень, і дозволяють отримувати будь-які оцінки ризиків. Проте ці роботи є переважно загальнометодичними і мають теоретичний характер. А тому їх використання вимагає істотної проблемної адаптації, в першу чергу, з точки зору застосування методів ДЗЗ для вивчення природних систем.

Велика робота з аналізу використання методів ДЗЗ для оцінки ризиків виконана в міжнародних організаціях (WMO, CEOS і GEOSS). Проте представлені там методики є швидше концепціями і загальними підходами, і не містять конкретних методів застосування і розрахунків ризиків для окремих процесів. Заслуговують також на окрему детальну увагу роботи за окремими напрямами оцінки ризиків за даними супутникових спостережень, що розвиваються в наукових лабораторіях космічних агенцій США і Європи (NOAA, NASA, USGS, ESA, 2000 - 2010). Зокрема, підходи до оцінки ризиків лісових пожеж, екстремальних опадів і повеней. Ці дослідження використано в окремих розділах роботи. Базуючись на комплексі усіх наведених вище досліджень та їх результатів, є можливим сконструювати методики використання даних ДЗЗ в комплексі методів оцінки ризиків.

Ідея роботи (рисунок 1) полягає в застосуванні моделей енергомасообміну та формування сигналу земних утворень для обґрунтування критеріїв та індикаторів НС, які дозволяють обрати оптимальні методики і алгоритми оцінки ризиків за даними ДЗЗ.

Розглядається задача мультимодального підходу в оцінюванні ризиків, або задача про використання моделей геосистем для вибору оптимального набору індикаторів дистанційного зондування в задачах оцінки ризиків.



а) б)

Рис.1. Ідея роботи: а) мультимодельний підхід до оцінювання ризиків надзвичайних ситуацій, б) оперування даними при застосуванні мультимодельного підходу в оцінюванні ризиків НС.

Набор початкових змінних, які містяться у векторі *x*, що складається з апріорних припущень, емпіричних значень або даних спостережень і вимірювань, за допомогою моделей перераховується в групу основних гідрологічних, біофізичних та кліматологічних рядів (при $F(x,\varepsilon,y)=0$, $(x,\varepsilon)\to y$), виражених вектором *y*. За допомогою інформації *(x, y)*, заповнюються значення параметрів, згрупованих в вектор супутникових моделей: $z=(z^1,z^2,...,z^s)$ (при $z^s=g^s(x,y)$, $(x,y)\to z^s$). Таким чином отримується комбінований вектор *(x,y,z)*, якій є базою для оцінювання соціально-економічних, соціо-екологічних параметрів, та показників ризиків (рис. 1.а).

В групі *S* супутникових моделей, позначених $s\in\{1,2,...,s\}$, кожне з рівнянь є таким, що ендогенні змінні можуть бути отримані в якості явного відображення основних змінних $z^s=g^s(x,y)$. Таким чином, супутникова модель буде представлена часовими рядами *(x,y,z)*, які будуть визначати поведінку z_t^s, із залишковим членом μ_t^s:

$$z_t^s=f(x_t,x_{t-1},...,x_{t-L},y_t,y_{t-1},...,y_{t-L},z_{t-T}^s,\mu_t^s)\,. \qquad (1)$$

Якщо z_t^s є єдиною змінною в лівій частині рівняння, співвідношення є односпрямованим: від *(x,y)* до *z*. Ця проста модель використання супутникових даних, яка базується на часових рядах, може бути використана без будь-якої взаємодії з іншими супутниковими змінними, або без будь-якого зворотного зв'язку між z_t^s і основними припущеннями щодо розподілів *(x, y)*.

Стандартні моделі, що базуються на часових рядах є розповсюдженим прикладом супутникових моделей. Численні стандартні методології дозволяють знайти найоптимальнішу модель отримання даних для кожної окремої метрики ризику Z_t, наприклад, можна запропонувати:

$$Z_t=c+\sum_{l=0}^{N}\beta_l X_{t-l}+\sum_{l=0}^{P}\rho_l Y_{t-l}+\sum_{l=1}^{L}\partial_l Z_{t-l}+\sum_{k=0}^{K}\theta_k\varepsilon_{t-k}\,, \qquad (2)$$

де Z_t - супутникова змінна, X_t - вектор-рядок початкових екзогенних основних змінних, Y_t - вектор-рядок наступного шару серії базових параметрів, ε_t - стохастична помилка. Параметри *c*, *β*, *ρ*, ∂ невідомі і мають бути оцінені. В залежності від метрики ризику Z_t та від типів додаткових змінних, можуть бути використані різні види цього рівняння.

Ключовим аспектом є вибір змінних, щоб визначити, які основні рушії пояснюють динамічну поведінку змінної досліджуваного соціо-екологічного ризику. Отже, основною задачею побудови

супутникової моделі є вибір змінних, спрямованих на визначення рушіїв досліджуваного соціо-екологічного ризику (рис. 1, б). Базований на сучасних принципах наук про Землю, пропонований підхід до відбору змінних базується на поєднанні екології, кліматології, гідрогеології, гідрології та геостатистики, тобто на статистичних властивостях даних, використаних у моделях. Процес розробки супутникової модель складається з вибору оптимальних екзогенні драйверів X_t, Y_t в рівнянні (2) з сукупності потенційних рушіїв на основі моделювання геосистем.

Отже, проблема полягає у розробці наборів моделей для відбору змінних для кожного типу моделі $(x,\varepsilon) \to y$, та винайдення відповідного виду формальної залежності між фізичної змінною та спостережуваним параметром $(x,y) \to z^s$, та загального розподілу для кожного типу досліджуваного ризику (2). Також окремо має бути розглянута задача регуляризації розподілів початкових змінних.

Після отримання розподілів параметрів, що визначають стан системи, потрібно оцінити розподіл ризику та прийняти управлінське рішення. Отримані набори індикаторів дозволяють використовувати методологію оцінки ризиків, засновану на оптимальних рішеннях.

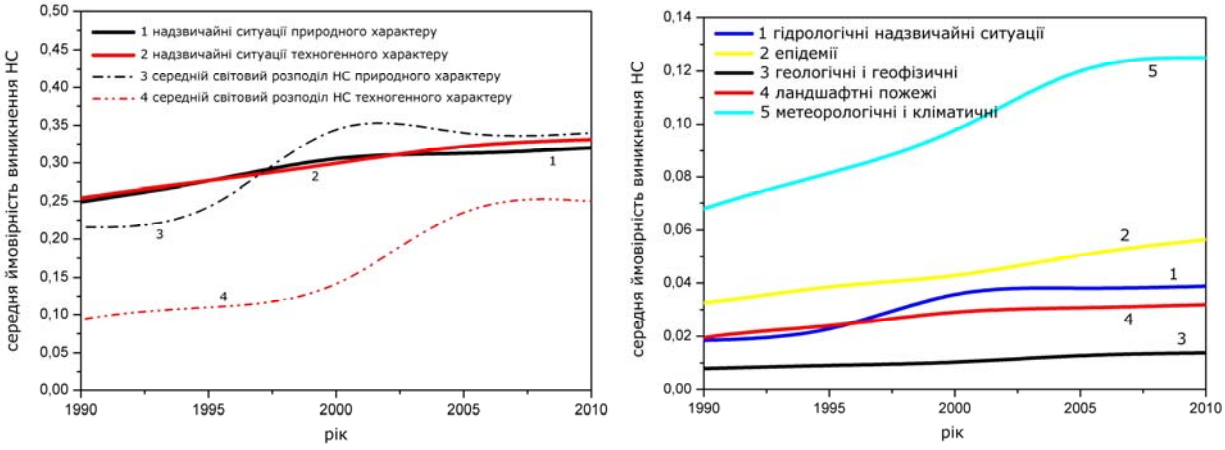
Роль і місце інтегрованих моделей енергомасообміну і даних ДЗЗ в задачах оцінки ризиків визначається в умовах формалізації «інформація – відгук». Таким чином, комплекс моделей і спостережень дозволяє оцінити розподіли ризиків відповідних надзвичайних ситуацій і, крім того закласти підґрунтя для побудови системи прийняття рішень в галузі управління небезпекою.

У розділі проаналізовано державні та міжнародні документи в галузі захисту населення і територій від надзвичайних ситуацій, обґрунтовано на цій основі доцільність застосування новітніх технологічних засобів та методів контролю, моніторингу та прогнозування стихійних лих, необхідність розробки довгострокових прогнозів виникнення та сценаріїв розвитку надзвичайних ситуацій, розробки методів довгострокової оцінки ризиків надзвичайних ситуацій.

Виходячи з проведеного аналізу, зроблено висновок, що наразі основними задачами, що вирішуються аналітиками в галузі вивчення надзвичайних ситуацій із застосуванням методів ДЗЗ та просторового аналізу є: детектування надзвичайної ситуації, пре- і пост-ситуативний моніторинг, короткострокові прогнози (зокрема, прогнозування опадів), а перспективними задачами є: системи завчасного попередження, аналіз тенденцій (в тому числі кліматичних) і довгострокове (від сезону до кількох років) прогнозування як складова системи прийняття рішень. При цьому особливої уваги потребують довгострокові стратегії управління безпекою и ризиками надзвичайних ситуацій.

Таким чином, відповідно до вимог мінімізації розбіжностей, пов’язаних з різнорідністю даних у національних та міжнародних вибірках, до статистичного аналізу були включені надзвичайні ситуації місцевого, регіонального та загальнодержавного рівнів за державною класифікацією, а саме: геологічні (і геофізичні), метеорологічні (і кліматичні), гідрологічні, пожежі (в природних екосистемах). Крім того, з порівняльною метою до загального аналізу було включено дані про інфекційну захворюваність людей. Цей перелік максимально відповідає вимогам як державної класифікації, так і міжнародно прийнятій класифікації надзвичайних ситуацій. При цьому моделювалися з метою прогнозування в рамках дослідження тільки гідрологічні, окремі метеорологічні та геологічні НС.

Проаналізовано дані щодо виникнення, перебігу та впливів надзвичайних ситуацій природного походження в світі, в Україні та сусідніх країнах за період з 1900 до 2010 року, особливу увагу приділено періодам 1960 – 2010 та 1990 – 2010 (рисунок 2). Визначено основні тенденції, зроблено висновки щодо ескалації різних типів природних надзвичайних ситуацій.



а) б)

Рис. 2 Кількість надзвичайних ситуацій у період 1990 – 2010 рр.: а) розподіл природних і техногенних НС; б) природні НС різних типів

За результатами аналізу 10833 зареєстрованих випадків надзвичайних ситуацій природного походження у світі протягом періоду 1900 – 2010 рр., було визначено, що у останні десять років їхня кількість зросла у 1,2 рази порівняно з 1991 – 2000, у 1,97 разів в порівнянні з 1981 – 1990, у 3,7 разів – з 1971 – 1980 рр., у 9,35 разів по відношенню до середнього показнику протягом 1941 – 1970 рр., та у 30,84 рази по відношенню до 1900 – 1940 рр. При цьому спостерігається також ескалація людських і економічних втрат.

В Україні за період з 1990 по 2010 рр. було проаналізовано 864 випадки, які і було детально розглянуто сумісно з даними про надзвичайні ситуації на території прилеглих країн: Білорусі, Болгарії, Молдови, Польщі, Росії (Європейська частина), Румунії, Словаччини, Угорщини та Чехії, яких за період, що розглядається було зафіксовано міжнародними спостерігачами 246. Статистичний аналіз дозволив виявити тенденції зростання кількості надзвичайних ситуацій в Україні в 1,45 рази (з урахуванням епідемій в 1,95 рази) за період 1990 – 2010 рр., а також виявити найбільш небезпечні ситуації за основними показниками впливу.

Для аналізу розподілів надзвичайних ситуацій та їхніх впливів, було запропоновано авторський підхід до статистичного аналізу даних спостережень, що дозволяє отримувати регуляризовані розподіли в одиницях, інваріантних щодо характеру даних. Підхід базується на використанні двоетапної регуляризації даних. На першому етапі визначаються розподіли досліджуваних характеристик по всій території $\boldsymbol{x}_t^{(x,y)}$ відносно достовірно відомих розподілів $\boldsymbol{x}^m{}_t$:

$$x_t^{(x,y)} = \sum_{m=1}^{n} w_{x,y}(\tilde{x}_t^m) x_t^m \ , \qquad (3)$$

де $w_{x,y}(\tilde{x}_t^m)$ - ваговий коефіцієнт, який визначається через пошук мінімуму: $\min\{\sum_{m=1}^{n}\sum_{x_t^m \in R^m} w_{x,y}(\tilde{x}_t^m)(1-\frac{x_t^m}{\tilde{x}_t^m})^2\}$. В цьому рівнянні m - кількість записів, відносно спостережень на яких наявні записи; n - кількість серій спостережень, тобто джерел даних; $\boldsymbol{x}^m{}_t$ - розподіл результатів спостережень; R^m - загальна сукупність даних спостережень; $\tilde{x}_t^m$ - середній розподіл значень вимірюваних характеристик. Таким чином ми отримуємо регулярний просторовий розподіл вимірюваних характеристик по території дослідження.

Подальша регуляризація враховує як нелінійність часового розподілу даних спостережень (зумовленого недосконалістю наявної статистики), так і особливості просторово-часової гетерогенності даних, що зумовлені складним системним характером досліджуваного явища. Було

використано модифікований метод згладжувальної нелінійної кернель-функції, що базується на кернелівському методі аналізу головних компонент (KPCA - Kernel Principal Component Analysis). В рамках цього підходу регуляризація нелінійних розподілів відбувається відповідно до:

$$x_i = \sum_{i=1}^{N} \alpha_i^k \widetilde{k}_t(x_i, x_t)\,. \qquad (4)$$

Тут коефіцієнти α обираються через оцінки оптимального балансу функції взаємної валідації та матриці коваріації: $C^F v = \frac{1}{N}\sum_{j=1}^{N}\Phi(x_j)\Phi(x_j)^T \cdot \sum_{i=1}^{N}\alpha_i\Phi(x_i)$, де нелінійна функція розподілу вхідних даних Φ задовольняє умовам: $\sum_{k=1}^{N}\Phi(x_k) = 0$, а $\widetilde{k}_t$ - осереднені значення кернель – матриці $\mathbf{K} \in R^N$ (де $[\mathbf{K}]_{ij} = [k(\mathbf{x}_i, \mathbf{x}_j)]$). Ця матриця складається із кернель – векторів $\mathbf{k_t} \in R^N$; при цьому $[\mathbf{k_i}]_j = [k_t(\mathbf{x_t}, \mathbf{x_j})]$. Кернель - матриця розраховується відповідно до модифікованого правила: $\mathbf{k}_t(\mathbf{x}_i, \mathbf{x}_t) = \left\langle \rho_{j,t}^{x_j}(1-\rho_{j,i})^{x_j} \right\rangle$, де ρ – емпіричні параметри, які обираються відповідно до моделі класифікації досліджуваних явищ. Використовуючи приведений алгоритм отримується регуляризований просторово-часовий розподіл характеристик досліджуваних параметрів по всьому періоду спостережень із згладженими показниками достовірності.

Це дозволяє аналізувати одночасно різні типи надзвичайних ситуацій, незалежно від їхнього походження і незважаючи на різні часові і просторові масштаби, притаманні рушійним силам та процесам, що генерують небезпеку. У подальшому отримані розподіли були проаналізовані як багатовимірні мультиваріативні статистичні розподіли. В першу чергу цікавим є розподіл прямих втрат від надзвичайних ситуацій природного походження в Україні, світі і Європі, розрахований в доларах США на квадратний км території (рис. 3).

Наведений розподіл демонструє зростання прямих втрат, що пов’язане із зростанням кількості і інтенсивності надзвичайних ситуацій, а також із зростанням вартості постраждалої інфраструктури. З точки зору оцінки ризиків і врахування економічних показників, автором було запропоновано і розглянуто додаткові відносні індекси (рис.4).

Індекс збитків розраховується за формулою: $(IoD)_i = \left\langle L_{d_n} \right\rangle_i \Big/ (pCGDP)_i$, де i – розрахунковий час (в нашому випадку – рік); $<L_{dn}>$ - прямі оцінювані втрати від надзвичайної ситуації d визначеного типу n; $pCGDP$ – ВВП на душу населення. Наведений розподіл показує, що збитки від НС природного походження (розраховані на 1000 км^2) в період з 1990 року у світі мають слабку тенденцію до збільшення, що скоріше за все пов’язано із впливом кліматичних змін, хоча загальна тенденція як у світі, так і в Європі демонструє зменшення індексу збитків, що свідчить про економічне зростання та успішне управління ризиками надзвичайних ситуацій. При цьому на території України індекс збитків з другої половини 80-их років і особливо з середини 90-их зростає. Це пов’язане із погіршенням економічної ситуації та відсутністю системних стратегій управління ризиками. Безрозмірний індекс вразливості розрахований за формулою: $(IoV)_i = \left\langle L_{d_n} \right\rangle_i \Big/ (pCGDP)_i (P_S)_i$, де i – розрахунковий час (в нашому випадку – рік); $<L_{dn}>$ - прямі оцінювані втрати від надзвичайної ситуації d визначеного типу n; $pCGDP$ – ВВП на душу населення; P_S - щільність населення (на площі S).

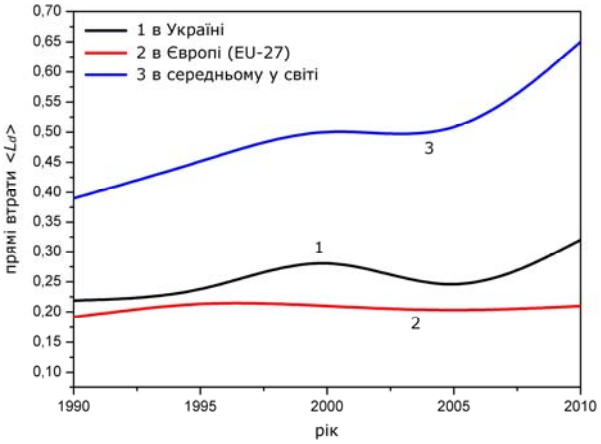
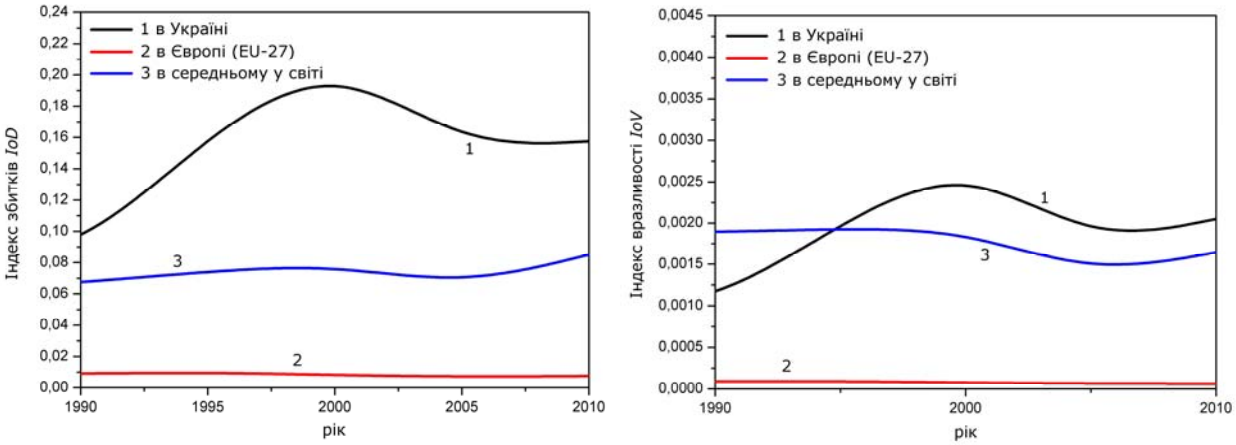


Рис. 3 Прямі втрати від надзвичайних ситуацій природного походження в Україні, світі і Європі (EU-27[1]), розрахований в доларах США.

Наведений розподіл відображає той факт, що економічне зростання та впровадження вдалих стратегій управління ризиками дозволяє ефективно зменшувати вразливість суспільства по відношенню до НС, навіть при сталій тенденції зростання їхньої частоти, інтенсивності і прямих збитків. Розподіл індексу вразливості для нашої держави свідчить про необхідність впровадження системних стратегій управління ризиками.

На основі аналізу даних спостережень (статистики надзвичайних ситуацій різних типів) в даному розділі запропоновано метод статистичного аналізу даних спостережень з різних джерел, що вперше дозволяє отримувати розподіли в одиницях, інваріантних відносно типів даних. Таким чином, ми отримуємо можливість визначати інтегровані параметри ризику і безпеки.



а) б)

Рис.4. Відносні індекси: а) Індекс збитків: б) Індекс вразливості

Запропонований аналіз наявних даних дозволив дійти кількох висновків. По перше, кількість надзвичайних ситуацій природного характеру різних типів як в середньому у світі, так в окремих регіонах протягом останніх років зростає. Середня ймовірність виникнення НС природного характеру будь-якого типу в перерахунку на одиницю площі на рік зросла за останні 60 років в 2 рази, а за останні 20 років - приблизно на 60%. В два рази зросли середні світові збитки, при цьому на 70% за останні 20 років. В Україні за останні 20 років збитки зросли приблизно на 68%, а всього за період спостережень в 2,1. Тобто інтенсивність впливів надзвичайних ситуацій також зростає і ця загальносвітова тенденція відображається також і на території України.

Також в рамках цього розділу проаналізовано загальні засади визначення небезпеки надзвичайних ситуацій та запропоновано використовувати інтегральне поняття ризику як ймовірності реалізації комбінованого ефекту впливу природних та антропогенних чинників, що створюють передумови для виникнення надзвичайних ситуацій, реалізація яких носить імовірнісний характер, або як ймовірність

[1] EU-27: Австрія, Бельгія, Болгарія, Великобританія, Греція, Данія, Естонія, Ірландія, Іспанія, Італія, Кіпр, Латвія, Литва, Люксембург, Мальта, Нідерланди, Німеччина, Польща, Португалія, Румунія, Словаччина, Словенія, Угорщина, Фінляндія, Франція, Чехія, Швеція

настання негативних наслідків ймовірнісної події, що розвивається в певному середовищі за умов, які характеризуються різнорідними невизначеностями.

Розділ 2. Моделі водообміну в геосистемах та індикатори екстремальних гідрогеологічних процесів. В цьому розділі розглядається питання впливу процесів в системі «атмосфера – літосфера» на формування параметрів гідрологічної та гідрогеологічної безпеки територій, розробляються відповідні моделі.

В **підрозділі 2.1** для прогнозу поведінки системи оглянуто процеси формування інтегрального поверхневого стоку. Визначення характеристик небезпеки виникнення надзвичайних гідрологічних та гідрогеологічних ситуацій базується на класичній системній моделі русла, водозбірного басейну із змінною областю живлення і руслового стоку в класичному представленні:

Модель водозбірного басейну із змінною областю живлення може бути представлена у загальному вигляді як (*Anderson*, 1978):

$$q(t) = \left[A_1(t) k \frac{dH}{dx} \right] + \left[A_2(t) \cdot R(t) \right] + \left[A_3 P(t) \right], \qquad (5)$$

де $A_1(t)$ –площа області повного насичення в межах басейну; A_2 – площа горизонтальної проекції області повного насичення в межах басейну; A_3 – непроникна для води площа; $R(t)$ – інтенсивність опадів / сніготанення; k – коефіцієнт фільтрації при повному насиченні; H – гідравлічний напір.

Таке представлення дозволяє коректно поставити задачу прогнозування небезпечних природних явищ, зокрема повеней як задачу визначення характеристик басейного водозбору. Для уточнення представлених рівнянь було розглянуто окремі процеси, наприклад, схиловий стік. За відсутністю на схилі зон підпору в умовах мінімального впливу інерційних сил можна використати рівняння кінематичної хвилі для опису поверхневого дощового стоку одиничної ширини малого нахилу.

Крім того, в контексті формування руслового стоку було розглянуто модель підповерхневого стоку по відносній водотривкій поверхні.

Таким чином, задача зводиться до визначення параметрів надходження (та витрат) води до басейну та параметрів самого басейну (рельєф місцевості, розташування об’єктів інфраструктури та населення, тощо), що дозволить оцінити ризики затоплення та визначити методики зменшення збитків. Однак, саме коректний розрахунок параметрів надходження та витрат води по площі басейну є найбільш невизначеним. Це потребує розробки моделей відповідних змінних.

У **підрозділі 2.2** окремо розглянуто процеси інфільтрації опадів в ґрунти і формування режиму вологості ґрунтів.

Описано загальний підхід, в якому визначається гідравлічний градієнт через гідравлічний потенціал, коефіцієнт фільтрації ґрунтів, вологопровідність та вологість ґрунту:

Виходячи з проведеного аналізу було зроблено висновок, що вологість ґрунтів є одним з ключових параметрів, що визначає особливості руху води, тобто є фактором формування небезпеки природних НС. Було запропоновано модель радіаційного балансу зволожених ділянок ґрунтів: інформаційні ознаки ДЗЗ при визначенні стану гідрологічної безпеки територій. Базуючись на загальному рівнянні балансу радіації зволожених ділянок, запропоновано:

$$\frac{d^2\psi(z)}{dz^2} + [\varepsilon(z)k^2 - (k\sin\varphi))^2]\psi(z) = 0\,, \qquad (6)$$

де φ – кут огляду/опромінення ділянки; k - хвильове число ($k=2\pi\lambda$); z - глибина під поверхнею, а вміст вологи, якій визначається багатовимірним гідравлічним потенціалом $\psi(\theta)$ та комплексною діелектричною константою $\varepsilon(z)$, було запропоновано рівняння для температури яскравості:

$$T_B = (1 - R_V)T_{Sur} = [1 - \gamma^2 R_0 \exp(-4\gamma^2 k^2 \cos^2 \varphi)]T_{Sur}. \quad (7)$$

Тут T_{Sur} – температура яскравості поверхні. Отже запропоновано рівняння для змінної, контроль якої дозволяє оцінювати вологість ґрунтів дистанційними засобами.

Наведені рівняння описують загальний розподіл характеристик відбиття зволожених ділянок ґрунтів в різних діапазонах спектру, та визначати найбільш інформативні. Виходячи із модельного опису, очевидно, що для аналізу зволоженості ґрунтів оптимальними є спостереження в сантиметровому радіодіапазоні (L і S діапазони, довжина хвилі 15 – 30 см та 7 – 15 см відповідно), мікрохвильовому діапазоні (довжина хвилі від 2,7 мм до 2,5 см), а також оптичних діапазонах 1200 – 1700 нм, 800 – 900 нм. При цьому для врахування впливів рослинного покриву необхідно долучати дані спостережень в оптичних діапазонах 500 – 700 нм і 800 – 900 нм.

У **підрозділі 2.3** запропоновано підхід до оцінки випаровування через ґрунтовий покрив, вкритий рослинністю за даними ДЗЗ. Розглянуто окрему задачу, коли ґрунт частково (або повністю) вкритий рослинністю. В цьому випадку ключову роль буде відігравати рослинний покрив, але роль випаровування через ґрунт має бути кількісно оцінена. Тут вираз для оцінки частки випаровування через ґрунт, вкритий рослинністю, можна представити (за *Chen*, 1996):

$$E_p = ET \cdot e^{-k} LAI. \quad (8)$$

Розподіл значення спектрального індексу *LAI* (Leaf Area Index – індекс листяної поверхні) в залежності від загального показника відбиття досліджуваної ділянки для різних типів земних покровів басейну р. Прип'ять наведено на рисунку 5.

Наведений розподіл, якщо його аналізувати за однакових показників відбиття, показує, що внесок ґрунтового покриву в загальну величину індексу *LAI* складає в середньому від 28% (у випадку сухих ґрунтів) до 15% (при наявності переважно вологих ґрунтів). Максимальних значень внесок ґрунтового покриву досягає (у випадках сухого ґрунту, слабо вкритого рослинністю) –51%, а мінімальних (при вологих ґрунтах, щільно перекритих рослинним покривом) – 12%. В природних умовах України, зокрема в Українському Поліссі, внесок ґрунтового покриву в значення індексу *LAI* можна в середньому оцінити на рівні 12 – 16%.

Окремо слід відзначити можливість дослідження кореляційного зв'язку між індексами *LAI*, *SAVI* та *NDVI*, яку можна встановити шляхом статистичного аналізу даних спостережень. Було проаналізовано 12 супутникових знімків району басейну р. Прип'ять сенсорів TM та ETM супутника Landsat. На підставі даних про розподіли вегетаційних індексів, було отримано залежності наступного вигляду:

$$NDVI = 0{,}565 + 0{,}0622LAI, \; R=0{,}68, \quad (9)$$

$$SAVI = 0{,}242 + 0{,}0721LAI, \; R=0{,}85. \quad (10)$$

Використовуючи отримані залежності можна спростити розрахунки водного балансу територій, вкритих рослинністю, застосовуючи вегетаційний індекс *NDVI* та редукований на ґрунтовий покрив вегетаційний індекс *SAVI* у відповідних рівняннях.

Так ми отримуємо можливість визначати частину випаровування через ґрунтовий покрив, вкритий рослинністю. Це важливо для задачі оцінки випаровування через рослинний покрив, тобто ролі рослинного покриву у водному балансі поверхні.

У **підрозділі 2.4** запропоновано підхід та проведене моделювання впливу рослинного покриву на формування басейнового водозбору та гідрологічного режиму територій.

Для розрахунків величини випаровування було розглянуто середньодобову евапотранспірацію в точці, що знаходиться вище рослинного покриву, тобто з поверхні евапотранспірації, для чого було використано комбіноване рівняння Монтейта у формі:

$$F_v = \{\frac{[f(A)+1]\{R_n - G]\Delta}{[\sigma f(A)+1]C_p\rho} + [f(A)+1]\frac{\rho_2^* - \rho_2}{r_a}\} \times \{\frac{r_a + r_x}{r_a} + \frac{[f(A)+1]L_v\Delta}{[\sigma f(A)+1]C_p\rho}\}^{-1}. \quad (11)$$

Тут Δ - похідна тиску пари в умовах повного насичення по температурі за добу (в гр./см^{3}К); C_p – питома теплота повітря при постійному тиску (кал/гК); L_v – “скрита” теплота перетворення води у пару (кал/г); σ- відношення площі конвекції к площі евапотранспірації; r_a – опір з боку атмосфери руху пари з поверхні рослинного покриву (с·см$^{-1}$); R_n – кількість сонячного тепла, що потрапляє на поверхню евапотранспірації за певний проміжок часу (г·кал/см$^{-2}$); G – кількість енергії, що виходить з рослинного покриву в ґрунт за певний час (г·кал/см$^{-2}$); r_x – опір з боку поверхні евапотранспірації виходу водяної пари (с/см^2); ρ - щільність повітря розрахована за середніх значень тиску і фактичної вологості (г/см^3); ρ_2* - щільність пари в умовах повного насичення при відповідній середньодобовій температурі (г/см^3); ρ_2 – фактична щільність пари в атмосфері над рослинним покривом (г/см^3); f(A) – ефективна площа рослинного покриву.

В якості методу отримання оцінок за запропонованим підходом, було запропоновано метод оцінювання параметрів випаровування через рослинний покрив за даними супутникових спостережень. В цьому методі денну оцінку випаровування *ET* в мм/день представлено за допомогою виразу: $ET = K_c C_M (\frac{\Delta}{\Delta+\gamma})(\frac{R_s}{\rho_w \lambda})$, де R_s - денне сонячне опромінення ділянки (МгДж/день), яке може бути отримане за допомогою супутникових засобів спостереження (зокрема, продуктів MODIS); γ – психрометрична константа (КПа/К); Δ – зміна насичення водяної пари (КПа/К); λ – «приховане» (латентне) тепло від випаровування (МгДж/кг); ρ_w – щільність води (кг/м^3); C_M – регіональний коефіцієнт поглинання сонячного випромінювання; K_c – коефіцієнт рослинного покриву, що відображає вплив типу рослинного покриву, стану крони, періоду вегетації на інтенсивність процесів випаровування.

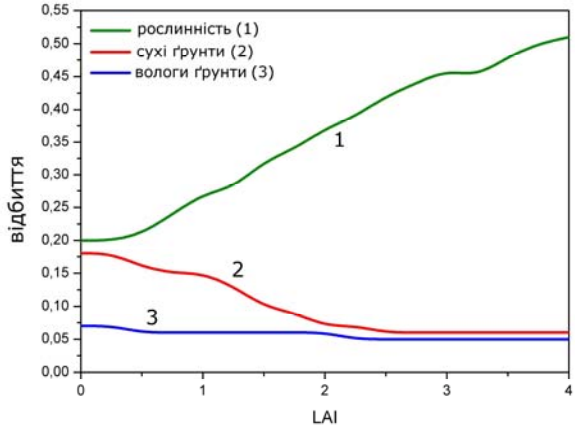


Рис.5. Розподіл значень індексу *LAI* в залежності від загального показника відбиття досліджуваної ділянки для різних типів земних покровів: рослинності, сухих (< 65%) та вологих ґрунтів (> 75%)

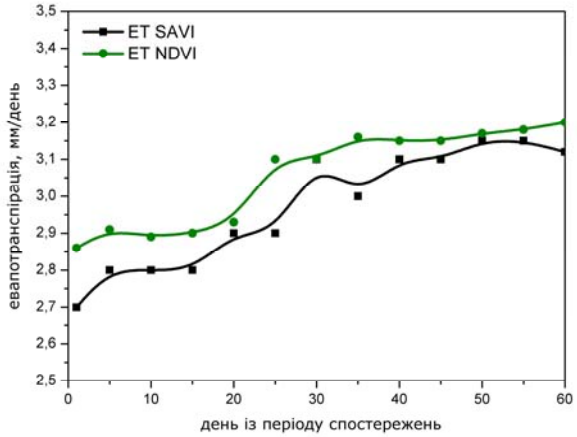


Рис.6. Розрахунок середньодобових показників евапотранспірації для періоду червень – липень 2000р. за даними сенсору Landsat ETM для Українського Полісся, басейну р.Прип’яті

Коефіцієнт рослинного покриву може бути оцінений за даними спостереження засобами ДЗЗ спектральних ознак рослинності. Зважаючи на відомий характер залежностей спектральних особливостей рослинного покриву від періоду вегетації, можна запропонувати регресійну модель оцінки цього коефіцієнту, де спектральні ознаки, отримувані за допомогою даних ДЗЗ матимуть значення квазі-гаусової міри ймовірнісної множини даних спостережень. Тобто ми матимемо

негативну екпоненційну модель з трьома параметрами регресії, яка приводить дані спостережень спектральних індексів *SRI* та оцінюваних коефіцієнтів K_c:

$$K_c = a(1 - e^{-bSRI}) + c\,. \qquad (12)$$

Тут *SRI* – спектральний індекс, що використовується для дослідження рослинного покриву (*NDVI*, *EVI*, *SAVI*, *ARVI*, тощо); K_c – оцінюваний коефіцієнт рослинного покриву; *a*, *b*, *c* - коефіцієнти регресії. Оцінка значень цих параметрів наведена в Таблиці 1.

Таблиця 1

Значення коефіцієнтів регресії спектральних індексів в рівнянні коефіцієнту рослинного покриву для умов Північно-Західної частини України (басейн р. Прип'ять)

спектральний індекс	коефіцієнти регресії		
	a	*b*	*c*
NDVI	5,94 ± 0,045	8,51 ± 0,046	-4,92 ± 0,051
ARVI	5,27 ± 0,044	7,82 ± 0,043	-4,21 ± 0,048
EVI	6,21 ± 0,041	8,17 ± 0,042	-4,73 ± 0,042
SAVI	6,39 ± 0,05	9,31 ± 0,04	-5,25 ± 0,04

За допомогою наведених залежностей можна оцінити показники евапотранспірації за даними ДЗЗ з використанням спектральних індексів. Це було зроблено для регіону Українського Полісся, басейну р. Прип'яті, для періоду червень – липень 2000 р. Результати розрахунку середньодобової евапотранспірації показано на рисунку 6.

Показники випаровування через рослинний покрив, оцінені за індексом *NDVI* є дещо вищими (на 5 – 14%), що пояснюється неврахуванням впливу ґрунтового покриву, зокрема, процесів ґрунтового дихання рослин. Використання індексу *SAVI* дозволяють зменшити похибки і, таким чином, отримати більш точні оцінки евапотранспірації. Наведені дані серед іншого свідчать, що коректніше використовувати індекс *SAVI* як такий, що має менші похибки при визначенні коефіцієнтів рослинного покриву за запропонованими регресійними рівняннями.

Таким чином ми отримуємо інструмент, якій базується на використанні даних ДЗЗ, для швидкої оцінки частини втрат води на випаровування через рослинний покрив.

Крім того, запропоновано загальну модель, яка описує можливості використання даних ДЗЗ для аналізу теплового і водного режиму територій в задачах контролю гідролого-гідрогеологічної безпеки. Модель базується на інтегральному рівнянні випромінювання поверхні:

$$R_n(T_{aero}, \mathbf{P}, \mathbf{W}) = H(T_{aero}, \mathbf{P}, \mathbf{W}) + LH(T_{aero}, \mathbf{P}, \mathbf{W}, \mathbf{\Theta}) + G(T_{aero}, \mathbf{P}, \mathbf{W}, \mathbf{T}, \mathbf{\Theta})\,, \qquad (13)$$

де T_{aero} – аеродинамічна температура поверхні, *LH* - скрита теплота (залишок теплової енергії, що надійшла з випромінюванням, після поглинання рослинним покривом та ґрунтом); параметричні описи параметрів ґрунтів та рослинності (**P**), кількості опадів та сонячної радіації (**W**), поточного теплового (**T**) та гідрологічного (**Θ**) станів поверхні. При цьому було запропоновано рівняння для опису варіацій термальних і гідрологічних умов ділянок поверхні. Виходячи із наведеного загального опису та з урахуванням процесів випаровування з поверхні і евапотранспірації, було запропоновано рівняння для опису енергетичного потоку з ділянки поверхні у вигляді: $g_T = f_v g_v + f_s g_s$ де f_v та f_s частини досліджуваної ділянки, що переважно вкриті рослинністю, або переважно представлені оголеними ґрунтами. В найбільш загальному випадку, коли відсутня будь-яка наземна інформація про розподіл гідрогеологічних та геоморфологічних характеристик досліджуваної ділянки можна вважати, що $f_s = (1 - f_v)$ (*Choudhury*, 1994). Для більш коректного розрахунку f_v та f_s, було запропоновано використати дані ДЗЗ:

$$f_v = 1 - (\frac{NDVI - NDVI_{\min}}{NDVI_{\max} - NDVI_{\min}})^p , \quad (14)$$

$$f_s = g \cdot (\frac{NDWI - NDWI_{\min}}{NDWI_{\max} - NDWI_{\min}})^q . \quad (15)$$

Тут максимальні та мінімальні значення нормалізованого вегетаційного індексу *NDVI* та нормалізованого водного індексу *NDWI* розраховуються відповідно до стандартного алгоритму, в межах визначеного інтервалу спостережень, а *g, p, q* – емпіричні коефіцієнти.

Таким чином, задача контролю гідрологічних та гідрогеологічних ризиків (зокрема, підтоплення та заболочування) за допомогою дистанційних методів моніторингу може бути зведеною до визначення методики аналізу набору індикаторів стану поверхні, що відповідають змінним наведених рівнянь і, таким чином забезпечують контроль змін показників реакції локальних екосистем на зміни водного балансу по визначеним типам земних покровів, відповідно до попередньо проведеної проблемно-орієнтованої класифікації земних покровів досліджуваної ділянки.

У **підрозділі 2.4** розглянуто роль моделі формування паводкової небезпеки, зокрема, роль снігового покриву у формуванні басейнового водозбору.

Розроблено та проблемно адаптовано чотирикомпонентну модель снігового покриву, яка включає воду, водяну пару, повітря та частки льоду. Модель описує енергетичний баланс снігового покриву, що включає загальну радіацію, турбулентний перенос, тепло, що надходить з дощовими опадами та тепло, що надходить із підстилаючої породи конвективним шляхом. Отримано рівняння для потоків випромінювання, що дозволило отримати проблемно – орієнтовані оцінки спектральних характеристик снігового покриву.

Як слідує із аналізу отриманих даних, процес танення знижує коефіцієнт відбиття в будь-якій частині спектру, однак подальше замерзання не збільшує його знову (що пов’язано із збільшенням розмірів зерен, а не з присутністю води в покриві).

Також розроблено моделі танення снігу для басейнів водозбору, що дозволяють відновити різні гідрологічні параметри через вирішення окремих рівнянь: процеси танення снігу і міграцію води через сніговий покрив. Було розглянуто моделі двох типів: температурного коефіцієнту та енергетичного балансу. Було визначено масиви даних, необхідних для аналізу параметрів снігового покриву та параметрів сніготанення. Таким чином було визначено параметри, що описують вплив снігового покриву і процесів танення снігу на формування басейнового водозбору і визначення паводкового потенціалу територій.

За результатами модельного розгляду було запропоновано підхід до оцінки параметрів танення снігу для басейнів водозбору за даними ДЗЗ. Підхід базується на можливості визначати динамічну щільність снігового покриву протягом інтервалу спостережень як стохастичну величину:

$$\rho_{snow} = \frac{\sum_i (\rho_i \Delta z_i + \rho_0 \Delta z_0)}{\Delta z_{snow}} , \quad (16)$$

де ρ_i, Δz_i, - щільність та потужність снігового покриву, зафіксовані за період спостереження i; ρ_0 , Δz_0 - щільність та потужність снігового покриву на початку періоду спостережень. При цьому протягом інтервалу спостережень i динаміка щільності визначається комплексом метеорологічних показників: $\rho_i = \rho_i^{\min} + \kappa \frac{1 - Q_p}{f_l^{\max}}$. Тут ρ_i^{min} – початковий рівень опадів; κ – емпіричний коефіцієнт; Q_p - тепловий функціонал опадів, що залежить від температури, атмосферного тиску і вологості повітря; f_l^{max} - максимальний вміст води в опадах (при прогнозних розрахунках приймається на рівні 0,5).

Водний еквівалент накопиченого снігу W_{ij} також має оцінюватися з урахуванням поточних і прогнозованих метеорологічних умов, а також з урахуванням просторової неоднорідності розподілу снігового покриву як: $W_{ij} = \frac{\rho_w H_s}{c_s} \sum_{ij} \frac{d_{ij}^{cc}}{(0^0 C - T_{ij}^s)}$, де ρ_w – щільність води; T^s_{ij} – температура снігового покриву; H_s – латентна теплота снігового покриву (приймається 80 кал/грам); c_s – теплопровідність снігу (в середньому приймається 0,5 кал/грам ^{0}C); d^{cc}_{ij} – потужність твердої складової покриву. А для розрахунку водозбору з усієї території можна використати інтегральну форму рівняння для водного еквіваленту:

$$W_{tot} = [\frac{1 - A_0}{A_i - A_0}(W_i - W_0)] + W_0 . \quad (17)$$

В цьому рівнянні W_{tot} - загальний вміст вологи в сніговому покриві (водний еквівалент снігового покриву); W_0 - водний еквівалент снігового покриву на початку процесу танення; W_i - водний еквівалент снігового покриву в момент спостереження i; A_0 - площа снігового покриву на початку сніготанення; A_i - поточна площа снігового покриву (в момент спостереження i). Таким чином ми отримуємо стохастичний алгоритм для оцінки параметрів снігового покриву за даними спостережень, в тому числі ДЗЗ.

Зважаючи на отримані моделі радіаційного балансу снігу, моделі танення та обміну речовини, а також використовуючи зафіксовані відмінності в розподілах спектральних характеристик різних типів снігового покриву, було визначено вигляд індикатору ДЗЗ для контролю розповсюдження снігового покриву та аналізу його стану (нормалізований індекс снігового покриву):

$$NDSI = \frac{R_{[0,55-0,65]} - R_{[0,75-0,85]}}{R_{[0,55-0,65]} + R_{[0,75-0,85]}} \approx \frac{R_{VIS} - R_{NIR}}{R_{VIS} + R_{NIR}}, \quad (18)$$

де R – відбиття у визначеній частині спектру.

За даними наземних завіркових робіт, було визначено граничний показник індексу *NDSI*, якій відповідає наявності снігового покриву: для відкритих ділянок він складає 0,32 – 0,36, а для ділянок вкритих щільною рослинністю 0,28 – 0,31. Тоді якщо піксел x_{ij} характеризується значення індексу $NDSI \geq 0,3$, ми відносимо його до області A_i яка вкрита снігом з максимальною достовірністю. Співвідношення значення *NDSI* та потужності снігового покриву, необхідне для визначення водного еквіваленту, можна визначити із калібрувальних вимірювань на локальному рівні.

Таким чином, до комплексу індикаторів мікрохвильового та інфрачервоного діапазону в задачах інтегральної оцінки снігового покриву методами ДЗЗ вводиться оптичний індекс з метою визначення параметрів снігового покриву (що визначають розподіл змінних відповідних моделей енергомасообміну в задачах оцінки гідрологічної безпеки територій).

В цьому розділі показано шляхи використання феноменологічних моделей енергомасообміну в природних системах, спрямованих на визначення параметрів ключових процесів, що впливають на водообмін територій для визначення інформаційних ознак розвитку небезпечних явищ гідрологічного та гідрогеологічного характеру з використанням даних ДЗЗ.

Розділ 3. Методи просторового моделювання даних в задачах оцінювання загроз та ризиків, індукованих довгостроковими змінами довкілля. В цьому розділі проаналізовано можливість врахування впливу кліматичних процесів на формування параметрів гідрологічної та гідрологічної безпеки територій.

В **підрозділі 3.1** проаналізовано результати застосування довгострокових моделей для визначення тенденцій та оцінок наслідків екологічних і кліматичних змін, що можуть бути використаними в подальших розрахунках.

У **підрозділі 3.2** наведено загальні засади оцінок небезпек, пов'язаних з довготерміновими змінами клімату та довкілля.

Зокрема, відповідно до визначених прогнозів відокремлено прогнозовані несприятливі наслідки, а також прогнозовані позитивні наслідки кліматичних змін.

Таблиця 2

Перелік найбільш відомих моделей кліматичної системи, використаних в роботі

Модель	**Розробник**	**Глибина моделювання**
CSIRO	Об'єднана наукова та промислова організація, Австралія	2030, 2050, 2080
CGCM2	Канадський центр кліматичного моделювання та аналізу, Канада	2030, 2050, 2080
NCAR CSM 1.4	Національний центр атмосферних досліджень, США	2050, 2080, 2100
ECHAM4	Метеорологічний інститут Макса Планка, ФРН	2050, 2080
HADCM3	Центр Хедлі прогнозування та досліджень клімату, Великобританія	2050, 2080, 2100

Зазначено, що відповідно до більшості моделей, зокрема, IPCC, Світового Банку, IIASA, прогнозується, що людство зазнає посиленого впливу екстремальних природних кліматичних явищ, таких, як посухи, повені, хвилі тепла, снігові й вітрові шторми. Особливо втрати (економічні та людські) зростатимуть через поєднання демографічного і економічного факторів на територіях, які в першу чергу зазнають посиленого впливу катастрофічних природних явищ. Таким чином прогнозується зростання рівня небезпеки.

В **підрозділі 3.3** розглянуто методи нелінійної просторово-часової регуляризації даних для аналізу даних наземних, зокрема, метеорологічних спостережень.

Задача регуляризації множин наземних спостережень є важливою, бо зазвичай при моделюванні небезпечних явищ необхідно мати значення таких параметрів як температура, кількість опадів тощо в будь-якій точці ділянки, а наявна інформація забезпечує лише дані про спостереження у визначений час в точках с фіксованими координатами (на метеостанціях). Задача перерахунку точкових вимірів у просторово розподілені неперервні у часі може бути вирішена різними шляхами. На даний час найбільш вживаним для моделей клімату, в тому числі на регіональному рівні, є метод ре-аналізу даних метеорологічних спостережень, Національного центру досліджень атмосфери США NCEP/NCAR у версіях NCEP/NCAR-RM, що використовує фільтрацію Калмана. Запропонований алгоритм, що базується на модифікованому алгоритмі KPCA, дозволив отримати більш достовірні регіональні розподіли, ніж алгоритм NCEP/NCAR на масштабах до 200 км (рисунок 7).

Запропонований алгоритм надає змогу отримувати важливі результати, які можуть бути використані для моделювання локальних і регіональних особливостей розвитку екосистем, прогнозування регіональних кліматичних змін та ризиків надзвичайних ситуацій.

У **підрозділі 3.4** проведено аналіз рушійних сил надзвичайних ситуацій шляхом проблемно-орієнтованої просторово-часової регуляризації даних. На його основі зроблено оцінку ймовірності проявів екстремальних кліматичних явищ за результатами аналізу даних метеорологічних спостережень. Було запропоновано метод визначення явної форми співвідношення, яке дозволяє оцінювати розподіли екстремальних показників кліматичних параметрів по відношенню до відомих середніх значень.

Було отримано найбільш ймовірні розподіли екстремальних показників сезонних температур по відношенню до зміни середньорічної температури. Виходячи із отриманих розподілів, можна визначити інтервал, в якому з максимальною ймовірністю знаходяться значення регіональних показників максимальної і мінімальної температури при змінах середніх показників (рисунок 8).

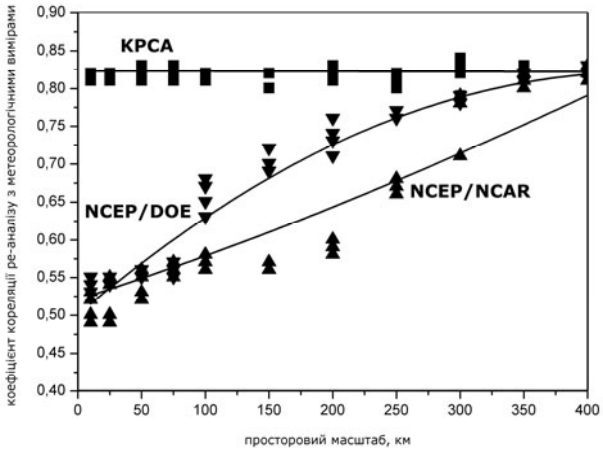


Рис. 7. Кореляція результатів ре-аналізу за алгоритмами NCEP/NCAR, NCEP/DOE та KPCA з метеорологічними вимірами температури повітря в залежності від масштабу (територія Причорноморської низовини 1990 – 2010 рр.)

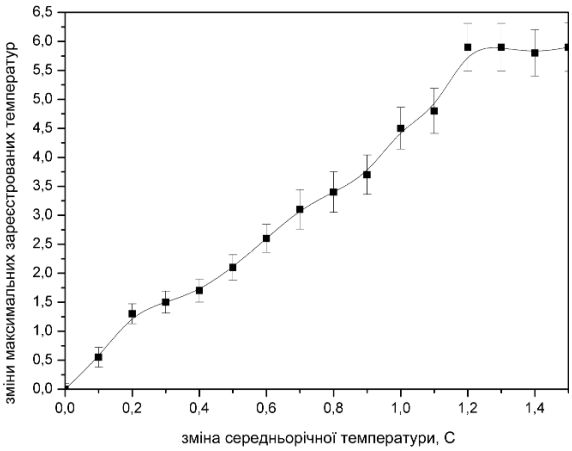


Рис. 8. Розподіл змін екстремальної температури повітря у відповідності до зміни середньої річної температури (територія Північно-Західної частини України, Українське Полісся 1990 – 2010 рр.)

Апроксимаційне рівняння, що пов'язує зміну екстремальної температури ΔT_{ext} (ΔT_{max} - ΔT_{min}) і середньої T_{mean} для Північно-Західного регіону України (басейн р. Прип'ять) може бути представлено у вигляді: $\Delta T_{ext} = \exp(-0{,}63 + 3{,}21 T_{mean} - 1{,}07 T_{mean}^2)$. Наведене рівняння описує межі розподілу значень екстремальних температур при змінах середнього значення в межах річного інтервалу з достовірністю R=0,98.

Таким чином ми отримуємо вираз для визначення розподілу найбільш ймовірних значень екстремальних температур при відомих змінах середньої температури. І відповідно, ми зможемо більш коректно оцінювати ймовірності виникнення надзвичайних ситуацій, пов'язаних із кліматичними явищами.

У **підрозділі 3.5** запропоновано проблемно модифікований метод інтеграції даних локальних метеорологічних спостережень в глобальні кліматичні моделі, тобто наведено основи підходу до регіоналізації моделей довгострокових змін за даними регуляризованих регіональних спостережень.

Розглянуто задачу про регіональний перерахунок існуючих кліматичних моделей з використанням даних всіх наявних обсягів реальних метеорологічних вимірювань. Ця задача відрізняється від так званої задачі «регіоналізації» кліматичних моделей. Задача регіоналізації моделей у традиційному розумінні зводиться зазвичай до задач так званого «даунскейлінгу», тобто змінення (зменшення) просторової і часової розмірності розподілів, отриманих за модельними розрахунками. Підхід, що пропонується, включає уточнення розрахунків на основі використання додаткових масивів даних, не включених до звичайної моделі (зазвичай до глобальних моделей включається 10–20% наявних по території досліджень метеостанцій, чого вочевидь недостатньо при розрахунках регіональних прогнозів). З математичної точки зору задача полягає в тому, щоб включити в масив розрахункових даних із завданою топологією дані спостережень, для яких не обов'язково виконуються умови, характерні для модельних даних.

Методика базується на представленні розподілів даних метеорологічних вимірювань в термінах теорії гільбертових просторів. Представлення даних спостережень у гільбертових просторах дозволяє

залишитися в рамках так званого «локального моделювання», і таким чином позбавитися необхідності завдання залежних від структури даних крайових умов. Отримані множини за своїми топологічними властивостями можуть бути інтегровані в глобальні моделі будь-якої складності. Для уточнення моделей було запропоновано спільно аналізувати дані моделювання та спостережень в рамках модифікованого методу трансформації ансамблів фільтрацією Калмана (Ensemble Transform Kalman Filter – ETKF). Таким чином ми отримуємо регулярний просторовий розподіл вимірюваних характеристик по локальній території дослідження як за результатами модельних розрахунків, так з урахуванням регіональних метеорологічних вимірювань по сітці, яка відповідає розподілу даних вимірювань, тобто має значно краще розрізнення, ніж звичайна модельна.

За допомогою запропонованого підходу було розраховано просторово – часові розподіли 8 параметрів: температура повітря, температура поверхні, кількість опадів/очікувана середня товщина снігового покриву, середній поверхневий стік, атмосферний тиск, вологість ґрунту, вміст вологи в поверхневому шарі ґрунту з часовим розрізненням 2 тижні і 1 місяць, на розрахункових комірках розміром 35 х 35 км і 50 х50 км на період до 2030 р. з використанням в якості базової моделі CSM 1.4 Національного центру досліджень атмосфери США (NCAR). Наведені розрахунки можна використовувати в подальшому для отримання оцінок ризиків, пов’язаних із кліматичними змінами на регіональному рівні, та для оптимізації стратегій адаптації до небезпечних змін.

У **підрозділі 3.6** з метою оцінки ризиків, індукованих довгостроковими змінами, було запропоновано метод оцінки мір ризику за результатами спільного аналізу багатовимірних мультиваріативних величин.

Для оцінки поведінки випадкових розподілів ризику досліджуваних величин в залежності від кількох ймовірнісних розподілів кліматичних, екологічних та інших параметрів, які мають суттєві гетерогенності, і з якими досліджувані величини пов’язані корелятивними зв’язками, було запропоновано метод спільного аналізу багатовимірних мультиваріативних величин, якій базується на непараметричних методах кернелівських копула-функцій Цей метод дозволяє по-перше, усунути можливі похибки, що виникають внаслідок різниці інтервалів спостереження різних параметрів і, по-друге, згладжує можливі розриви у розподілах даних.

Функція розподілу комплексного показника буде визначатися функціями розподілів досліджуваних показників X_1, X_2, …, X_n через копулу C:

$$F(x_1, x_2, ..., x_n) = C(F_1(X_1), F_2(X_2), ..., F_n(X_n)) . \quad (19)$$

Розподіли екстремальних значень досліджуваних показників $F_i(x)$ будуть описуватися функціями розподілів, які відповідатимуть випадку, коли параметри перевищать певний поріг $x_i > u_i$, і будуть представлені у вигляді:

$$\hat{F}_i(x) = 1 - \frac{N_{u_i}}{n}(1 + \hat{\xi}_i \frac{x - u_i}{\hat{\beta}_i})^{-\frac{1}{\hat{\xi}_i}}, \; i=1,2, \quad (20)$$

де ξ - параметр згладжування; β - параметр, що визначає взаємну залежність досліджуваних розподілів (β є [0,1]; якщо β=0, розподіли є абсолютно незалежними, а якщо β=1 – повністю взаємозалежними). В такому випадку вигляд оптимального кернелівського копула-корелятора буде наступним (за використання підходу *Chen*, 2010):

$$\hat{C}(u,v) = n^{-1}\sum_{i=1}^{n} G_{u,h}(\frac{u - \hat{F}_1(X_{i1})}{h}) G_{u,h}(\frac{v - \hat{F}_2(X_{i2})}{h}) - (uT_{u,h} + vT_{u,h} + T_{u,h}T_{v,h}) . \quad (21)$$

Ця загальна форма дозволяє отримати вигляд оптимального корелятора, який пов’язує прояви екстремальних явищ (частоту надзвичайних ситуацій) і кліматичні показники (зміни температури

повітря). Як приклад використання запропоновано підходу до визначення сталих взаємних кореляцій між параметрами ризиків та кліматичними показниками, було визначено форму «оптимального корелятора» між температурою повітря та кількістю надзвичайних ситуацій – «приведена максимальна температура» T_{red}:

$$T_{red} = (1 - \frac{\frac{1}{N}\sum_{n=1}^{N} T_n}{T^{\max}})(1 - \frac{1}{T^{\max} - \frac{1}{N}\sum_{n=1}^{N} T^{\max}}). \quad (22)$$

Тут N – кількість метеорологічних спостережень; T_n – зареєстровані температури повітря, T_{max} – максимальні зареєстровані температури протягом періоду спостережень. Середні показники кореляції запропонованого індексу T_{red} з кількістю надзвичайних ситуацій в залежності від досліджуваного періоду лежать в межах 0,95 – 0,98 і є вищими, порівняно із показниками, притаманними середнім (0,69 – 0,73), або максимальними (0,85 – 0,9) температурам для інтервалів в межах періоду спостережень 1960 – 2010.

В якості прикладів застосування непараметричних кернелівських копула-функцій було проведено розрахунки кількох показників ризиків та екологічної безпеки (рис.9, 10)).

Отримані в результаті розгляду оцінки дозволяють провести розрахунки ризиків конкретних надзвичайних ситуацій з використанням даних супутникового спостереження.

Запропоновано метод для проблемно-орієнтованого ре-аналізу даних метеорологічних спостережень на локальному і регіональному масштабах на основі нелінійного KPCA-алгоритму. Показано порівняно високу ефективність запропонованого методу та відносно високу достовірність на регіональному рівні отримуваних оцінок розподілів кліматичних показників.

Проведено розрахунки з оцінки найбільш очікуваного регіонального тренду змін основних кліматичних показників, що впливають на загрози надзвичайних ситуацій. Запропоновано алгоритм визначення найбільш достовірних трендів змін ключових кліматичних параметрів на основі аналізу множин даних.

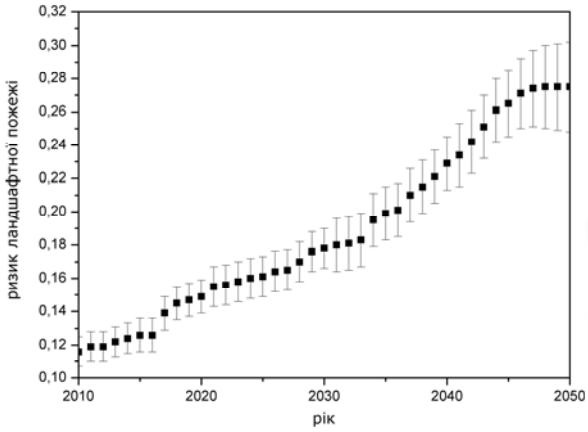


Рис. 9. Приклад розрахунку показників ризиків ландшафтних пожеж

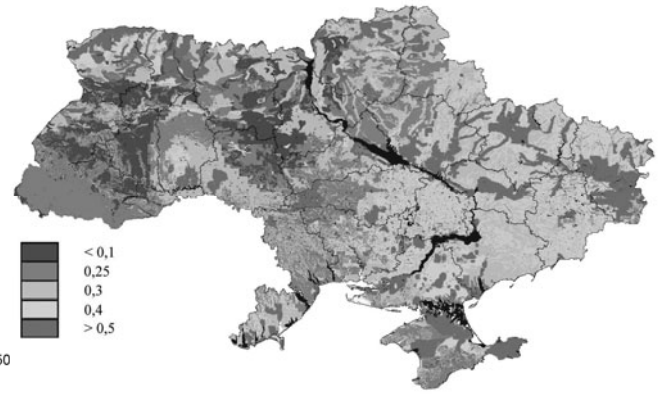


Рис. 10. Приклад розрахунку змін біологічної продуктивності ландшафтів України на 2030 р.

У підрозділі **3.7**. обговорено обмеження запропонованого методу моделювання.

Таким чином можна стверджувати, що запропоновано набір методик, які складають методологічну базу для оцінки довгострокових ризиків надзвичайних ситуацій, пов’язаних із змінами клімату та довкілля.

Розділ 4. Методичні аспекти застосування аерокосмічних зйомок при вирішенні завдань екологічної безпеки та сталого природокористування. Задачею цього розділу є аналіз та оптимізація існуючих методик використання даних ДЗЗ для розробки методологічних засад оцінки довгострокових ризиків надзвичайних ситуацій з використанням даних супутникового спостереження.

В **підрозділі 4.1** наведено теоретично-методичні основи оцінки ризиків із використанням даних супутникового спостереження.

Виходячи із загального визначення ризику, запропоновано форму рівняння (Єрмольєв, 2010):

$$R(x,t) = \int f_i(x,\omega)P(x,d\theta)\text{, } i=1,....,m, \qquad (23)$$

де $f(x,\omega)$, $P(x,\omega)$ – стохастичні функції і імовірнісні розподіли випадкової події, що призводить до виникнення негативних наслідків. Таким чином, в загальному випадку ризик описується як сукупність кількох випадкових процесів.

В загальному випадку визначення виду функцій $f(x,\omega)$ і $P(x,\omega)$ є дуже складним і потребує введення додаткових умов і обмежень. Задачею даного розділу є показати як застосування результатів проблемно-орієнтованого фізико-математичного моделювання енергомасообмінних процесів в геосистемах (що описані в попередніх розділах) і результатів тематичної інтерпретації даних ДЗЗ дозволяють коректно визначити ці розподіли. Запропоновано форми рівнянь для оцінки прямих та довгострокових екологічних ризиків, соціо-екологічних ризиків, наведено окремі приклади.

У **підрозділі 4.2** описано дешифрувальні ознаки при оцінювання і прогнозуванні стану гідрологічної та гідрогеологічної небезпеки територій на прикладі оцінки запасів снігу та визначення перезволожених ділянок ґрунтового покриву за даними супутникових спостережень. Виходячи із набору наявних сенсорів та результатів моделювання процесів формування параметрів небезпеки було проаналізовано дешифрувальні ознаки при оцінювання і прогнозуванні стану гідрологічної та гідрогеологічної небезпеки територій. Показано, що за умови відповідної верифікації даних, використання запропонованих методів, що базуються на цих дешифрувальних ознаках, дозволяє оцінювати паводковий потенціал територій протягом сезону. Зроблено висновок, що методи ДЗЗ є надійним джерелом інформації при складанні інтегральних прогнозів розвитку паводкової ситуації.

В **підрозділі 4.3** описано питання використання завіркових даних при оцінюванні та прогнозуванні розвитку небезпечних гідролого – гідрогеологічних процесів. Виходячи з показаної чутливості окремих моделей до якості вхідних даних, а також беручи до уваги необхідність врахування регіональних і локальних особливостей енергомасообміну в природних системах, було проаналізовано можливості використання даних наземних спостережень для калібрування та верифікації результатів метеорологічного моніторингу, моніторингу снігового покриву, контролю гідрографічної мережі, моніторингу земних покривів, та моделювання енергомасообміну в природних системах з використанням даних ДЗЗ. Приклад використання завіркових даних наведено в таблиці 3.

З метою визначення шляхів калібрування моделей енергомасообміну в геосистемах, в першу чергу – моделей водного балансу, та верифікації даних супутникових спостережень земної поверхні, в межах даного дослідження протягом 2005 – 2008 рр. було проведено низку польових вимірювань окремих параметрів снігового покриву, ґрунтового покриву та параметрів рослинності. Дослідження проводилися на 10 тестових ділянках України. Ціллю досліджень було визначити параметри ґрунтового покриву та рослинності. Складені в результаті польових досліджень каталоги, разом з відповідними зображеннями знаходяться в Науковому центрі аерокосмічних досліджень Землі ІГН НАН України.

Таблиця 3

Завіркові дані при вирішенні задач прогнозування паводкової небезпеки.

Тип даних	Просторові і часові характеристики даних
Наземні виміри вологості ґрунтів	Під-супутникові спостереження, або багаторічні виміри вологості грунтів у ландшафтних зонах у відповідності до методик Державної гідрометеорологічної служби з усередненням за місяць, по сезонах
Наземні виміри характеристик снігового покриву	Відповідно до методик Державної гідрометеорологічної служби, багаторічні спостереження з усередненням за тиждень
Метеорологічні дані: розподіл середньої кількості опадів, середньої вологості повітря, величини сумарного випаровування, сумарної сонячної радіації, середньої швидкості вітру, температури повітря	Відповідно до методик Державної гідрометеорологічної служби, багаторічні спостереження з усередненням за місяць, по сезонах
Характеристики руслового стоку: структура гідрографічної мережі (кількість та довжина річок за рангами), площа водозбору, площа водозбору (норма, мінливість), середні витрати, багаторічний стік, течія (середня і максимальна швидкість, витрати), розподіл стоку по місяцях і сезонах за багаторічними спостереженнями	Відповідно до методик Держводгоспу
Картографічні дані	Топографічні карти від 1:50 000 до 1:100 000 для регіону, і карти 1:10 000 для територій затоплення
Геологічні дані	Геологічні карти 1:100 000
Ландшафтні дані	Ландшафтні карти і карти ґрунтового покриву 1:100 000

Окремо розглянуті питання верифікації та калібрування спектральних індексів. Наведено теоретичні засади інтеркалібрування даних супутникових та польових досліджень спектральних властивостей земних покровів, показано можливість використання даних польового спектрорадіометра FieldSpec®3 FR для завірки даних супутникових спостережень в задачах оцінки водного балансу та гідролого – гідрогеологічної безпеки, надані рівняння розрахунку спектральних індексів за даними польових вимірів для проведення калібрування супутникових спостережень. Таким чином, по окремим спектральним індексам було завірено дані *NDVI* та відкаліброване дані *NDWI*. Таким чином було отримано інструмент для кількісного калібрування не тільки розподілів даних супутникового спостереження, але і спектральних індексів, що використовуються для аналізу параметрів гідролого – гідрогеологічної безпеки.

У **підрозділі 4.4** описано сценарії відгуку систем ДЗЗ на надзвичайні ситуації. Рекомендації щодо побудови системи використання даних супутникового спостереження для довгострокового прогнозування ризиків НС було розроблено на основі аналізу існуючих підходів до визначення короткострокової гідролого – гідрогеологічної небезпеки та моніторингу надзвичайних ситуацій. Для аналізу було запропоновано методичну схему, що використовується міжнародною спільнотою для розробки методик проведення космічних експериментів, що включають перелік необхідної наземної інформації, перелік сенсорів, вимоги до спектрального та просторового розрізнення, визначення оптимальних періодичності та тривалості зйомки, способів обробки, інтерпретації інформації та представлення вихідних даних. Ця схема отримала назву «сценарії відгуку космічних систем спостереження» (Таблиця 4).

У **підрозділі 4.5** запропоновано підхід до методик оцінки ризиків небезпечних процесів гідрологічного та гідрогеологічного характеру на основі використання даних супутникового спостереження та аналізу просторово-розподілених даних.

Зокрема, запропоновано метод визначення регіональних **ризиків підтоплень територій** за даними супутникових спостережень. Можливість визначення ризиків підтоплень базується на обґрунтованій у попередніх розділах можливості визначення взаємозв’язку між змінами спектральних характеристик

відбиття поверхні та стресом, викликаним дією зовнішніх факторів (Q_{stress}). Для опису спектрального відбиття окремого типу поверхні N (де N – клас, відповідно до попередньо проведеної класифікації земних покровів) введемо інтегрований індикатор – індекс спектрального відбиття *SRI*, що буде представлено як фіксована комбінація спектральних характеристик в окремих смугах спектру r_λ. В загальному випадку його вигляд можна представити як: $SRI_\tau = f(r_\lambda)_\tau$, де τ – момент зйомки. В нашому випадку це може бути будь-який з індексів *NDVI* (або *ARVI*), *EVI*, які дають змогу визначити тенденції змін досліджуваних екосистем (крім того, корисним може бути індекс *PRI* (*Photochemical Reflectance Index*)); «стресові» індекси: індекс *SIPI* (*Structure Intensive Pigment Index*), водний індекс *NDWI* та індекс стресу рослинності *PSI* (*Plant Stress Index*). В залежності від контрольованого параметру, будь-якій з існуючих спектральних індексів може бути використаній як такого роду інтегрований індикатор(індекси *PRI, SIPI* або *NDNI - Normalized Difference Nitrogen Index*). Враховуючи можливість отримання багаторазових зйомок, вводимо індекс, що відображає зміни досліджуваних спектральних показників за період спостережень – нормований індекс спектрального відбиття:

$$SRI*_\tau = \frac{\max\{SRI_\tau\} - SRI_\tau}{\max\{SRI_\tau\} - \min\{SRI_\tau\}}. \qquad (24)$$

Тоді інформативною ознакою можна вважати $\Delta SRI*$ - різницю між середнім по періоду спостережень значенням $SRI*$ та зафіксованим на момент зйомки значенням $SRI*_\tau$.

Рівняння, що визначає ймовірність стресу, виходячи з сукупності спектральних характеристик земної поверхні, запропоновано відповідно до правила Байєса:

$$P(\Delta SRI*(x,y) \mid Q_{stress}) = \frac{P_s(x,y)\cdot\prod_N P_N(\Delta SRI* \mid Q_{stress})}{\int_{x,y} P_N(\Delta SRI* \mid Q)dP_s(x,y)} = \qquad (25)$$

$$= \frac{P_S(x,y)\cdot P_N(\Delta SRI* \mid Q_{stress})}{P_N(\Delta SRI* \mid Q_{stress})P_S(x,y) + P_N(\Delta SRI* \mid Q_0)P_0(x,y)}$$

В цьому рівнянні індекс Q_{stress} відноситься до ділянок під впливом стресових факторів, а індексом Q_0 позначено клас пікселів, в яких дії таких факторів достовірно немає. Ймовірність $P_S(x,y)$ визначається, виходячи із розподілу даних спостережень, тобто напівемпірично. Співвідношення ймовірностей $P_S(x,y)$ та $P_0(x,y)$ визначається як $\lim_{x,y,\tau}(P_S(x,y)_\tau + P_0(x,y)_\tau) = 1$. Для визначення вірогідності $P_S(x,y)$ можна скористатися правилом, що базується на використанні вагової функції Гауса: $P_S(x,y) = P_{\min} + (P_{\max} - P_{\min})\cdot e^{d_s^2/2\sigma_p^2}$. Тут $P_S(x,y)$ – ймовірність наявності (або виникнення в масштабах часу періоду спостережень) стресу; P_{max} – максимально можлива вірогідність поточної наявності стресу в досліджуваному місці, яка залежіть від типу сенсора, фізико-географічних особливостей регіону та типу поверхні (P_{max} для сенсорів Landsat TM і ETM є 0,25 – 0,3); P_{min} – мінімальна вірогідність (P_{min} є близькою 0,01); $d_s(x,y)$ – відстань від найближчого місця, яке знаходиться під зареєстрованою дією стресу; σ_p – емпіричний показник, що має визначатися на основі полігонних досліджень, виходячи з особливостей рослинного покриву території досліджень та типу сенсору (наприклад, для Landsat TM і ETM в регіоні досліджень показник σ_p є 1,1 – 1,5 км). Таким чином для регіону досліджень і сенсорів Landsat TM і ETM $P_S(x,y)$ може бути визначений за допомогою формули: $P_S(x,y) = 0{,}01 + 0{,}26\cdot e^{d_s^2/1{,}69}$. Задача визначення ділянок в межах класів N з

координатами *x, y* під дією стресу, викликаного впливом факторів Q_{stress}, може бути зведеної до задачі класифікації знімків в межах обраних періодів *i*, спектральних смуг $r_{\lambda,}$ типів сенсорів та регіону досліджень.

Розраховані в рамках цього підходу значення ризиків представлено на рис. 11.

Наведені ризики оцінено в термінах ймовірності виникнення негативних наслідків події в разі реалізації сукупності умов, що сприятимуть виникненню події. Виходячи з умов, заданих модельними рівняннями, можна сказати, що значення ризику 0,5 означає, що за умов достовірного перевищення середнього рівня сезонних варіацій опадів, або відповідно стоку, у відповідному місці буде зафіксовано випадок підтоплення. Тобто ризик 0,5 за наявних кліматичних тенденцій практично означає щорічне підтоплення будь-якого рівня з вірогідністю 0,86 в період 2010-2011.

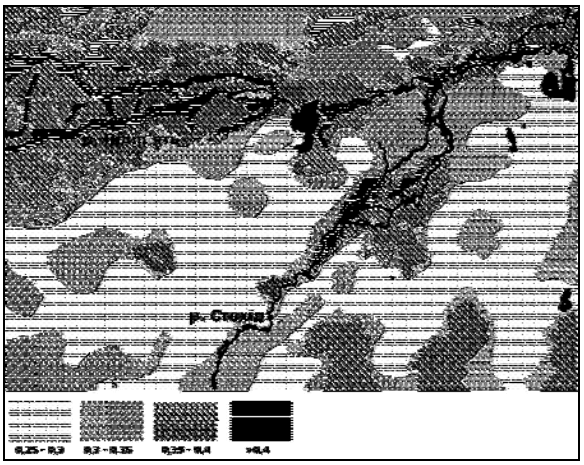


Рис. 11 Розрахункові ризики підтоплень територій по міжріччю рр.. Прип'ять і Стохід у Поліському регіоні

Таким чином, запропоновано підхід до оцінки ризиків підтоплень та методику розрахунку просторових розподілів регіональних показників ризиків підтоплень за допомогою даних супутникових спостережень в оптичному діапазоні, визначено набори даних, оцінено показники основних змінних для конкретних сенсорів.

Також запропоновано основи підходу до визначення регіональних **ризиків ландшафтних пожеж** за даними супутникових спостережень.

Таблиця 4

Сценарій відгуку систем ДЗЗ: система довгострокового прогнозування НС

Система довгострокового прогнозування ризиків НС гідрологічного характеру	
Рівень 1: вхідна інформація для геоінформаційного аналізу та моделювання	**Картографічні дані**: комплекс фізико- та економіко-географічних і геолого-геофізичних даних про регіон, цифрові моделі рельєфу, структурні особливості екосистем, інфраструктура (багатоспектральні дані ДЗЗ, супутникова радіолокація та інтерферометрія тощо)
	Моніторинг поточного **паводкового потенціалу** територій
	Статистика НС за період спостережень
	Наземні полігонні дослідження для калібрування моделей та даних ДЗЗ
Рівень 2: моделі	Локальні і регіональні **моделі небезпечних процесів** (поверхневого стоку, водного балансу снігового, ґрунтового і рослинного покриву, змін геологічного середовища)
	Довгострокові оцінки змін показників небезпеки (перспективні оцінки змін кліматичних показників та екологічних параметрів)
	Моделі оперування інформацією (підходи до комплексної обробки даних, методи аналізу результатів моделювання, методи оцінки ризиків)
Рівень 3: вихідна інформація	Розрахунок характеристик/параметрів ризиків НС (**кількість НС окремих типів** на певній площі протягом певного часу) на основі визначених тенденцій регіональних змін
	Розрахунок **сценаріїв розвитку НС** окремих типів (сценарії затоплень, розповсюдження індукованих забруднень, ушкодження інфраструктури тощо)
	Розрахунки **просторового розподілу ризиків НС** певних типів НС для визначених часових періодів
	Рекомендації щодо оптимізації **систем прийняття рішень**, вдосконалення адаптаційних заходів, розробка систем довгострокових заходів з управління ризиками та зменшення збитків

Запропоновано концептуальну модель, яка включає модель виникнення та поширення пожежі в термінах температури за фіксованих умов. Врахування впливу вітру враховане через напівемпіричні рівняння. Таким чином оцінюється ймовірність реалізації негативного впливу надзвичайної ситуації за умов настання визначених умов. З метою розробки теоретико - методичних основ оцінки інтегральних ризиків, запропоновано комплексне рівняння, що описує поширення фронту пожежі в екосистемах, враховуючи всі необхідні фактори. Таким чином в явній формі представлено рівняння, що описує ризик ландшафтних пожеж. Окремо розглянуто задачу детектування пожеж засобами ДЗЗ, визначено загальні правила та алгоритми. При цьому, виходячи із статистичного характеру дистанційної інформації, та беручи до уваги характер наведених алгоритмів, що використовуються для визначення пожеж, запропоновано загальне рівняння, що описує ризик, пов'язаний із помилковим розпізнаванням. Запропоновано рівняння, що визначає функцію ризику, виходячи з сукупності спектральних характеристик досліджуваних класів земної поверхні: Запропоновано кілька виглядів залежностей для різних спектральних індексів. В якості тестового використання запропонованої методики було розраховано показники ризиків пожеж для окремих ділянок поверхні.

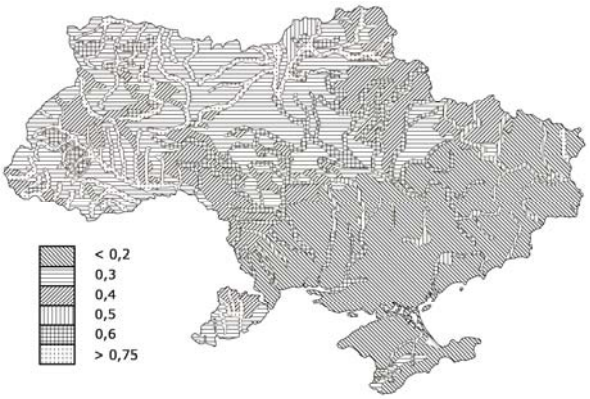


Рис.12 Розрахунок показників ризику виникнення повеней на період 2030р.

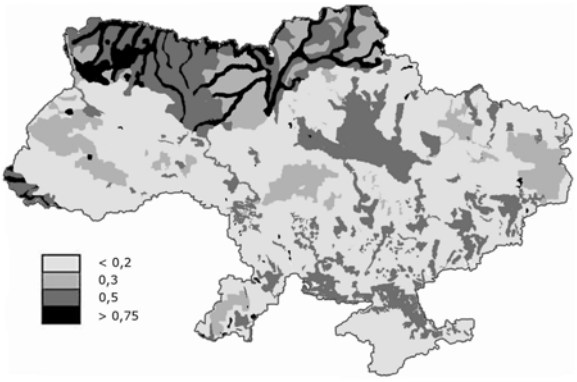


Рис. 13 Розрахунок показників ризику розвитку процесів підтоплення на період 2030 р.

Базуючись на оцінених локальних та регіональних ризиках підтоплень, а також використовуючи в якості базового підходу метод оцінки комплексних мір ризику за результатами спільного аналізу багатовимірних мультиваріативних величин, запропонований у підрозділі 3.7, було оцінено **ризики повеней та підтоплень**.

Результати розрахунків представлено на рисунках 12, 13.

Отримані результати в загальному вигляді збігаються з подібними результатами, наведеними в роботах інших дослідників, що підтверджує коректність розробленого підходу.

У **підрозділі 4.6** наведено оцінку ефективності та достовірності прогнозування. Велика кількість розроблених взаємопов’язаних сценарних розрахунків окремих показників безпеки потребує, в контексті застосування систем прийняття управлінських рішень, оцінки достовірності, тому було оцінено відносну достовірність розроблених прогнозів.

Для цього було відібрано масиви даних вимірювань, моделювання, прогностичні моделі, отримані іншими дослідниками для порівняння, а також запропоновано методи оцінки достовірності прогнозування. Для оцінки достовірності було застосовано коефіцієнт кореляції та запропоновано модифікований коефіцієнт ефективності прогнозування $\eta = \sqrt{1 - \left(\frac{\sigma_\varepsilon}{\sigma_j}\right)^2}$, де σ_j - стандартне відхилення значень досліджуваної змінної на момент часу *j*, при цьому *j* буде розглядатися як завчасність прогнозування. На відміну від коефіцієнту кореляції, коефіцієнт ефективності є функцією відношення дисперсії похибок прогнозування до дисперсії значень досліджуваної змінної в залежності від певного

моменту часу, тобто з урахуванням зміни тривалості періоду вимірювань значень змінної та/або зміни кроку модельних розрахунків, тобто він є більш строгим критерієм якості прогнозів, принаймні відносно до коефіцієнту кореляції. Результати розрахунків показників відносної достовірності наведено в Таблиці 5.

Таблиця 5

Показники достовірності прогнозування окремих розрахованих параметрів

Оцінюваний параметр	Використана модель/підхід	Показники достовірності прогнозування		Контрольний параметр
		Коефіцієнт кореляції	Коефіцієнт ефективності	
Показники стоку:				
річковий стік	модель стоку, Костюченко, 2014	0,92	0,88	польові гідрометеологічні, гідрологічні, агрометеорологічні та гідрогеологічні вимірювання, дані ДСНС України 2000-2015
	модель PRMS 4.0.1, USGS, 2015	0,9	0,85	
інтенсивність сніготанення	модель снігового покриву, Костюченко, 2011	0,96	0,93	
	модель сніготанення Ohmura et al., 1996	0,8	0,72	
вміст вологи в ґрунті	модель транспорту вологи в ґрунті, Костюченко, 2011	0,9	0,88	
	модель INFIL3.0, USGS, 2008	0,88	0,82	
випаровування вологи рослинністю	модель евапотранспірації, Костюченко, 2012	0,88	0,85	
	модель SWAT, Texas Water Resources Institute, 2012	0,8	0,73	
Кліматичні та метеорологічні показники:				
розподіл температури по території досліджень, 1990-2015	нелінійна просторово-часова регуляризація за алгоритмом КРСА, Костюченко, 2013	0,86	0,83	метеорологічні вимірювання
	метод ре-аналізу NCAR, DOE	0,62	0,51	
розподіл опадів по території досліджень, 1990-2015	нелінійна просторово-часова регуляризація за алгоритмом КРСА, Костюченко, 2013	0,67	0,61	
	метод ре-аналізу NCAR, DOE	0,48	0,42	
Надзвичайні ситуації:				
кількість надзвичайних ситуацій, 1991 – 2010	статистика НС за КРСА алгоритмом, Костюченко, 2015	0,98	0,91	статистичні дані ДСНС України 1990-2015
	Annual Disaster Statistical Review, 2016	0,96	0,89	
кількість надзвичайних ситуацій, 2011 – 2030	статистика НС за КРСА алгоритмом та непараметричними кернелівськими копула-функціями, Костюченко, 2014	0,9	0,85	IPCC, 2009
	CEOS DMWG, 2006	0,8	0,76	
ризик виникнення повеней, 2011 - 2030	статистика НС за КРСА алгоритмом та непараметричними кернелівськими копула-функціями, Костюченко, 2014	0,92	0,89	«Природний, техногенний та екологічний ризики: аналіз, оцінка, управління», Лисиченко Г.В., Забулонов Ю.Л., Хміль Г.А., 2008
	Іванюта С.П., Качинський А.Б. «Екологічна та природно-техногенна безпека України», 2012	0,9	0,85	
ризик розвитку процесів підтоплення, 2011 - 2030	статистика НС за КРСА алгоритмом та непараметричними кернелівськими копула-функціями, Костюченко, 2014	0,93	0,86	
	Іванюта С.П., Качинський А.Б. «Екологічна та природно-техногенна безпека України», 2012	0,91	0,83	

Якщо вважати, що значення коефіцієнту ефективності прогнозування менші за 0,55 відповідають системам прогнозування з низьким рівнем достовірності, діапазон значень 0,56 – 0,65 відповідає

системам з прийнятним рівнем достовірності прогнозування, 0,66 – 0,75 описує середню точність прогнозування, 0,76 – 0,85 – відповідає точним прогнозам, а значення коефіцієнту більші за 0,86 – прогнозам високої точності, то наведені дані свідчать про достатню достовірність результатів.

Наведені в Таблиці 5 показують, що запропоновані моделі і методи дозволяють збільшити відносну достовірність прогнозування окремих показників, потрібних для аналізу ризиків, в середньому на 9,85%, отже ці дані дозволяють зробити висновок про загальну достатню відносну достовірність розроблених прогнозних методів і моделей і в цілому запропонованого підходу до оцінки ризиків, пов'язаних з розвитком небезпечних гідролого – гідрогеологічних процесів. Це підтверджує адекватність запропонованої методології застосування даних ДЗЗ для довгострокового прогнозування небезпеки надзвичайних ситуацій.

ВИСНОВКИ

Результати проведених досліджень, як і матеріали інших робіт ЦАКДЗ ІГН НАНУ та тенденції світового розвитку ДЗЗ, прикладної математики і геоінформатики, свідчать про те, що широке застосування аерокосмічних зйомок з проблемно-орієнтованою інтерпретацією їх результатів є успішним шляхом підвищення ефективності вирішення задач прогнозування та розвитку НС.

Для вирішення проблеми ефективного контролю ризиків небезпечних явищ слід розглядати комплексну системну задачу, що поєднувала б на базі міждисциплінарного підходу здобутки багатьох наукових та технологічних галузей. Результати підтвердили можливість узагальнення різних за масштабами моделей в рамках єдиного методичного підходу.

В роботі вперше запропоновано метод інтегрування моделей енергомасообміну в природних системах, тобто моделей процесів, що генерують небезпеку, в моделі оцінки ризиків; запропоновано комплекс нових проблемно-орієнтованих моделей, спрямованих на визначення індикаторів ДЗЗ і калібрувальних ознак. Таким чином, на відміну від існуючих методів оцінок ризиків, запропонований підхід базується на моделях небезпечних процесів, дозволяє визначати сталі індикатори небезпек та калібрувальні ознаки, будувати методики оцінки ризиків за розподілами отриманих індикаторів на різних просторових і часових масштабах з визначеною достовірністю. Тобто, запропонований підхід дозволяє побудувати методику оцінки від фізико-математичної моделі небезпечного процесу до карти розподілу кількісної міри ризику по окремій території з визначеною достовірністю за просторово розподіленими даними вимірювань і даними ДЗЗ.

Таким чином, в роботі наведено теоретичне обґрунтування та запропоноване нове вирішення наукової проблеми комплексування даних ДЗЗ, моделювання енергомасообміну в природних системах та наземних калібрувальних вимірювань для оцінки ризиків НС. Основні результати можуть бути узагальнені таким чином:

1. *Вперше* запропоновано інтегрований підхід до статистичного аналізу даних спостережень, який базується на модифікованому методі нелінійного кернелівського аналізу головних компонент, і дозволяє отримувати регуляризовані розподіли в одиницях, інваріантних щодо характеру даних. Водночас, *вперше* запропоновано кількісні індекси (*IoD* та *IoV*) для оцінки ефективності заходів управління ризиками.
2. Розроблено та адаптовано *нові* інтегровані моделі енергомасообміну в природних системах та моделі формування корисного сигналу для використання в задачах оцінки ризиків за даними ДЗЗ; *вперше* створено комплекс взаємопов'язаних детермінованих і стохастичних моделей аналізу просторово розподілених даних спостережень та вимірювань в задачах оцінки ризиків, зокрема:

2.1. запропоновано *суттєво вдосконалену* модель снігового покриву, а також *вперше* запропоновано на її основі новий стохастичний метод обчислення параметрів сніготанення, показано підвищення відносної достовірності методу до 16%;

2.2. запропоновано *суттєво вдосконалену*, орієнтовану на використання дистанційних методів модель динаміки вологи у ґрунтовому покриві, в тому числі в умовах наявності рослинності, яка дозволяє визначати корисний сигнал, та запропоновано методики визначення вологості ґрунту для використання в задачах оцінки паводкової небезпеки, показано підвищення відносної достовірності методу від 2-4 до 6-8%;

2.3. запропоновано *суттєво вдосконалену* модель евапотранспірації, що дозволяє визначати просторово розподілені характеристики рослинного покриву за даними ДЗЗ в задачах оцінки водного балансу поверхні, показано підвищення відносної достовірності методу до 8%.

3. *Вперше* запропоновано метод оцінювання довгострокових регіональних небезпек, пов'язаних із глобальними змінами на основі розробленої методики аналізу спостережень та уточнення моделей по наборам даних, представлених на гільбертових випадкових просторах та адаптованої методики трансформації ансамблів фільтрацією Калмана, а також з використанням методу оцінки комплексних мір ризику за результатами спільного аналізу багатовимірних мультиваріативних величин на основі непараметричних кернелівських копула-функцій. Зокрема, запропоновано та розроблено низку методів аналізу даних, в тому числі:

3.1. *вперше* запропоновано і розроблено метод нелінійної просторово-часової регуляризації для аналізу даних наземних спостережень з метою отримання регуляризованих розподілів регіональних показників, показано підвищення відносної достовірності методу до 20%;

3.2. *вперше* запропоновано та розроблено метод оцінки ймовірності проявів екстремальних кліматичних явищ за результатами аналізу даних метеорологічних спостережень з метою аналізу рушійних сил надзвичайних ситуацій, визначено в явному вигляді розподіли найбільш ймовірних значень екстремальних температур при відомих змінах середньої температури;

3.3. запропоновано та *вперше* проблемно і регіонально адаптовано метод інтеграції даних локальних метеорологічних спостережень в глобальні кліматичні моделі, тобто підхід до регіоналізації моделей кліматичних змін за даними регуляризованих регіональних спостережень на основі розробленої методики аналізу спостережень та уточнення моделей по наборам даних спостережень, представлених на гільбертових випадкових просторах та адаптованої методики трансформації ансамблів фільтрацією Калмана, показано підвищення відносної достовірності методу від 2-4 до 8-12% для різних оцінюваних показників;

3.4. *вперше* запроновано та розроблено метод оцінки комплексних мір ризику за результатами спільного аналізу багатовимірних мультиваріативних величин на основі непараметричних кернелівських копула-функцій, отримано сталі кореляції між базовими показниками ризиків, показано підвищення відносної достовірності методу від 3-5 до 6-8% для різних оцінюваних показників.

4. *Набули подальшого розвитку* методи оцінювання ризиків, зокрема, на основі розроблених моделей, запропонованих методів аналізу даних, а також з використанням підходу, що базується на використанні правила Баєса, було запропоновано суттєво вдосконалений підхід до побудови методик оцінки ризиків надзвичайних ситуацій з використанням даних ДЗЗ; вперше на цій основі зроблено довгострокові оцінки ризику надзвичайних ситуацій природного походження для території України, показано підвищення відносної достовірності методу від 2-5 до 9-10%.

5. *Набули подальшого розвитку* методи комплексування даних ДЗЗ, розроблено нові та вдосконалено існуючі проблемно-орієнтовані методи комплексування, запропоновано та обґрунтовано використання спектральних індексів, визначено підходи до їх наземної завірки і калібрування:
   5.1. запропоновано та обґрунтовано в розробленому комплексі методів використання оптичного індексу снігового покриву *NDSI*;
   5.2. визначено, теоретично обґрунтовано явний вигляд та *вперше* регіонально адаптовано коректну методику використання водного індексу *NDWI*;
   5.3. *вперше* визначено регіональні калібрувальні ознаки вегетаційних індексів *NDVI*, *LAI, EVI*, *SAVI*, *ARVI*;
   5.4. *набули подальшого розвитку,* в рамках запропонованого комплексу методів, методики довгострокової оцінки пожежної безпеки за даними супутникового спостереження;
   5.5. *набули подальшого розвитку* методи комплексного використання даних супутникового спостереження земної поверхні в радіо - та оптичному діапазонах зйомки для визначення зон підтоплення, визначено роль даних ДЗЗ різного походження при визначенні параметрів середньо- та довгострокової паводкової безпеки територій, що дозволило *вперше* створити взаємопов'язаний комплекс індикаторів стану безпеки територій за даними ДЗЗ.
6. *Встановлено* окремі важливі тенденції розвитку НС по території досліджень:
   6.1. довгострокове істотне збільшення загрози зниження біологічної продуктивності ландшафтів, яке має гетерогенний розподіл в просторі і часі, характеризується показниками ризику в межах 0,4-0,6, та зумовлене взаємопов'язаними впливами ескалації кліматичних змін, антропогенних навантажень та надзвичайних ситуацій природного характеру;
   6.2. довгострокове помітне збільшення загрози ландшафтних пожеж, яке має гетерогенний розподіл в просторі і часі, характеризується показниками ризику в межах 0,2-0,4 та зумовлене впливами кліматичних змін;
   6.3. довгострокове збільшення загрози НС гідрологічного характеру, зокрема, повеней та підтоплень, яке має гетерогенний розподіл в просторі і часі, характеризується показниками ризику в межах 0,2-0,3 та зумовлене взаємопов'язаними впливами ескалації кліматичних змін, антропогенних навантажень та надзвичайних ситуацій природного характеру.

Крім того, з точки зору методології моделювання можна запропонувати наступні висновки:

- Доведено доцільність використання фізико-математичних моделей природних систем та явищ в комплексі методів оцінки ризиків, пов'язаних із НС, визначене місце і роль цих моделей та оптимальні шляхи їхнього застосування з точки зору використання методів ДЗЗ;
- Показано неможливість отримання довгострокових кількісних розподілів показників ризиків за допомогою лише детермінованих моделей; показано, що детерміновані моделі не дають можливості визначати сталі (або робастні) оцінки ризиків на довгих періодах часу, та мають суттєву вразливість відносно похибок даних та невизначеностей;
- Показано, що сукупність ймовірнісних методів оцінювання показників ризиків суттєво підвищує достовірність оцінки кількісних показників ризиків при використанні детермінованих фізико-математичних моделей; при цьому оцінки невизначеностей залишаються задачею, яка потребує окремого розгляду за допомогою додаткових проблемно-орієнтованих методик;
- Показано, що достовірність прогнозних розрахунків параметрів ризиків надзвичайних ситуацій – основної задачі дослідження за коефіцієнтами кореляції та ефективності прогнозування є високою. Доля прогнозів високої точності за коефіцієнтом кореляції складає 87%, а за коефіцієнтом ефективності – 50%. Частка точних прогнозів – 13% і 37% відповідно. Ще 13% складає частка прогнозів середньої достовірності за коефіцієнтом ефективності. Таким чином,

за врахування різних критеріїв достовірності середня частка високоточних прогнозів ризиків надзвичайних ситуацій складає 68,5%, а точних прогнозів – 25%. Таким чином запропонована методологія є ефективною у порівнянні з традиційними методами оцінювання ризиків НС визначених типів;

- Показано, що оптимальним шляхом отримання сталих, робастних по відношенню до різних типів невизначеностей, кількісних просторово розподілених оцінок мір ризиків, пов'язаних з НС, є застосування стохастичних моделей в комплексі з ймовірнісними оцінками ризиків і детермінованими моделями природних систем та явищ.

За результатами застосування розроблених методів отримано розподіли ризиків окремих надзвичайних ситуацій та деяких екологічних загроз для певних регіонів та України в цілому на період до 2030 року. Так, побудовано карти розподілу ризиків виникнення повеней та підтоплень для території України на період до 2030 р., регіонального розподілу ризиків підтоплень, а також карти розподілів ризиків втрат біологічної продуктивності природних ландшафтів.

Окремо показано, що в умовах наявності тенденцій довгострокових змін кліматичних показників та змін довкілля критично зростає роль наземних калібрувально – завіркових полігонних досліджень для контролю поведінки параметрів моделей та відповідних дешифрувальних ознак ДЗЗ. Проведені в рамках дослідження польові роботи дозволили відокремити необхідні набори параметрів, які мають розглядатися в якості калібрувальних даних при вирішенні завдань визначення ризиків НС.

Розвиток робіт продемонстрував необхідність продовження досліджень в галузі застосування методів ДЗЗ для визначення ключових параметрів глобальних змін, в тому числі, для уточнення тенденцій змін екосистем, ескалації НС, змін регіональних кліматичних показників тощо.

Як було показано, разом з методиками отримання даних та моделями формування корисного сигналу, розроблені методи оцінки ризиків можуть бути інтегровані в систему прийняття управлінських рішень. Запропоновано також метод оцінки достовірності прогнозів. Все це разом дозволяє зробити висновок про можливість застосування запропонованого підходу в якості базового елементу системи довгострокового управління ризиками надзвичайних ситуацій природного походження.

Виходячи із досвіду проведених робіт, можна сказати, що подальші дослідження мають бути сфокусовані на задачах розробки інтегрованих стратегій управління безпекою територій на основі сталих (робастних) методів оцінки ризиків, основаних на оцінках та управлінні невизначеностями. Одним з найбільш важливих напрямів такого роду досліджень слід визнати розробку проблемно-орієнтованих методик оцінки невизначеностей при моделюванні окремих компонент геосистем. З точки зору розвитку досліджень в галузі ДЗЗ, можна зазначити важливість зусиль з подальшої розробки методів інтеркалібрування даних і калібрування спектрометричних вимірювань за даними наземних полігонних досліджень.

СПИСОК ОСНОВНИХ ПРАЦЬ ПО ТЕМІ ДИСЕРТАЦІЇ

Наукові праці, у яких опубліковані основні наукові результати дисертації:

1. Лялько В.І., Федоровський О.Д., Сиренко Л.Я., Рябоконенко О.Д., Костюченко Ю.В., Якимчук В.Г., Використання космічної інформації у вирішенні водогосподарських і водоохоронних завдань // Космічна наука і технологія, 1997, т.3, № 3/4, сс. 40 – 49
2. Федоровский А.Д., Гриневецкий В.Т., Костюченко Ю.В., Кувшинов А.Ю.Ландшафтоведческий подход при дешифрировании космических снимков // Космическая наука и технология, , т.4, №1, 1998, сс. 39 – 45
3. Лялько В.И., Федоровский А.Д., Костюченко Ю.В., Кувшинов А.Ю. Ландшафтно-системный подход при дешифрировании аэрокосмических изображений земной поверхности // Доповіді Академії наук України, 1999, - #4, сс. 135 – 141
4. Лялько В.И., Костюченко Ю.В., Ющенко М.В., Білоус Ю.Г. Використання систем супутникового спостереження Землі для моніторингу природних катастроф: аналіз наслідків цунамі у Південно – Східній Азії // Космічна наука і технологія, 2005, т.11, № 5/6, сс. 42 – 50
5. Marton L., Sandor F., Kostyuchenko Y. V. and Konvalina P. Organic Carbon Changes Over 40-years in a Haplic Luvisol Type Farmland in Hungary // Journal of Agricultural Science and Technology (ISSN 2161-6256) vol. 1, # 6A, 2011, - pp. 913-920
6. Костюченко Ю.В., Копачевський І.М., Ющенко М.В. Теоретико-методичні засади оцінки гідролого-гідрогеологічних ризиків за даними ДЗЗ // Космічна наука і технологія . 2011. Т.17. № 6. сс. 10—18
7. Костюченко Ю.В., Копачевський І.М., Соловйов Д.М., Ющенко М.В., Акименко П.О. Використання даних супутникових спостережень для оцінки регіональних гідролого-гідрогеологічних ризиків // Космічна наука і технологія . 2011. Т.17. № 6. сс. 19—29
8. Костюченко Ю. В., Ющенко М. В., Копачевський І. М., Левинський С. Методика комплексної оцінки ризиків ландшафтних пожеж за даними супутникових спостережень // Космічна наука і технологія . 2011. Т.17. № 6. сс. 30—44
9. Kostyuchenko Yuriy V., Márton László, Yuschenko M.V., Kopachevsky I. and Bilous Yu. Socio-ecological safety towards natural and technological disasters: Earth observations and ecological monitoring for water quality analysis // Int. J. Reliability and Safety, Vol. 6, Nos. 1/2/3, 2012, - pp. 204 – 224
10. Kostyuchenko Yuriy V., Kopachevsky I., Solovyov D., Yuschenko M.V., Bilous Yu. and Gunchenko V. Coupling of satellite observation to increase reliability of analysis of socio-ecological consequences of technological disasters // Int. J. Reliability and Safety, Vol. 6, Nos. 1/2/3, 2012, - pp. 225 – 241
11. Лялько В.І., Мовчан Д.М., Костюченко Ю.В., Копачевський І.М. Контроль параметрів динаміки регіональної рослинності на основі даних ДЗЗ з метою підвищення ефективності довгострокового управління гідролого-гідрогеологічними ризиками // Геоінформатика, 2012, - №1 (41), сс. 1 – 7
12. Костюченко Ю. В., Соловйов Д. М., Ющенко М. В., Дугін С. С., Копачевський І. М., Білоус Ю. Г., Артеменко І. Г. Застосування даних наземних полігонних спектрометричних вимірювань для калібрування даних дзз в задачах оцінки гідролого-гідрогеологічної безпеки // Космічна наука і технологія. 2012. Т. 18. № 6. С. 14–21
13. Костюченко Ю.В., Соловйов Д.М., Ющенко М.В., Дугін С.С., Копачевський І.М., Артеменко І.Г. Використання наземних гіперспектрометричних вимірювань для калібрування даних ДЗЗ в задачах оцінки стану навколишнього середовища // Доповіді Національної академії наук України, 2012, - № 10, сс. 109 – 114
14. Kostyuchenko Yuriy V., Bilous Yu., Movchan D., László Márton, Kopachevsky I. Toward methodology of satellite observation utilization for agricultural production riskassessment // IERI Procedia, **5**, 2013, pp. 21-27, doi: 10.1016/j.ieri.2013.11.065
15. Костюченко Ю.В., Ющенко М.В., Копачевський І.М., Соловйов Д.М., Білоус Ю.Г. Використання даних ДЗЗ для оцінки епідемічних (і соціо-екологічних) ризиків в прибережних регіонах (на прикладі аналізу спалаху холери в м. Маріуполь у 2011р.) // Космічна наука і технологія. – 2013. – 19, №1. – С. 57–67.

16. Костюченко Ю.В., Мовчан Д.М., Артеменко І.Г., Білоус Ю.Г. Оцінка невизначеності при визначенні продуктивності рослинного покриву та формування вуглецевого балансу територій за даними ДЗЗ // Геоінформатика, №3 (47), - 2013, - сс. 67-75, ISSN 1684-2189
17. Костюченко Ю.В., Білоус Ю.Г., Мовчан Д.М., Копачевський І.М., Ющенко М.В., Артеменко І.Г., Попадюк Л.В. Застосування методів нелінійної просторово-часової регуляризації для аналізу даних метеорологічних спостережень // Космічна наука і технологія, 2013.,- Т. 19., № 5., С. 52–59
18. Лялько В. І., Костюченко Ю. В., Артеменко І. Г., Попадюк Л. М., Федина Р. В., Волошаненко А. С. Аналіз невизначеностей в задачах оцінки кліматичних змін на регіональному рівні за даними супутникових спостережень парникових газів // Космічна наука і технологія. 2013. Т. 19. № 6. С. 18–26, ISSN 1561-8889
19. Костюченко Ю. В., Білоус Ю. Г., Соловйов Д. М., Копачевський І. М. Використання засобів супутникового спостереження в комплексі методів оцінки ризиків метеорологічних і кліматичних надзвичайних ситуацій на урбанізованих територіях // Космічна наука і технологія. 2013. Т. 19. № 6. С. 27–37
20. Kostyuchenko Yuriy V., Movchan D. Quantitative parameter of risk perception: can we measure a geoethic and socio-economic component in disaster vulnerability? // In: Peppoloni, S. & Di Capua, G. (eds) Geoethics: the Role and Responsibility of Geoscientists. Geological Society, London, Special Publications, **419**. – 2015, First published online Feb 16, 2015, http://dx.doi.org/10.1144/SP419.10
21. Kostyuchenko Y. V., Movchan, D., Kopachevsky, I., & Bilous, Y. Robust algorithm of multi-source data analysis for evaluation of social vulnerability in risk assessment tasks //Proc. of SAI Intelligent Systems Conference (IntelliSys), 2015. – IEEE Xplore, Nov 2015. – pp. 944-949.
22. Kostyuchenko Yuriy V., Movchan D., Kopachevsky I., Yuschenko M. Approach to multi-disaster vulnerability analysis based on risk perception model // Prace i Studia Geograficzne, v.61:4, Warsaw University, Faculty of Geography and Regional Studies, 2016, pp. 63-84, ISSN 0208-4589
23. Movchan D., Kostyuchenko Yu.V. 2015**.** Regional Dynamics of Terrestrial Vegetation Productivity and Climate Feedbacks for Territory of Ukraine // Int. J. of Geographical Information Science. Issue 6, - 2015, - pp. 889-912. DOI:10.1080/13658816.2015.1051985

Розділи монографій та збірники:

24. Костюченко Ю.В., Ющенко М.В., Білоус Ю.Г. Моделювання базових тенденцій формування та розвитку надзвичайних ситуацій гідрологічного характеру. В кн. Багатоспектральні методи дистанційного зондування Землі в задачах природокористування. За ред. В.І. Лялько і М.І. Попова, К.: Наукова думка, - 2006, сс. 120 – 143
25. Костюченко Ю.В., Ющенко М.В., Білоус Ю.Г. Інтерпретація багатоспектральних даних, пов’язаних з надзвичайними ситуаціями. В кн. Багатоспектральні методи дистанційного зондування Землі в задачах природокористування. За ред. В.І. Лялько і М.І. Попова, К.: Наукова думка, - 2006, сс. 238 – 244
26. Костюченко Ю.В. Завіркові дані для вирішення задач прогнозування паводкової небезпеки. В кн. Багатоспектральні методи дистанційного зондування Землі в задачах природокористування. За ред. В.І. Лялько і М.І. Попова, К.: Наукова думка, - 2006, сс. 282 – 284
27. Kostyuchenko Yuriy V. and Bilous Yu. Long-Term Forecasting of Natural Disasters Under Projected Climate Changes in Ukraine // in book: Regional Aspects of Climate-Terrestrial-Hydrologic Interactions in Non-boreal Eastern Europe Edited by Pavel Ya. Groisman and Sergiy V. Ivanov, published by Springer in cooperation with NATO Public Diplomacy Division, 2009, pp. 95 – 102
28. Lyalko Vadim I., Artemenko Igor G., Zholobak Galina M., Kostyuchenko Yuriy V., Levchik Olena I., and Sakhatsky Oleksiy I. Evaluating Vegetation Cover Change Contribution into Greenhouse Effect by Remotely Sensed Data: Case Study for Ukraine // in book: Regional Aspects of Climate-Terrestrial-Hydrologic Interactions in Non-boreal Eastern Europe Edited by Pavel Ya. Groisman and Sergiy V. Ivanov, published by Springer in cooperation with NATO Public Diplomacy Division, 2009, pp. 157 – 164
29. Kostyuchenko Yu. V., Kopachevsky I., Solovyov D., Bilous Y.and Gunchenko V. Way to reduce the uncertainties on ecological consequences assessment of technological disasters using satellite observations // in: Robust Design – Coping with Hazards, Risk and Uncertainty, Singapore, National University of Singapore, - 2010, - pp. 765 – 776
30. Kostyuchenko Yu. V., Laszlo M., Yuschenko M., Kopachevsky I., Bilous Y. Transboundary socio-ecological safety assessment: sustainability toward anthropogenic hazards and bioproductivity

degradation // in: Robust Design – Coping with Hazards, Risk and Uncertainty, Singapore, National University of Singapore, - 2010 - pp. 777 – 797
31. В.И. Лялько, Ю.В. Костюченко Современные представления о составе и строении атмосферы и ее роли в формировании климатических изменений. В кн.: Изменения земных систем в Восточной Европе / отв.ред В.И. Лялько. – Киев, 2010. – 582с. сс. 16-31
32. В.И. Лялько, Ю.В. Костюченко, И.Н. Дворецкая, Д.М. Мовчан, А.И. Сахацкий, З.М. Шпортюк, О.Н. Сибирцева, А.А. Апостолов, Е.И. Левчик, Г.М. Жолобак Оценка антропогенной и природной составляющих формирования парникових газов и аэрозолей над территорией Украины с использованием даннях ДЗЗ. В кн.: Изменения земных систем в Восточной Европе / отв.ред В.И. Лялько. – Киев, 2010. – 582с. сс. 103-168
33. Lyalko V.I., Kostyuchenko Yu.V., Movchan D.M. Analytical review of the state of art. In: Earth Systems Change over Eastern Europe. Coeditors P. Grois man, V. Lyalko. - K.: Akademperiodyka, 2012. — 488 p., 17 p. il. pp. 9-28. ISBN 978-966-360-195-3
34. Lyalko V.I., Kostyuchenko Yu.V., Movchan D.M., Sakhatsky A.I., Zholobak Z.M., Shportyuk Z.M., Sibirtseva O.N., Apostolov A.A., Levchik E.I., Artemenko I.G. Estimation of anthropogenic and natural sources of greenhouse gases over Ukraine using remote sensing data. In: Earth Systems Change over Eastern Europe. Coeditors P. Grois man, V. Lyalko. - K.: Akademperiodyka, 2012. — 488 p., 17 p. il. pp. 93-129. ISBN 978-966-360-195-3
35. Kostyuchenko Yuriy V., Kopachevsky I., Zlateva P., Stoyka Yu., and Akymenko P. Role of systemic risk in regional ecological long-term threats analysis // in: Sustainable Civil Infrastructures – Hazards, Risk, Uncertainty, Phoon, K. K., Beer, M., Quek, S. T. & Pang, S. D. (editors), Research Publishing, Singapore, - 2012, p.551 – 556, ISBN: 978-981-07-2219-7:: doi:10.3850/978-981-07-2219-7 P226
36. Kostyuchenko Yuriy V., Kopachevsky I., Yuschenko M., Solovyov D., Marton L., and Levynsky S. Spectral reflectance indices as indirect indicators of ecological threats // in: Sustainable Civil Infrastructures – Hazards, Risk, Uncertainty, Phoon, K. K., Beer, M., Quek, S. T. & Pang, S. D. (editors), Research Publishing, Singapore, - 2012, p.557 – 562, ISBN: 978-981-07-2219-7 :: doi:10.3850/978-981-07-2219-7 P227
37. Костюченко Ю.В., Мовчан Д.М., Ющенко М.В. Оцінка стану безпеки територій за даними статистичного аналізу розподілів надзвичайних ситуацій // в кн.: Комплексне моделювання управління безпечним використанням продовольчих, водних і енергетичних ресурсів з метою сталого соціального, економічного і екологічного розвитку / за ред. Загороднього А.Г., Єрмольєва Ю.М. – Київ, 2013. – сс. 54-63
38. Загородній А.Г., Богданов В.Л., Єрмольев Ю.М., Костюченко Ю.В. Комплексне моделювання управління безпечним використанням продовольчих, водних і енергетичних ресурсів з метою сталого соціального, економічного і екологічного розвитку // в кн.: Комплексне моделювання управління безпечним використанням продовольчих, водних і енергетичних ресурсів з метою сталого соціального, економічного і екологічного розвитку / за ред. Загороднього А.Г., Єрмольєва Ю.М. – Київ, 2013. – сс. 7-15
39. Kostyuchenko Yu.V. Infrastructure vulnerability assessment toward extreme meteorological events using satellite data. in: S. Kadry and A. El Hami (eds.), Numerical Methods for Reliability and Safety Assessment: Multiscale and Multiphysics Systems, Springer International Publishing Switzerland, 2014, XII, 805 p. 328 il., 382-403, DOI 10.1007/978-3-319-07167-1_15, ISBN 978-3-319-07166-4
40. Kostyuchenko Yu.V. Geostatistics and remote sensing for extremes forecasting and disaster risk multiscale analysis. in: S. Kadry and A. El Hami (eds.), Numerical Methods for Reliability and Safety Assessment: Multiscale and Multiphysics Systems, Springer International Publishing Switzerland, 2014, XII, 805 p. 328 il., 404-423, DOI 10.1007/978-3-319-07167-1_16, ISBN 978-3-319-07166-4
41. Movchan, D., Kostyuchenko, Y., Marton, L., Frayer, O., and Kyryzyuk, S. Uncertainty Analysis in Crop Productivity and Remote Estimation for Agricultural Risk Assessment // in: Vulnerability, Uncertainty, and Risk: Quantification, Mitigation, and Management, Edited by Michael Beer; Siu-Kui Au; and Jim W. Hall: pp. 1008-1015, ASCE, Liverpool, UK, 2014, doi: 10.1061/9780784413609.102
42. Kostyuchenko, Y., Bilous, Y., Solovyov, D., and Kopachevsky, I. Urban Infrastructure Risk Assessment toward Extreme Snowstorms Using Satellite Data // in: Vulnerability, Uncertainty, and Risk: Quantification, Mitigation, and Management, Edited by Michael Beer; Siu-Kui Au; and Jim W. Hall: pp. 1016-1026, ASCE, Liverpool, UK, 2014. doi: 10.1061/9780784413609.103
43. Ермольев Ю., Ермольева Т., Хавлік П., Монер А., Оберштайнер М., Костюченко Ю. Використання рекурсивного алгоритму зміни розмірності для вивчення різномасштабних змін

землекористування в моделі GLOBIOM // в кн.: Комплексне управління, безпека і робастність / під ред. Загородній А.Г., Єрмольєв Ю.М., Богданов В.Л. – Київ, 2014, «Академперіодика», сс. 61-76, ISBN 978-966-02-7376-4

44. Лялько В.І., Костюченко Ю.В., Артеменко І.Г., Мовчан Д.М., Ющенко М.В. Вивчення регіональних кліматичних змін за даними супутникових спостережень в задачах оцінки ризиків // в кн.: Комплексне управління, безпека і робастність / під ред. Загородній А.Г., Єрмольєв Ю.М., Богданов В.Л. – Київ, 2014, «Академперіодика», сс. 77-86, ISBN 978-966-02-7376-4
45. Лялько В. І., Костюченко Ю. В., Мовчан Д. М., Артеменко І. Г., Білоус Ю.Г., Ющенко М.В., Ваколюк М. В., Копачевський І.М. Оцінка ризиків за зміни клімату в України // Парниковий ефект і зміни клімату в Україні: оцінки та наслідки. // Єлістратова Л. О., Костюченко Ю. В, Кульбіда М. І., Мовчан Д. М.,.Сахацький О. І., та ін., наукова монографія під ред. В.І. Лялько, Київ, "Наукова Думка", 2015, ISBN 978-966-00-1526-5 сс. 163-212
46. Лялько В. І., Костюченко Ю. В., Єлістратова Л.О., Мовчан Д. М., Киризюк С.В., Копачевський І.М. Оцінка впливу природно-антропогенних процесів на соціально-економісний розвиток України // Парниковий ефект і зміни клімату в Україні: оцінки та наслідки. // Єлістратова Л. О., Костюченко Ю. В, Кульбіда М. І., Мовчан Д. М.,.Сахацький О. І., та ін., наукова монографія під ред. В.І. Лялько, Київ, "Наукова Думка", 2015, ISBN 978-966-00-1526-5 сс. 213-253
47. Kostyuchenko, Yuriy V. Risk Perception Based Approach to Analysis of Social Vulnerability // in: Risk Perception: Theories and Approaches. eds by Theodore Spencer, Nova SciPub., USA, 2016, pp. 17-50, ISBN: 978-1-63484-623-3
48. Kostyuchenko Yuriy V., Movchan Dmytro, Artemenko I., Kopachevsky I. Stochastic Approach to Uncertainty Control in Multiphysics Systems: Modeling of Carbon Balance and Analysis of GHG Emissions Using Satellite Tools // in: Mathematical Concepts and Applications in Mechanical Engineering and Mechatronics, ed. by Mangey Ram and J. Paulo Davim, IGI Global, USA, 2017, pp. 350-378, DOI: 10.4018/978-1-5225-1639-2.ch017

Публікації, що додатково висвітлюють зміст дисертації, праці апробаційного характеру, матеріали конференцій:

49. Лялько В.І., Артеменко І.Г., Жолобак Г.М., Костюченко Ю.В., Левчик О.І., Сахацький О.І. Дослідження впливу змін CO_2 та CH_4 в атмосфері на клімат за матеріалами космічних зйомок // Геол. журнал. -2007.- № 4.- сс.7-16
50. Лялько В.И., Викторов А.С., Сахацкий А.И., Костюченко Ю.В. Оценка динамики неблагоприятных гидролого-гидрогеологических процессов на основе использования спутниковой информации и цифровых моделей рельефа (на примере Полесского региона Украины) // Геол. журн., 2011. - № 4,- сс. 42 – 51
51. Даргейко Л.Ф., Лялько В.И., Федоровский А.Д., Костюченко Ю.В., Артеменко И.Г. Оптимизация данных глобального спутникового геомониторинга методом пространственной интерполяции Колмогорова на примере измерений атмосферных концентраций CO2 // Український журнал дистанційного зондування Землі, №1, - 2014, сс. 35-38
52. Лялько В. І., Сахацький О. І., Костюченко Ю. В., Мовчан Д. М., Артеменко І. Г., Ваколюк М. В. Парниковий ефект і зміни клімату в україні: оцінки та наслідки // Український журнал дистанційного зондування Землі, №3, - 2014, сс. 59-74
53. Kostyuchenko Yuriy V. Coupled Modeling, In-field, and Earth Observation Data Analysis for Emergency Response Optimization // in: “Coping with Uncertainty: Robust Decisions” IFIP/IIASA/GAMM Workshop Proc., Luxenburg, Austria, Dec, 2007, pp.10-27
54. Kostyuchenko Yuriy V., Bilous Y., Kopachevsky I., Solovyov D. Coherent risk measures assessment based on the coupled analysis of multivariate distributions of multisource observation data // Proceedings of 11-th International Probabilistic Workshop, Brno, 2013, - pp. 183-192
55. Zagorodny A., Yermoliev Yu., Bogdanov V., Heyetz V., Knopov P., Kostyuchenko Yu., Kulik M., Libanova E., Lylako V. Robust Food-Energy-Water Security Management for Sustainable Socioeconomic and Environmental Development: Methodological Challenges // Proc. of Systems Analysis 2015 Conference, IIASA, Laxenburg, Austria, s1-06
56. Ermoliev Y, Ermolieva T, Havlík P, Mosnier A, Obersteiner M, Leclere D, Fritz S, Kyryzyuk S, Kostyuchenko Y. Robust Rescaling Methods for Integrated Water, Food, and Energy Security Management under Systemic Risks and Uncertainty // Proc. of Systems Analysis 2015 Conference, IIASA, Laxenburg, Austria, s4-10

АНОТАЦІЯ

Костюченко Ю.В. Комплексування даних супутникових спостережень і математичного моделювання в задачах оцінки геоекологічних ризиків і безпеки. –Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.07.12 – Дистанційні аерокосмічні дослідження. – Державна установа «Науковий центр аерокосмічних досліджень Землі ІГН НАН України», Київ, 2017.

Робота присвячена вивченню ризиків НС засобами супутникового спостереження. В роботі запропонована теоретико-методична база використання супутникового спостереження земної поверхні, аналізу просторово-розподілених даних і методів моделювання енергомасообміну в природних системах для аналізу і прогнозування різномасштабних ризиків НС в рамках єдиного підходу, спрямованого на оптимізацію прийняття рішень в сфері сталого природокористування.

Запропоновано комплекс моделей природних систем і процесів, методів обробки даних спостережень і вимірювань, методи оцінки ризиків. Проведено розрахунки за запропонованими методиками, отримані розподілу кількісних показників ризиків окремих небезпечних процесів по регіонах України, оцінені невизначеності і достовірність розрахунків. Запропоновано методи використання засобів ДЗЗ в системах моніторингу та контролю НС, і оцінки ризиків.

ANNOTATION

Kostyuchenko Yu.V. Integration of data from satellite observations and mathematical modeling in the tasks of assessing geoecological risks and safety. - Manuscript.

Thesis for a scientific degree of the Doctor of Technical Sciences in speciality 05.07.12 – Remote sensing. - State Institution "Scientific Center for Aerospace Research of the Earth of the IGS of the NAS of Ukraine", Kiev, 2017.

Research is aimed to the development of methods for assessing the risks of disasters using the satellite monitoring. Theoretical and methodological basis for the application of satellite observation, analysis of spatially-distributed data and energy-mass exchange modeling of natural systems was proposed in the work. The multi-model approach for analyzing and forecasting the multi-scale hazards is proposed for optimization of decision-making in the field of sustainable nature management.

Using the proposed nonlinear algorithms, all available temporal and spatial distributions of natural disasters are analyzed. On this basis, existing hypotheses have been confirmed and new trends in the natural disaster development have been discovered.

New integrated models of energy-mass exchange in natural systems and models of formation of a useful signal of terrestrial objects and systems have been developed. They are oriented to application of satellite methods and analysis of spatially distributed data. Using well-known physical and statistical models, algorithms for estimating the parameters of the geological environment and natural systems are developed and adapted. In particular, models of snow cover, dynamics of soil cover moisture, and evapotranspiration have been developed.

Approaches to assessing the long-term effects of changes are also developed. In particular, the impact of climate change to the escalation of natural disasters for the territory of Ukraine is assessed. In particular, a set of methods for nonlinear multidimensional multivariate analysis for the assessment of risk measures in multi-component heterogeneous systems is proposed and applied in the work.

A number of methods of data analysis have been proposed and developed. In particular, the method of non-linear spatial-temporal regularization for the analysis of ground-based measurements to obtain regularized distributions of regional indicators; method of integrating data from local meteorological observations into global climate models; a method for evaluating complex measures of risk based on the results of a joint analysis of multivariate values based on nonparametric kernel copula were developed.

Problem-oriented methods for coupling the satellite data are developed and improved. Methods of data integration for the analysis of safety indicators are justified, developed, regionally adapted and applied. In particular, the decoding indicators for the assessment and prediction of the local flood potential have been determined, the necessary size and qualitative characteristics of verification data have been evaluated, a comprehensive scientific rationale for optimizing the satellite methods, an integrated approach to the use of spatially distributed data, remote sensing systems, data from landfills , and models of energy-mass exchange in geo-systems for the assessment of the disaster threats have been proposed in its final form.

According to the proposed methods, the necessary calculations were made; distributions of quantitative indicators of risks of certain hazardous processes in the regions of Ukraine were received; uncertainties were estimated and the reliability of the calculations is shown. Methods of using remote sensing in disaster monitoring and control systems and risk assessment are proposed. Thus, the scientific and methodological basis for the use of satellite observation and geospatial analysis in long-term hazard prediction problems associated with the emergency situations has been developed, and a number of applied methods and algorithms have been proposed.

АННОТАЦИЯ

Костюченко Ю.В. Комплексирование данных спутниковых наблюдений и математического моделирования в задачах оценки геоэкологических рисков и безопасности. – Рукопись.

Диссертация на соискание научной степени доктора технических наук по специальности 05.07.12 – Дистанционные аэрокосмические исследования. – Государственное учреждение «Научный центр аэрокосмических исследований Земли ИГН НАН Украины», Киев, 2017.

Работа посвящена изучению рисков ЧС средствами спутникового наблюдения. В работе предложена теоретико-методическая база использования спутникового наблюдения земной поверхности, анализа пространственно-распределенных данных и методов моделирования энергомассообмена в природных системах для анализа и прогнозирования разномасштабных рисков ЧС в рамках единого подхода, направленного на оптимизацию принятия решений в сфере устойчивого природопользования.

Предложен комплекс моделей природных систем и процессов, методов обработки данных наблюдений и измерений, методы оценки рисков. Проведены расчеты по предложенным методикам, получены распределения количественных показателей рисков отдельных опасных процессов по регионам Украины, оценены неопределенности и достоверность расчетов. Предложены методы использования средств ДЗЗ в системах мониторинга и контроля ЧС, и оценки рисков.