

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

БУЦ ЮРІЙ ВАСИЛЬОВИЧ



УДК 502.2:614.84:502.17(043.3)

**НАУКОВО-МЕТОДОЛОГІЧНІ ОСНОВИ РЕЛАКСІЇ ЕКОГЕОСИСТЕМ
ПРИ ТЕХНОГЕННОМУ НАВАНТАЖЕННІ ПРОГЕННОГО ПОХОДЖЕННЯ**

Спеціальність 21.06.01 – екологічна безпека

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
доктора технічних наук

Суми – 2020

Дисертація є кваліфікаційною науковою працею на правах рукопису.

Робота виконана на кафедрі екології та неоекології Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна Міністерства освіти і науки України.

Науковий
консультант –

доктор географічних наук, професор
Гриценко Анатолій Володимирович,
Науково-дослідна установа «Український науково-дослідний інститут екологічних проблем» Міністерства енергетики та захисту довкілля України, директор.

Офіційні опоненти:

доктор технічних наук, професор
Адаменко Ярослав Олегович,
Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу Міністерства освіти і науки України, завідувач кафедри екології,
м. Івано-Франківськ;

доктор технічних наук, професор
Петрушка Ігор Михайлович,
Національний університет «Львівська політехніка» Міністерства освіти і науки України, завідувач кафедри екологічної безпеки та природоохоронної діяльності Інституту сталого розвитку імені В. Чорновола,
м. Львів;

доктор технічних наук, доцент
Гурець Лариса Леонідівна,
Сумський державний університет Міністерства освіти і науки України, доцент кафедри прикладної екології,
м. Суми.

Захист дисертації відбудеться 6 березня 2020 р. о 10 год 00 хв на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 55.051.04 у Сумському державному університеті за адресою: 40007, м. Суми, вул. Римського-Корсакова, 2, корп. Ц, ауд. 204.

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці Сумського державного університету за адресою: 40007, Україна, м. Суми, вул. Римського-Корсакова, 2 та на сайті спеціалізованої вченої ради Д 55.051.04 за електронною адресою: <https://sumdu.edu.ua/uk/science/science-info/scientific-infrastructure/specialized-council/102-55-051-04.html>.

Автореферат розісланий 31 січня 2020 року.

Учений секретар
спеціалізованої вченої ради Д 55.051.04



І. Ю. Аблєєва

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Пожежі в лісових масивах, степах, полях та торфовищах, займаючи щорічно тисячі гектарів екогеосистем у межах України, є джерелом техногенного навантаження пірогенного походження та деструктивного впливу на екогеосистеми як у цілому, так і на окремі їх складові разом з порушенням гідрохімічних, геохімічних та теплових балансів у навколишньому середовищі. Руйнування компонентів довкілля під дією пірогенних чинників знижує рівень екологічної безпеки та загрожує сталому розвитку як території, що зазнала такої дії, так і держави у цілому.

Кількість небезпечних природних пожеж, за даними Державної служби України з надзвичайних ситуацій, у 2018 році збільшилася у 2 рази в порівнянні з 2017 роком (2018 рік – 25,1 тис. пожеж, 2017 рік – 12,8 тис. пожеж), а їх площа – на 13,8 % (2018 рік – 31 тис. га, 2017 рік – 26,7 тис. га).

Пожежі в лісах, як один із найбільш техногенно-екологічно небезпечних видів явищ у довкіллі, володіють високим ризиком катастрофічності. В Україні загальна площа лісів з великою ймовірністю виникнення пожеж становить близько 4 млн га, зокрема щороку фіксується в середньому 3500 лісових пожеж площею понад 5000 га.

Техногенне навантаження пірогенного походження посилюють степові пожежі, пожежі на луках, полях та хлібних масивах, які часто переходять у лісові, торф'яні пожежі, викликають пожежі у населених пунктах, на сільськогосподарських і промислових підприємствах та прилеглих територіях, тощо.

Особливо небезпечними є пожежі на заповідних територіях, зокрема в екогеосистемах природних резерватів, унікальних природних парках, заповідниках тощо, що обумовлено високим ступенем уразливості з боку зовнішнього впливу.

Постає проблема екологічної безпеки пірогенних чинників впливу на довкілля і важливість вивчення питання постпірогенної релаксії екогеосистем, оскільки аспекти відновлення й відтворення біорізноматіття до цього часу є невирішеними. Дослідження, що проводилися у цьому напрямі, є дискретними і незавершеними.

В умовах зростання техногенного тиску на екогеосистеми виникає необхідність розгляду процесів пірогенного впливу на екологічну безпеку системно, враховуючи всі взаємозв'язки між причинами виникнення пожеж, їх залежність від природно-техногенних чинників, масштабів впливу на довкілля та еколого-економічних наслідків.

У зв'язку з цим актуалізується потреба дослідження закономірностей постпірогенної релаксії екогеосистем після техногенного впливу пірогенного походження задля підвищення рівня екологічної безпеки регіонів України.

Таким чином, формування науково-методологічних основ релаксії екогеосистем при техногенному навантаженні пірогенного походження є актуальною науково-прикладною проблемою, вирішенню якої присвячена дисертаційна робота.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційне дослідження проведено відповідно до «Основних засад (стратегії) державної

екологічної політики України на період до 2020 року», затверджених Законом України від 21.12.2010 р. № 2818-VI; «Загальнодержавної програми формування національної екологічної мережі України на 2000–2015 роки», затвердженої Законом України від 21.09.2000 р. № 1989-III; «Державної цільової програми «Ліси України» на 2010–2015 роки», затвердженої Постановою Кабінету Міністрів України від 16.09.2009 р. № 977; «Державної стратегії регіонального розвитку на період до 2020 року», затвердженої Постановою Кабінету Міністрів України від 6.08.2014 р. № 385. Дисертаційна робота відповідає актуальним напрямкам Концепції Державної цільової програми розвитку лісового господарства України на період з 2016 до 2025 року, Концепції Загальнодержавної програми збереження біорізноманіття на 2005–2025 рр., Комплексної Програми охорони навколишнього природного середовища в Харківській області на 2009–2013 рр. та на перспективу до 2020 року.

В основу роботи покладено результати науково-дослідних робіт (НДР), у яких автор брав участь як керівник та виконавець: НДР «Закономірності забруднення важкими металами компонентів природно-територіальних комплексів в залежності від фізико-географічних умов в межах північно-східного регіону України» (номер держреєстрації 0105U007385); НДР «Моделювання і прогнозування змін природних і природно-антропогенних комплексів для цілей ландшафтного планування» (номер держреєстрації 0112U007571); НДР «Моделювання стану компонентів довкілля для створення системи екологічного менеджменту територій різного функціонального призначення» (номер держреєстрації 0115U000505); НДР «Мінімізація екологічних ризиків при ліквідації наслідків природних та техногенних катастроф (аварій) в системі екологічної безпеки, інвентаризація вхідних параметрів для створення системи оцінки екологічних ризиків та еколого-економічної ефективності заходів з ліквідації наслідків природних та техногенних катастроф (аварій)» (номер держреєстрації 0117U004873); НДР «Аналіз проблем безпеки життєдіяльності населення України у взаємозв'язку з екологічним станом та техногенним забрудненням довкілля» (номер держреєстрації 0117U007670).

Результати дисертаційного дослідження увійшли до колективної монографії «Науково-методичні та прикладні аспекти екологізації», яка виконана в межах комплексної теми науково-дослідної роботи «Науково-методичне забезпечення реалізації стратегії сталого розвитку» (номер держреєстрації 0113U000201).

Мета і завдання дослідження. Метою дисертаційної роботи є формування науково-методологічних основ релаксії екогеосистем при техногенному навантаженні пірогенного походження.

Для досягнення поставленої мети передбачалося вирішення таких завдань:

– проаналізувати результати екологічних досліджень та передумови формування науково-теоретичних засад релаксії екогеосистем при техногенному навантаженні пірогенного походження й систематизувати техногенний вплив пірогенних процесів на компоненти довкілля, життєдіяльність і здоров'я людини;

– обґрунтувати теоретико-методологічні основи оцінки ступеня ризику виникнення пожеж і техногенного ризику ураження пожежами екогеосистем України (на прикладі Харківської області) та розрахувати його оцінку;

– з'ясувати чинники та наслідки постпірогенної релаксії для видового різноманіття та біогеохімічних властивостей ґрунтів екогеосистем в умовах

техногенної дії;

- установити закономірності здійснення техногенного впливу пірогенного походження на геохімічну міграційну здатність важких металів (ВМ) у ґрунтах, уражених пожежами;

- розробити прогнозні моделі та оцінки утворення геохімічних форм сполук ВМ у екогеосистемах при техногенному навантаженні пірогенного походження та створити карту активності їх міграційної здатності;

- побудувати регресійні моделі постпірогенної релаксії екогеосистем в умовах техногенного навантаження на довкілля;

- розробити рекомендації з екологічно безпечного управління процесами відновлення екогеосистем з урахуванням науково-методологічних основ постпірогенної релаксії в умовах техногенного навантаження на довкілля.

Об’єкт дослідження – техногенний вплив пірогенного чинника на компоненти екогеосистем.

Предмет дослідження – релаксія екогеосистем при техногенному навантаженні пірогенного походження.

Методи дослідження. Теоретичну основу дисертаційного дослідження становлять класичні методи наукового пізнання: аналіз інформації та наукове узагальнення – при формулюванні наукової проблеми; системний підхід, що враховує всебічний вплив техногенно-екологічних чинників пірогенного походження та наслідки їх прояву в екогеосистемах. Використано екологічний, геохімічний та інші підходи, застосування яких дозволило простежити техногенний вплив пірогенного характеру на екогеосистеми та з’ясувати особливості їх релаксії.

Під час дослідження використано також аналітичні методи – для оцінювання характеру розподілу геохімічних забруднень ВМ екогеосистем; приладозабезпечені експериментальні – для визначення рівнів хімічного забруднення ґрунтів, зокрема атомно-абсорбційний метод; розрахункові та математичні – для обробки результатів експериментальних досліджень.

Наукова новизна і теоретичне значення одержаних результатів полягають у такому:

- *уперше* обґрунтовано науково-теоретичні засади релаксії екогеосистем при техногенному навантаженні пірогенного походження і науково-методологічні особливості її дослідження; сформульовано поняттєво-термінологічну систему «пірогенні процеси» та «постпірогенна релаксія екогеосистем»;

- *уперше* з метою підвищення екологічної безпеки довкілля розроблено прогнозну модель постпірогенного утворення геохімічних форм сполук ВМ у екогеосистемах при техногенному забрудненні пірогенного походження на основі концентраційно-логарифмічних діаграм, що дозволяє простежити закономірності активності їх міграційної здатності;

- *уперше* виявлено закономірності постпірогенної релаксії екогеосистем під впливом техногенного навантаження пірогенного походження з урахуванням відносної площі пожеж, середньої кількості пожеж у регіоні, втрат гумусу у ґрунті від дії вогню, динаміки кислотно-лужного балансу, що забезпечило впровадження рекомендацій з екологічно безпечного управління процесами їх релаксії;

– *удосконалено* та систематизовано схему узагальнення наслідків дії пірогенних чинників на екогеосистеми з позицій екологічної безпеки та раціонального природокористування в умовах техногенного навантаження; уточнено розрахунок математичної моделі теплового впливу теплового потоку від фронту лісової пожежі;

– *удосконалено* технічні рекомендації із забезпечення екологічної безпеки, раціонального природокористування та управління процесами постпірогенної релаксії екогеосистем після техногенної дії пірогенного походження, що сприяє підвищенню ефективності релаксії екогеосистем різних екологічних умов;

– *дістали подальший розвиток* теоретико-методологічні оцінки ступеня ризику виникнення пожеж і науково-методологічні підходи до розрахунку техногенного ризику ураження екогеосистем України (на прикладі Харківської області), що дозволяє спрогнозувати ураження земель лісового фонду при виникненні пожеж, виявити закономірності трансформації компонентів екогеосистем при техногенному впливі пірогенного походження та застосувати комплекс превентивних заходів з попередження їх виникнення.

Практичне значення результатів дослідження.

Сформульовані теоретичні й методологічні положення та виявлені на їх основі наслідки впливу пірогенних процесів на екогеосистеми й визначені закономірності постпірогенної релаксії екогеосистем при техногенному навантаженні підвищить ступінь обґрунтованості організаційних рішень з управління екологічною безпекою, а розраховані рівні ризику виникнення пожеж у лісових масивах і питомий техногенний ризик ураження лісових насаджень у Харківському обласному управлінні лісового і мисливського господарства дозволяють спрогнозувати ураження земель лісового фонду при виникненні пожеж та застосувати комплекс превентивних заходів з попередження їх виникнення, що підтверджується практичним впровадженням Ізюмським РВ ГУ ДСНС України у Харківській області (довідка про впровадження від 4 листопада 2016 року № 400/1057).

Застосування методів підвищення ефективності постпірогенної релаксії екогеосистем дозволяють використати рекомендації, спрямовані на удосконалення процесів природного відновлення екогеосистем в умовах техногенного впливу пірогенного походження на лісові масиви лісогосподарств, підпорядкованих Харківському обласному управлінню лісового і мисливського господарства й впровадити у практику діяльності державного підприємства «Ізюмське лісове господарство» (довідка про впровадження від 8 жовтня 2018 року №1434).

Результати проведених досліджень використані для розробки регіональної програми моніторингу природного відновлення біотичного та ландшафтного різноманіття території національного природного парку «Деснянсько-Старогутський» й природного заповідника «Дніпровсько-Орільський» і підвищення ефективності їх протипожежної охорони (довідка про впровадження від 2 жовтня 2018 року №153).

Рекомендації з управління процесами постпірогенної релаксії екогеосистем в умовах техногенного навантаження на довкілля враховані при розробці методичних рекомендацій з партисипативного стратегічного планування для місцевих територіальних громад України, що укладені Громадською спілкою «Слобожанські стратегії» в межах проекту «Improving the local governance in the PISOCHINSKY amalgamated community in Kharkiv region through creation and adoption of a participatory

development strategy», який виконується за фінансової підтримки Уряду Канади згідно грантової угоди №CFLI-2018-KYIV-0002 та запропоновані до застосування у партисипативній стратегії Пісочинської селищної об'єднаної громади Харківської області у 2018 році у розділі, присвяченому охороні довкілля від техногенного навантаження (довідка про впровадження від 1 жовтня 2018 року № 01Н-08\18).

Теоретичні та практичні розробки впроваджені в навчальному процесі під час підготовки фахівців-екологів на базі екологічного факультету Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна (акт впровадження від 15 жовтня 2018 року), зокрема при викладанні дисциплін «Екологічні проблеми сучасного виробництва», «Моніторинг довкілля», «Техногенна безпека держави», а також у Харківському національному економічному університеті імені Семена Кузнеця при викладанні дисциплін «Екологія», «Безпека життєдіяльності», «Екологічна безпека» (акт впровадження від 5 жовтня 2018 року).

Особистий внесок автора роботи. Дисертаційна робота є самостійно виконаним науковим дослідженням, у якому реалізоване авторське бачення обґрунтування науково-методологічних основ постпірогенної релаксії екогеосистем при техногенній дії, викликаній пожежами. У роботі прослідковується закономірностей постпірогенного функціонування екогеосистем, представлено ряд оригінальних положень щодо їх раціонального відновлення після пожеж, які складають теоретичну основу дисертаційного дослідження.

Дисертант брав безпосередню участь у проведенні польових, лабораторно-аналітичних та камеральних досліджень, виконанні статистично-математичної обробки даних, побудові картосхем та аналізі й узагальненні результатів експериментів. Усі викладені у тексті роботи висновки та положення отримані автором самостійно. Із наукових праць, опублікованих здобувачем у співавторстві, у дисертаційній роботі подані лише ті матеріали та положення, які отримані автором особисто та є результатом його самостійної роботи. Внесок дисертанта в роботах, опублікованих у співавторстві, наведений у списку праць за темою дисертації.

Апробація результатів дослідження. Основні положення й результати дисертаційної роботи доповідалися та обговорювалися на 65 наукових та науково-практичних конференціях всеукраїнського і міжнародного рівня: Всеукраїнській науково-практичній конференції «Чорнобильська катастрофа та її вплив на екологічну ситуацію в Україні» (м. Харків, АЦЗУ, 2006 р.); Міжнародному науково-практичному семінарі «Riadenie bezpečnosti zložitých systémov» (Liptovský Mikuláš, Словаччина, 2009 – 2014 рр.); 15-й Міжнародній науковій конференції «Riešenie krízových situácií v špecifickom prostredí» (Žilina, Словаччина, 2010 р.); IX-й Міжнародній науково-методичній конференції «Безпека життя і діяльності людини – освіта, наука, практика» (м. Львів, ЛНУ імені Івана Франка, 2010 р.); 5-й Міжнародній конференції «Bezpečnostné Fórum 2012» (Banská Bystrica, Словаччина, 2012 р.); Riadenie bezpečnosti zložitých systémov 2012 L. Mikuláš, Liptovský Mikuláš, Словаччина, 2012 р.); Міжнародній науково-практичній конференції «Еколого-правові та економічні аспекти екологічної безпеки регіонів» (м. Харків, ХНАДУ, 2010–2012 рр.); Міжнародній науково-практичній конференції «Регіон: стратегія оптимального розвитку» (м. Харків, ХНУ імені В. Н. Каразіна, 2010–2012 рр., 2015 р., 2016 р.); Міжнародній науково-практичній конференції «Охорона навколишнього

середовища промислових регіонів як умова сталого розвитку України» (м. Запоріжжя, ЗНУ, 2010–2012 рр.); Всеукраїнських наукових Галіівських читаннях (м. Харків, ХНУ імені В. Н. Каразіна, 2010–2016 рр.); 10-й Міжнародній науково-методичній конференції «Безпека життя і діяльності людини – освіта, наука, практика» (м. Київ, НАУ, 2011 р.); Міжнародній науковій конференції «Охорона довкілля та проблеми збалансованого природокористування» (м. Кам'янець-Подільський, КППУ імені Івана Огієнка, 2011 р.); XI-й Міжнародній науково-методичній конференції «Безпека життя і діяльності людини – освіта, наука, практика» (м. Донецьк, ДонНУ, 2012 р.); 2-му Міжнародному конгресі «Захист навколишнього середовища. Енергоощадність. Збалансоване природокористування» (м. Львів, НУ «Львівська політехніка», 2012 р.); IX-й, XII-й, XIII-й, XIV-й Міжнародній науково-технічній конференції «Проблеми екологічної безпеки» (м. Кременчук, КрНУ імені Михайла Остроградського, 2012 р., 2015–2017 рр.); XI-му з'їзді Українського географічного товариства (м. Київ, КНУ імені Тараса Шевченка, 2013 р.); Всеукраїнській науково-практичній конференції «Наукове забезпечення оперативно-рятувальних підрозділів (теорія та практика)» (м. Харків, НУЦЗУ, 2014 р.); XIII-й Міжнародній науково-методичній конференції «Безпека життя і діяльності людини – освіта, наука, практика» (м. Київ, НАУ, 2014 р.); IX Міжнародній науково-практичній конференції присвяченій 15-річчю створення Національного природного парку «Сколівські Бескиди» «Збереження та відтворення біорізноманіття природно-заповідних територій» (м. Львів, НПП «Сколівські Бескиди», 2014 р.); XV-й Міжнародній науково-методичній конференції «Безпека життя і діяльності людини – освіта, наука, практика» (м. Київ, НАУ, 2016 р.); Міжнародній науковій конференції «Екологічні дослідження лісових біогеоценозів степової зони України» (м. Дніпро, ДНУ, 2016 р.); X–XXI Міжнародних науково-практичних конференціях «Екологія, охорона навколишнього середовища та збалансованого природокористування: освіта – наука – виробництво» (м. Харків, ХНУ імені В. Н. Каразіна, 2007–2018 рр.); наукових конференціях професорсько-викладацького складу Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна (Харків, 2010–2018 рр.).

Публікації. Основні положення і результати дисертаційного дослідження викладені у 59 наукових працях, з яких: 43 статті, зокрема 23 статті – у наукових фахових виданнях України та періодичних виданнях інших держав з технічних наук, 18 статей – у наукових фахових виданнях із переліку МОН України з географічних, геологічних та біологічних наук, що додатково висвітлюють результати дисертаційних досліджень, 2 статті – у виданнях, що індексуються БД Web of Science Core Collection; 16 тез доповідей у матеріалах міжнародних та всеукраїнських конференцій.

Структура та обсяг дисертації. Дисертаційна робота складається з анотації, вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків. Загальний обсяг дисертації – 399 сторінок, з них 266 сторінок основного тексту. Дисертаційна робота містить 76 рисунків і 42 таблиці, з яких 8 рисунків та 12 таблиць займають окремі сторінки, 390 найменувань списку використаних джерел на 41 сторінці та 10 додатків на 42 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми дисертаційної роботи, сформульовано мету та завдання досліджень, визначено наукову новизну та практичну цінність одержаних результатів, наведено дані про особистий внесок здобувача, апробацію результатів дисертації, структуру й обсяг роботи тощо.

У **першому розділі** дисертаційного дослідження – *«Аналіз екологічної проблематики досліджень техногенного навантаження пірогенного походження на екогеосистеми»* – наведено аналіз дефініцій основних наукових термінів та понять при дослідженні техногенного навантаження пірогенного походження на екогеосистеми, вивчено природні пожежі в Україні як чинник техногенної небезпеки. Систематизовано техногенний вплив пірогенних процесів на компоненти довкілля та його стан, а також вплив пожеж на життєдіяльність та здоров'я людини; запропоновано поняття «постпірогенна релаксія екогеосистем» та науково-методологічні особливості її дослідження.

На підставі аналізу робіт таких вчених як: О. М. Адаменко, Д. Л. Арманд, А. В. Гриценко, М. Д. Гродзинський, Б. М. Данилишин, В. Ю. Некос, Ф. М. Мільков, Я. Б. Олійник, Л. Д. Пляцук, Г. І. Рудько, Л. Г. Руденко, В. Б. Сочава та ін., в основі яких лежать теоретичні та методологічні положення про системність процесів, які розвиваються в екогеосистемах різного ієрархічного рівня, автором означені проблеми техногенного впливу, викликаного пожежами на довкілля, науково-методологічні основи релаксії екогеосистем, пошук та створення за їх допомогою механізмів управління екологічною безпекою, вивчення й обґрунтування ступеня відповідності екологічних умов завданням збереження здоров'я людини та забезпечення сталого соціально-економічного розвитку та потенціалу держави.

Більшість наукових публікацій в Україні та за її межами присвячені: виявленню осередків лісових пожеж, прогнозуванню динаміки їх поширення (Покровський, 2002; Кравців, Сознік, 2010), залежності пожежної безпеки лісів від типів насаджень (Биков, Комяк, 2010; Кузик, 2011), математичному моделюванню розвитку пожеж у екогеосистемах (Курбатський, 1970; Доррер, 1979; Гришин, 1992; Калиновський, Сознік, 2007), гасінню лісових пожеж тощо, що не має прямого відношення до виявлення сутності і механізмів пірогенної деструкції екогеосистем та їх постпірогенного відновлення.

Екологічно небезпечним процесам, що відбуваються в екогеосистемах та процесам поступового повернення у стан рівноваги екогеосистеми після припинення дії чинників, що вивели її з нього, тобто з огляду на предмет дослідження пропонуємо під «постпірогенною релаксією» трактувати сукупність усіх процесів в екогеосистемі, що спрямовані на встановлення стану рівноваги після впливу пірогенного чинника. Для повернення екогеосистеми до стану рівноваги потрібен певний інтервал часу, протягом якого відбуваються процеси відновлення (відтворення) режиму функціонування екогеосистеми.

Постпірогенна релаксія екогеосистем також суттєво буде залежати від таких факторів дії пірогенного чинника: інтенсивності вогню, сили, швидкості поширення, погодних умов, фенологічного періоду і гіпотетично тривалість постпірогенної релаксії повинна динамічно варіювати від екогеосистем автономних екологічних

умов функціонування до екогеосистем модифікованих та екологічно залежних.

Для формування уявлення про вплив пірогенних процесів на екогеосистеми і розуміння постпірогенної релаксії здобувачем узагальнено й систематизовано вплив пірогенних процесів на екогеосистеми (рис. 1) та спрогнозовано розвиток цих процесів під час релаксії екогеосистем (рис. 2).

Таким чином, проаналізовано екологічну проблематику досліджень та передумови формування науково-теоретичних засад релаксії екогеосистем при техногенному навантаженні пірогенного походження. Сформульовано дефініцію поняття «постпірогенна релаксія екогеосистем», а також удосконалено та систематизовано схему наслідків дії пірогенних чинників на екогеосистеми з позицій екологічної безпеки та раціонального природокористування в умовах техногенного навантаження.

Другий розділ дисертаційної роботи – *«Обґрунтування теоретико-методологічних оцінок техногенного ризику пірогенного походження та ймовірність ураження пожежами екогеосистем України (на прикладі Харківської області)»* – присвячено прогнозуванню виникнення пожеж у екогеосистемах на підставі їхніх станів, використано ризик-орієнтований підхід у прогнозуванні виникнення лісових пожеж, удосконалено контроль відбору проб при дослідженні техногенного впливу на довкілля. Проведено оцінку дії пірогенного чинника на дендрогенні екогеосистеми. Проаналізовано ймовірність виникнення пожеж в екогеосистемах лісових масивів Харківщини у результаті техногенного навантаження та оцінено ступінь питомого техногенного ризику ураження пожежами лісових екогеосистем у Харківському регіоні.

Аналіз лісових пожеж у Харківському регіоні показав, що переважна кількість пожеж та їх площа спостерігається у весняні, пізньовесняні, осінні і пізньоосінні семигумідні макротермальні стекси. На підставі виявлених відмінностей добових станів екогеосистем, пропонується вдосконалений метод оцінки поточної пожежної небезпеки, в якому критерієм виступає «стани природних комплексів».

За допомогою розрахункових кодів з оцінки ризиків, було використано код IRRAS (Хенли, Кумамото, 1984), оброблено статистичні дані та оцінено достовірність прояву несприятливих подій, що викликають пожежі й визначено їх значимість. За результатами досліджень побудовано дерево відмов моделі виникнення пожежі в лісовому масиві.

Аналітичне дослідження теплопровідності зводиться до вивчення просторово-часової зміни фізичної величини – температури (T), характерної для цього явища, тобто до знаходження залежності:

$$T = f(x, y, z, t), \quad (1)$$

де x, y, z – просторові координати в декартовій системі; t – час, с.

Визначено теплове випромінювання від вогню, що діє на стовбур дерева на різній відстані від пожежі. За теорією теплопровідності (Ликов, 1967), розрахунок можливої температури на поверхні стовбура дерева виконано за формулою:

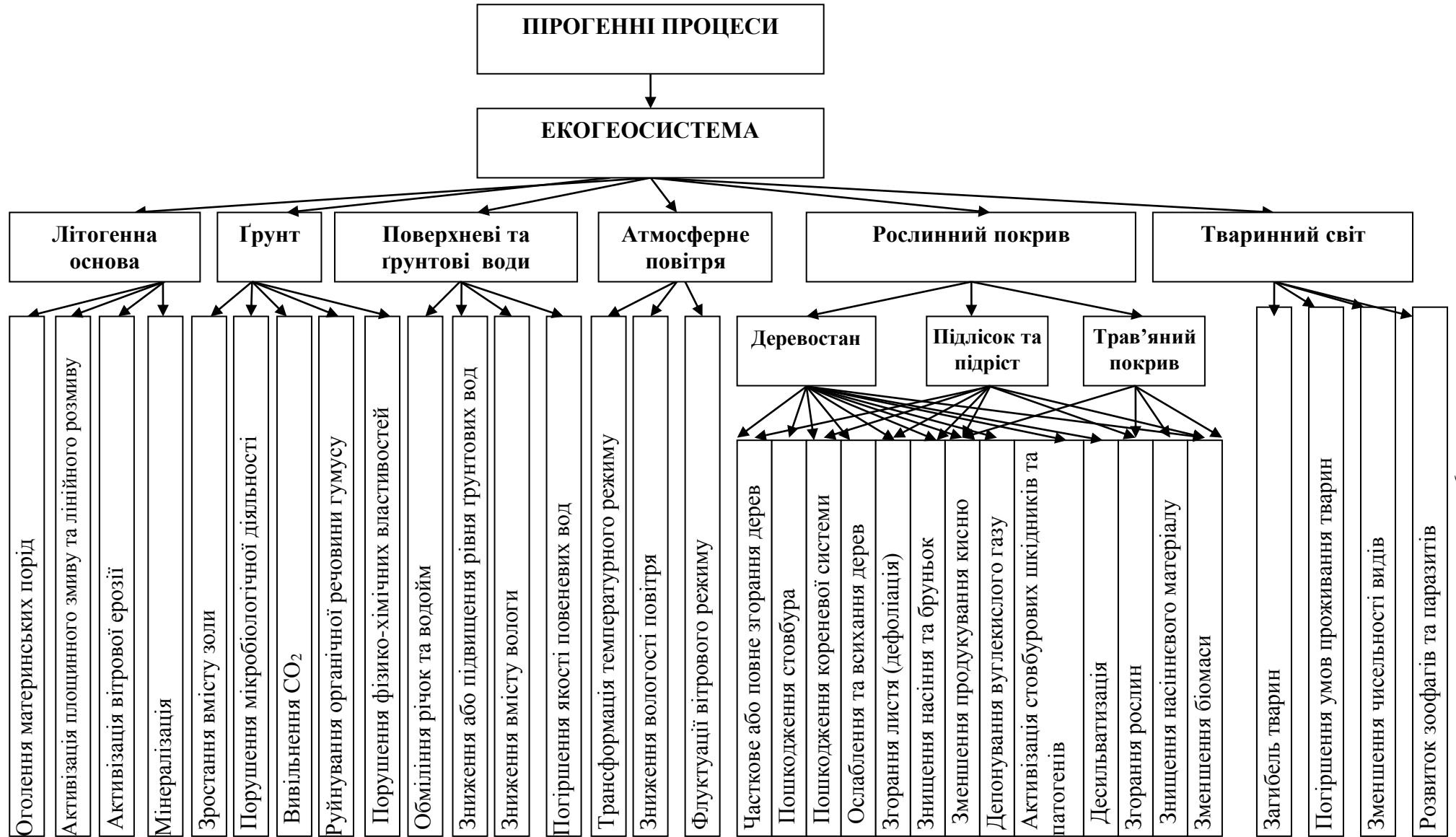


Рисунок 1 – Вплив пірогенних процесів на компоненти екогеосистеми

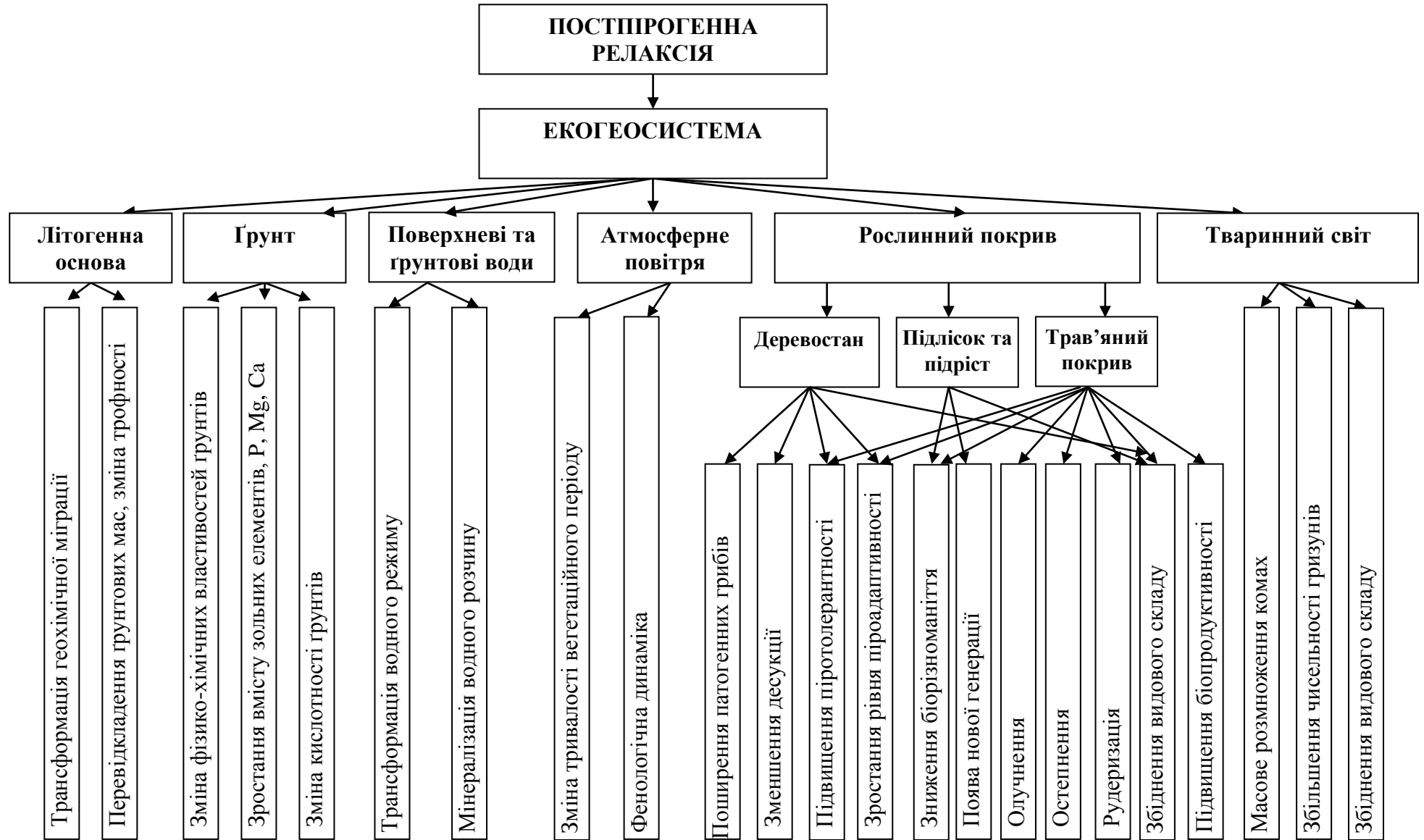


Рисунок 2 – Постпірогенні процеси релаксії екогеосистем

$$T_1 = T_0 + \frac{q \cdot t}{A} \cdot \frac{1}{\sqrt{\frac{\pi \cdot \lambda \cdot c_{\text{п}} \cdot \gamma \cdot t}{4}}}, \quad (2)$$

де T_1 – температура на поверхні стовбура, °С; T_0 – початкова температура, °С; q – щільність теплового випромінювання, кВт/м²; t – час дії пірогенного чинника, с; A – коефіцієнт поглинання; γ – щільність, кг/м³; $c_{\text{п}}$ – питома теплоємність, кДж/(м·К); λ – теплопровідність, Вт/(м·К).

Оскільки в умовах лісових масивів Харківського регіону здебільшого переважають низові пожежі висотою 1–1,5 м, експериментальним шляхом за допомогою пірометра та проведених розрахунків виявлено, що щільність теплового потоку піддається такій залежності від висоти пожежі:

$$q = 15,93 \cdot x + 28,55, \quad (3)$$

де q – щільність теплового випромінювання, кВт/м²; x – висота пожежі, м.

Спрогнозовано вплив температури на стовбури дерев за висоти пожежі 1,5 м. На стовбурі дерев температура може досягати понад 300 °С вже через 60 с впливу вогню, отже, уточнено тривимірні моделі прогнозу впливу теплового випромінювання на стовбури дерев у залежності від часу і висоти полум'я від відстані та від джерела вогню та часу впливу температури.

У результаті досліджень було удосконалено розрахунок математичної моделі теплового впливу теплового потоку від фронту лісової пожежі на хвойні дерева (на прикладі сосни) та часу (рис. 3).

Згідно з даними Харківського обласного управління лісового і мисливського господарства (2017) у період 2008–2017 рр. пожежами пройдено 2847 га, зокрема верховими пожежами – 625 га. Це становить близько 2 % всієї площі лісових насаджень Харківщини. Розраховано, що основна кількість пожеж (від 65 % до 90 %) – це дрібні (0,2–1 га) і малі (1–10 га), причому дрібних пожеж більше; на загоряння (менше 0,2 га) і середні пожежі (10–50 га) – по 10 %, чисельність значних (50–200 га) і великих (200–1000 га) істотно менше (2 %). Пожежі понад 1000 га – одиничні (за період спостережень – 1 випадок в «ДП Ізюмський лісгосп» у 2008 році). Порівнюючи одержані картосхеми, що характеризують динаміку виникнення пожеж на території Харківського регіону, з картою рослинності та ландшафтною картою, можемо відзначити відносну збереженість природних комплексів Ізюмського і Куп'янського районів, що суттєво підвищує ризик екологічної небезпеки пірогенного походження.

Проведено розрахунки динаміки виникнення пожеж в екогеосистемах лісових масивів (2008–2017 рр.) (рис. 4) та визначено ступінь ризику виникнення пожеж за роками (табл. 1), та обраховано оцінку питомого техногенного ризику ураження лісової площі з метою прогнозування виникнення в екогеосистемах надзвичайних подій, спровокованих пірогенним чинником (табл. 1).

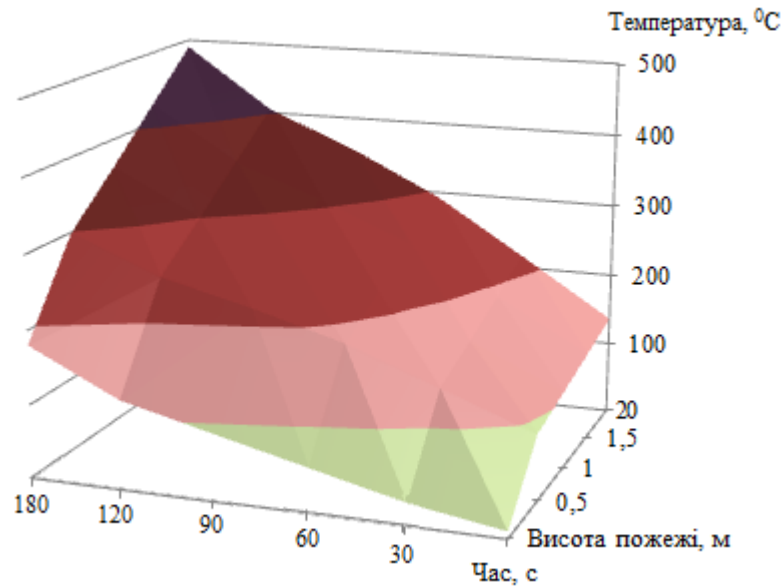


Рисунок 3 – Тривимірна модель впливу пірогенного чинника на стовбур залежно від часу і висоти пожежі на відстані 4 м

Оцінка ступеня ризику (R) визначається як відношення кількості небезпек пірогенного походження (n_f) до максимальної можливої частоти їх виникнення за конкретний період часу (N_f) (табл. 1).

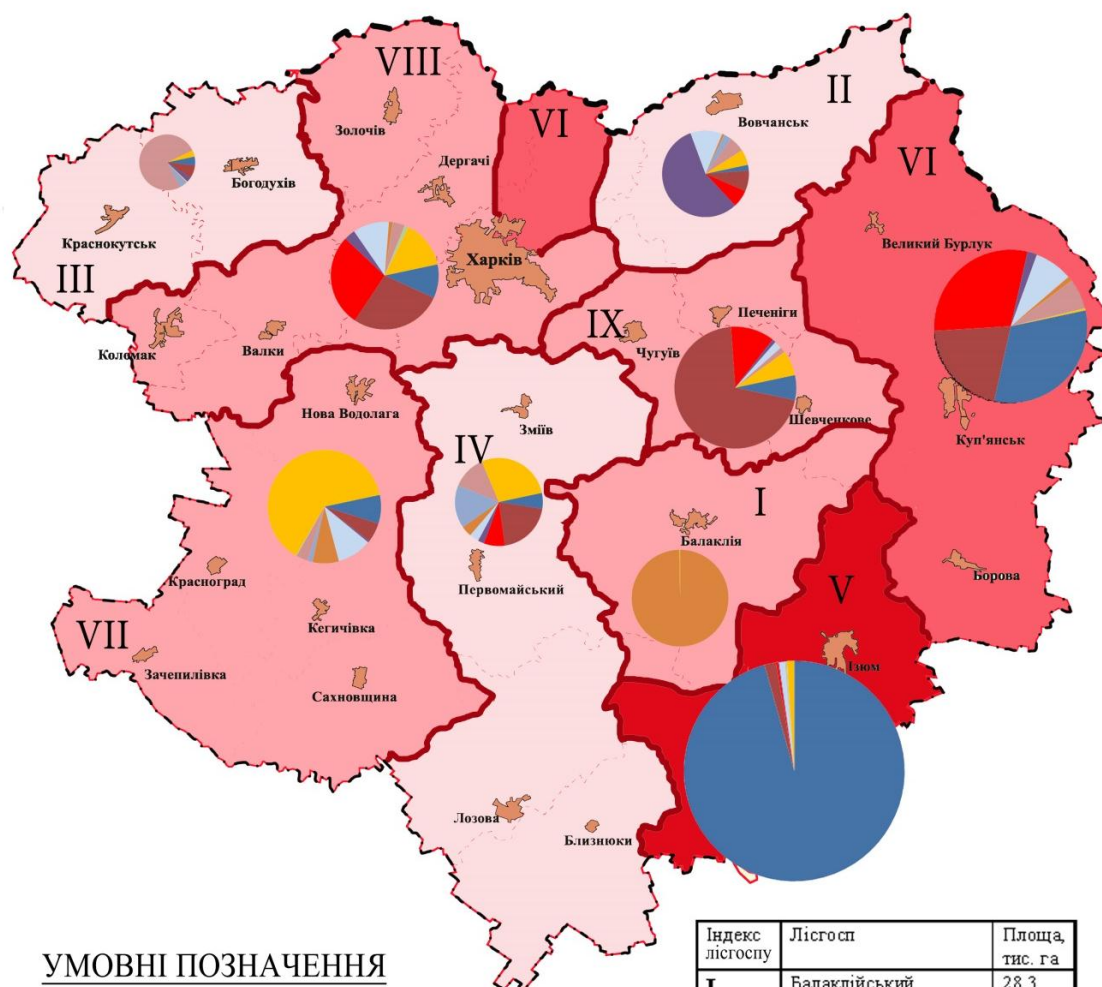
Таблиця 1 – Ступінь ризику виникнення пожеж за роками

Рік	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Площа, пройдена вогнем, га	1822,7	215,58	155,5	34,59	86,92	25,84	30,49	79,24	5,37	241,27
Ризик виникнення пожежі, R	$6,1 \cdot 10^{-3}$	$0,7 \cdot 10^{-3}$	$0,5 \cdot 10^{-3}$	$0,1 \cdot 10^{-3}$	$0,3 \cdot 10^{-3}$	$0,8 \cdot 10^{-4}$	$0,1 \cdot 10^{-3}$	$0,3 \cdot 10^{-3}$	$0,2 \cdot 10^{-4}$	$0,8 \cdot 10^{-3}$

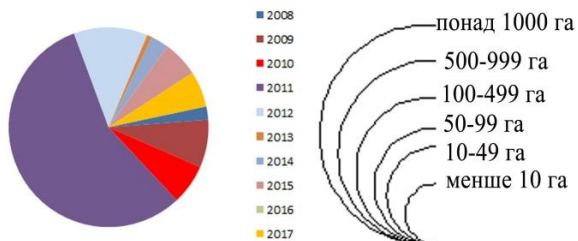
Пік показника ступеня ризику, що пояснюється суттєвим збільшенням кількості лісових пожеж, припадає на 2008 рік. Визначальною стала лісова пожежа в Ізюмському лісгоспі, площа якої досягала понад 600 га.

Під час розрахунку питомого техногенного ризику ураження екогеосистем при дії пірогенного чинника використано методику прогнозування на основі логічної моделі, за якої здійснюють алгоритм розрахунку техногенного ризику в техноприродній геосистемі (Рудько, 2009).

У дисертаційній роботі удосконалено цю модель для розрахунку ступеня техногенного ризику ураження території від пожеж. Згідно з методикою візьмемо за об'єкт небезпеки освоєну частину таксона площею S_0 (для досліджуваного випадку – територія окремого лісгоспу) від загальної його площі S_t (територія лісових масивів). У межах таксону періодично виникає небезпека у вигляді виникнення пожежі в екогеосистемі (H), що характеризує площу S_H .



УМОВНІ ПОЗНАЧЕННЯ



Динаміка виникнення лісових пожеж по роках

Площа лісів уражених пожежами



Адміністративні центри

Кордони:

- районів
- · - · області
- лісгоспів

Індекс лісгоспу	Лісгосп	Площа, тис. га
I	Балаклійський	28,3
II	Вовчанський	27,9
III	Гутянський	31,1
IV	Змівський	32,3
V	Ізюмський	53,0
VI	Куп'янський	37,4
VII	Красноградський	14,6
VIII	Жовтневий	48,4
IX	Чугуєво-Бабчанський	22,6
Разом		298,9

<1%	1-10%	11-50%	>50%
-----	-------	--------	------

Питома вага площі пожеж за лісгоспами

Масштаб 1:1000000

Рисунок 4 – Динаміка виникнення пожеж за період 2008–2017 рр. у лісових масивах Харківської області

Геометрична ймовірність виникнення небезпеки в освоєній частині таксону дорівнює S_0/S_t , а ймовірність пошкодження будь-якої точки цієї частини – S_H/S_0 . Тому ймовірність одночасної реалізації у просторі небезпечної події (пожежі) $P(S_t, S_0)$ визначатиметься за формулою:

$$P(S_t \cdot S_0) = \frac{S_0 \cdot S_H}{S_t \cdot S_0} = \frac{S_H}{S_t}. \quad (4)$$

Одержана ймовірність визначає частку можливих утрат об'єкта в разі реалізації небезпеки, тобто виникнення пожежі.

Ця ймовірність залежить від площі об'єкта пошкодження (4) і є показником його реакції на небезпеку. Пропонується називати цю ймовірність ступенем ураженості території при дії певної небезпеки (H) або просто ураженістю і позначити $V_m(H)$.

Матеріальні втрати $D_m(H)$ у вигляді площі, пошкодженої у разі одиничного прояву небезпеки (у цьому випадку пожежі), визначаються як:

$$D_m(H) = V_m(H) \cdot S_0 = \frac{S_0}{S_t} \cdot S_H. \quad (5)$$

Розрахунок виражає небезпеку, яка зачіпає освоєну територію з імовірністю S_0/S_t , при цьому щоразу пошкоджує площу S_H .

Отже, ризик пошкодження (ураження) одиниці площі в межах освоєної частини території S_0 у часі й просторі R_{sm} , (небезпека H), повний інтегральний ризик втрат R_m за цієї події розраховуються за формулами:

$$R_{sm}(H) = P^*(H) \cdot V_m(H). \quad (6)$$

$$R_m(H) = P^*(H) \cdot D_m(H) = R_{sm} \cdot S_0, \quad (7)$$

де $P^*(H)$ – повторюваність небезпеки H , що чисельно дорівнює її статистичній імовірності (Рудько, Гошовський, 2009).

Запропоновано застосовувати комплексний коефіцієнт, що враховує щільність населення, щільність розміщення об'єктів підвищеної небезпеки (ОПН) та частку об'єктів підвищеної небезпеки в районі розташування лісгоспу у порівнянні із загальною кількістю цих об'єктів у регіоні:

$$\mu = d f D, \quad (8)$$

де μ – сумарний коефіцієнт, що враховує техногенне навантаження; d – щільність населення, осіб/км²; f – щільність розміщення ОПН, од./км²; D – частка ОПН у загальному обсязі ОПН у регіоні.

Оцінку залежності площі пожеж від цього коефіцієнта наведено на рис. 5.

За наданими розрахунками простежується достатньо показова кореляція. Коефіцієнт детермінації $R^2 = 0,9091$.

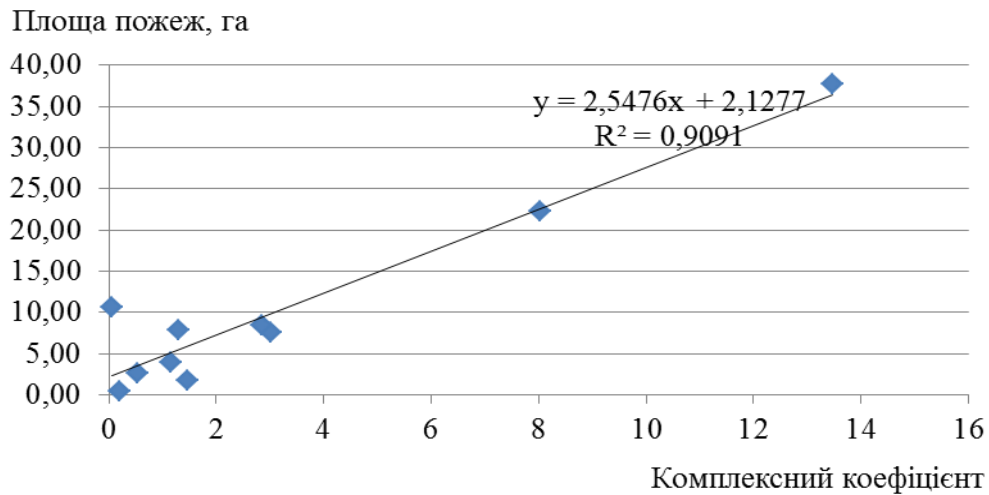


Рисунок 5 – Залежність площі лісових пожеж (га) від комплексного коефіцієнта

У результаті підсумовування балів за основними чинниками, з урахуванням коефіцієнтів їх значущості, для кожного адміністративного району визначався середній бал, який є інтегральним показником природно-антропогенних умов виникнення пожеж (табл. 2).

Таблиця 2 – Визначення інтегрального показника природних та антропогенних передумов виникнення природних пожеж

Лісгосп	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	Інтегральний показник, I
	Оцінка за 4-бальною шкалою					
Жовтневий	4	3	4	4	3	3,7
Чугуєво-Бабчанський	3	2	4	4	3	3,1
Куп'янський	3	4	2	3	4	3,2
Красноградський	3	2	3	3	4	3,1
Балаклійський	4	3	1	2	3	2,95
Ізюмський	2	4	2	3	4	2,8
Гутянський	3	3	2	3	3	2,5
Зміївський	1	4	2	4	3	2,4
Вовчанський	2	3	1	1	3	1,8

X_1 – щільність населення, осіб/км²; X_2 – лісистість території, %; X_3 – частка ОПН, %; X_4 – площа, що приходить на кожен ОПН, км²; X_5 – відношення кількості опадів до середньої температури повітря у червні-серпні.

Ці показники дозволили провести типізацію адміністративних районів Харківської області з виділенням площ: з надзвичайно високою, високою, помірною і малою небезпекою виникнення лісових пожеж на землях лісового фонду.

Тому наведена удосконалена методика розрахунку ступеня техногенного ризику ураження території від пожеж техногенного походження шляхом уведення інтегрального показника природних та антропогенних передумов виникнення

природних пожеж I (табл. 2).

При введенні цього показника формула розрахунку повного питомого ризику втрат R_m набуде вигляду:

$$R_m(H) = I \cdot P^*(H) \cdot D_m(H) = I \cdot R_{sm} \cdot S_0, \quad (9)$$

де R_m – повний питомий ризик втрат при дії певної небезпеки (H); I – інтегральний показник природних та антропогенних передумов виникнення природних пожеж; $P^*(H)$ – повторюваність небезпеки H ; $D_m(H)$ – матеріальні втрати у вигляді площі, пошкодженої у разі одиничного прояву небезпеки; R_{sm} – ризик пошкодження (ураження) одиниці площі в межах освоєної частини території S_0 у часі й просторі.

Використовуються такі значення ризику: 10^{-3} – неприйнятний, 10^{-4} – прийнятний лише за особливих обставин, 10^{-5} – потребує детального обґрунтування, 10^{-6} – прийнятний (Данилишин та ін., 2008). Лісові масиви «ДП Куп'янський лісгосп», «ДП Жовтневий лісгосп» і «ДП Чугуєво-Бабчанський лісгосп» віднесено до групи ризику, що потребує детального обґрунтування (табл. 3). Екогеосистеми «ДП Ізюмський лісгосп» характеризуються ризиком, прийнятним лише за особливих обставин.

Таблиця 3 – Техногенний ризик ураження території від лісових пожеж в екогеосистемах Харківщини

Індекс	Лісгосп	Площа, S_0 , тис. га,	Площа пожеж, S_H , га,	Ураженість, $V_m(H)$	Матеріальні втрати, $D_m(H)$	Інтегральний ризик втрат, $R_m(H)$
I	Балаклійський	28,3	75,06	$2,6 \cdot 10^{-3}$	$7,1 \cdot 10^{-3}$	$3,03 \cdot 10^{-6}$
II	Вовчанський	27,9	17,22	$6,2 \cdot 10^{-4}$	$1,6 \cdot 10^{-3}$	$2,58 \cdot 10^{-6}$
III	Гутянський	31,1	38,69	$1,2 \cdot 10^{-3}$	$4,0 \cdot 10^{-3}$	$1,26 \cdot 10^{-6}$
IV	Зміївський	32,3	26,05	$8,1 \cdot 10^{-4}$	$2,8 \cdot 10^{-3}$	$1,72 \cdot 10^{-6}$
V	Ізюмський	53,0	1745,32	$3,3 \cdot 10^{-2}$	$6,09 \cdot 10^{-2}$	$5,79 \cdot 10^{-4}$
VI	Куп'янський	37,4	377,05	$1,0 \cdot 10^{-2}$	$4,7 \cdot 10^{-2}$	$7,83 \cdot 10^{-5}$
VII	Красноградський	14,6	222,23	$1,5 \cdot 10^{-2}$	$1,1 \cdot 10^{-2}$	$5,05 \cdot 10^{-6}$
VIII	Жовтневий	48,4	106,49	$2,2 \cdot 10^{-3}$	$1,7 \cdot 10^{-2}$	$2,61 \cdot 10^{-5}$
IX	Чугуєво-Бабчанський	22,6	78,38	$3,5 \cdot 10^{-3}$	$5,9 \cdot 10^{-3}$	$1,03 \cdot 10^{-5}$
Разом, St	Разом	298,9	2686,49			

Пропонується цей ризик вважати питомим техногенним ризиком ураженості території (екогеосистеми) з уточненням конкретних наслідків ураження. Цей показник є перспективним для порівняльної оцінки ризику від небезпечних природно-техногенних процесів, які призводять до трансформації екогеосистем, особливо за відсутності вірогідної інформації про розміщення й вартість окремих екогеосистем, що оптимізує систему управління екологічною безпекою регіонів.

Отже, у розділі обґрунтовано та удосконалено теоретико-методологічні оцінки ступеня ризику виникнення пожеж, обчислено техногенний ризик ураження екогеосистем України (на прикладі Харківської області) і побудовано відповідні картосхеми, що дозволяє спрогнозувати ураження земель лісового фонду при виникненні пожеж і застосувати комплекс превентивних заходів з попередження їх виникнення.

У третьому розділі «Чинники, прояви та наслідки постпірогенної релаксії екогеосистем в умовах техногенного навантаження» розглядається вплив постпірогенної релаксії на видове різноманіття екогеосистем та їх трансформація. Досліджено постпірогенну релаксію біогеохімічних властивостей ґрунтів екогеосистем соснових лісів в умовах техногенного навантаження та проаналізовано динаміку геохімічної концентрації ВМ, як результат постпірогенної релаксії.

Для проведення досліджень постпірогенної релаксії морфологічних, хімічних, фізико-хімічних, біогеохімічних властивостей ґрунтів, було закладено ключові (експериментальні) ділянки (КД) у екогеосистемах соснових лісів Харківщини в умовах дії техногенного навантаження. Досліджено сірі лісові опідзолені ґрунти під сосновим бором з сосни звичайної та з переважаючим домінуванням злакової рослинності.

На ділянці КД№1 лісова пожежа сталася у 2013 році, ділянка КД№2 уражена вогнем у 2008 році. Після чого на цій території не було пожеж. Останні проби відібрані у 2018 році через 5 та 10 років з моменту впливу лісової пожежі (табл. 4).

У результаті згорання підстилки величина рН у верхньому шарі 0–10 см змістилася у бік нейтральної до 4,8 і 5,1 порівняно з 4,1–4,2 у контролі. В інших горизонтах на більшій глибині значення рН наближаються до нейтральних. Тенденція до зростання рН у ґрунтах після пожеж пояснюється тим, що зольні водорозчинні сполуки, проникаючи вглиб, насичують поглинаючий комплекс лужноземельними елементами і викликають зміщення реакції розчину до нейтрального діапазону. Значну роль у встановленні значень рН відіграє вік згарища.

Таблиця 4 – рН ґрунтового середовища

Показник	рік	КД№2*	КД№1**	Фонова ділянка
рН	2008	4,8	-	4,1
	2013	4,6	5,1	4,2
	2018	4,3	4,7	4,2

* Ділянка постраждала від пожежі у 2008 році

** Ділянка постраждала від пожежі у 2013 році

Через 4–5 років після лісової пожежі (КД №1, 2013) змінився склад і структура поверхневих органогенних шарів. Органогенний пірогенний горизонт має потужність 3,6 см. Аналіз ділянки після пожежі 10-ти річної давності (КД №2, 2018) показав збільшення шару лісової підстилки до 5,2 см.

Гранулометричний склад сірих лісових опідзолених ґрунтів в основному представлений піщаними фракціями. Частка піску по горизонтах коливається від 71 % до 97,2 %.

Вміст гумусу у ґрунтах обох ділянок нижчий, ніж у контролі. Одним з джерел надходження органічної речовини і зольних елементів у ґрунти є лісова підстилка.

Під впливом лісових пожеж відбувається згорання лісової підстилки, що впливає на органогенні характеристики ґрунтів, перш за все їх верхніх горизонтів (рис. 6). Із збільшенням віку згарищ значення рН, вміст обмінних катіонів і гумусу зменшуються. Це пов'язано з тим, що реакція ґрунтів на пірогенний вплив згасає (табл. 5).

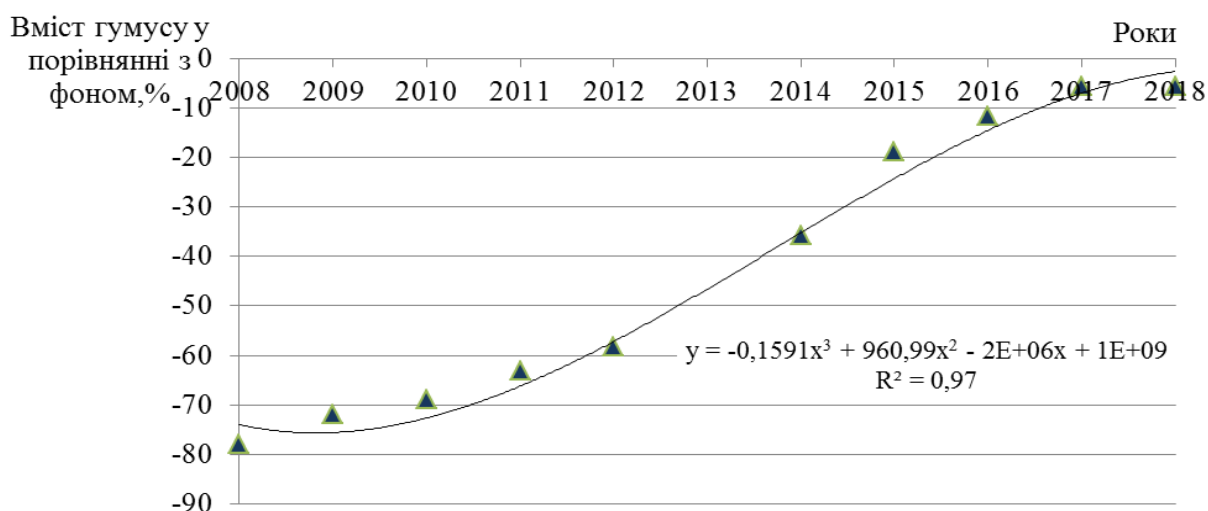


Рисунок 6 – Вміст гумусу у ґрунтах після лісової пожежі (КД№1) у порівнянні з фоновим умістом (за 10-річний період), %

Таблиця 5 – Фізико-хімічні властивості ґрунтів

Показник		КД№2*	КД№1**	Фонова ділянка
2008 рік				
Обмінні катіони, мг.-екв./100г ґрунту	Ca ²⁺	7,2	-	12,6
	Mg ²⁺	4,1	-	7,1
Гумус, %		0,9	-	1,9
Азот, мг/100 г ґрунту		0,4	-	0,1
2013 рік				
Обмінні катіони, мг.-екв./100г ґрунту	Ca ²⁺	9,2	10,1	12,5
	Mg ²⁺	4,4	5,6	7,0
Гумус, %		1,1	1,8	1,9
Азот, мг/100 г ґрунту		0,2	0,4	0,1
2018 рік				
Обмінні катіони, мг.-екв./100г ґрунту	Ca ²⁺	10,2	10,8	12,1
	Mg ²⁺	5,6	6,5	7,1
Гумус, %		1,8	0,6	2,0
Азот, мг/100 г ґрунту		0,2	0,1	0,1

*Ділянка КД№2 постраждала від пожежі у 2008 році

**Ділянка КД№1 постраждала від пожежі у 2013 році, дані за 2008 рік відсутні.

Показовими для постпірогенних геохімічних змін у ґрунтах є результати атомно-абсорбційного аналізу (рис. 7). Згідно з одержаними даними, у ґрунтах КД №1, що зазнали впливу пожежі нещодавно, концентрації рухомих форм ВМ мають підвищені значення порівняно з ґрунтом, незайманим вогнем, та ґрунтом, ураженим пожежею понад 10 років тому. Так, вміст Pb після пожежі у верхньому ґрунтовому горизонті 0–15 см збільшився майже у 8 разів, Ni – понад 6 разів, Zn – у 3 рази. Менше зростають концентрації Cu, Cr та Fe (від 1,7 до 1,1). За ГДК вміст Cr перевищено більш ніж у 10 разів.

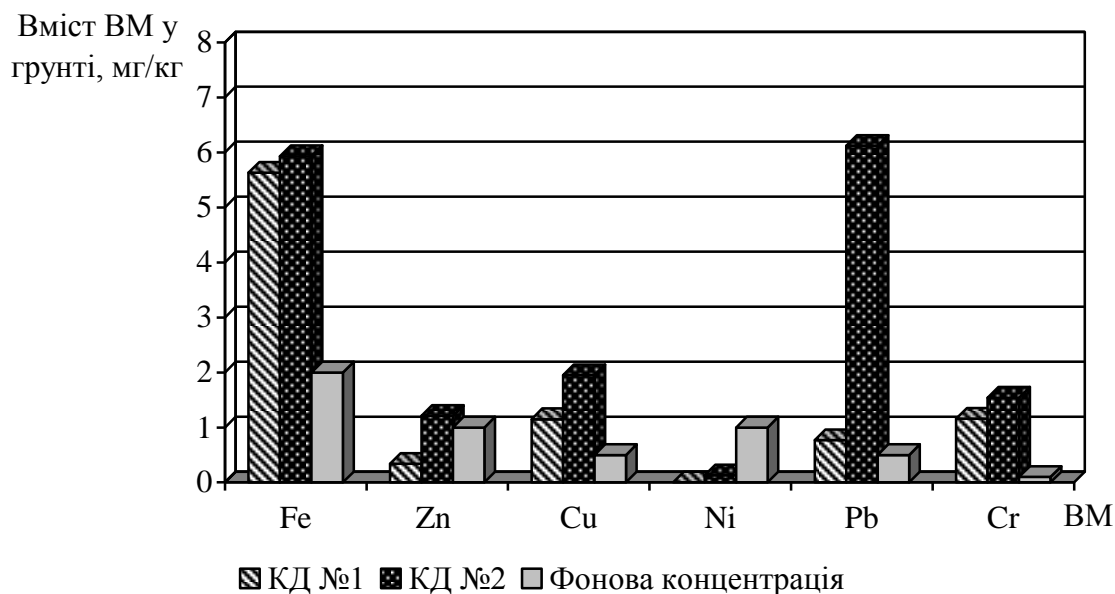


Рисунок 7 – Вміст рухомих форм ВМ та їх фонові значення у ґрунтах екогеосистем соснових лісів Харківщини при техногенному навантаженні

Щодо надмірної концентрації ВМ у ґрунтах КД №1, що зазнали впливу пірогенного чинника, цей факт слід пов'язати з мінералізацією лісової підстилки та трав'янистої рослинності від згорання і подальшою міграцією ВМ у верхні прошарки ґрунту, проте, це може бути пов'язано з впливом техногенного навантаження іншого походження. Загалом, з урахуванням токсичності цих ВМ та близькості ключових ділянок до населених пунктів, можемо констатувати екологічну небезпеку для довкілля і людини.

Отримані розрахунки можна використати для прогнозування геохімічної концентрації ВМ у ґрунтах після техногенних наслідків надзвичайних ситуацій пірогенного походження.

У кислому за реакцією розчині наявні іони Me^{z+} або частки типу $[Me(OH)_{(z-1)}^+]$, у лужному – $[Me(OH)_n^{z-n}]$. У кислих ґрунтах ($4,5 < pH < 5,8$) всі ВМ, окрім Fe(II), знаходяться у розчинній формі і легко мігрують та акумулюються у рослинах. Підвищення значень рН сприяє фіксації Cd, Co, Fe(II), Fe(III), Mn, Ni (рис. 8).

За допомогою побудови концентраційно-логарифмічних діаграм (КЛД) для ВМ можна спрогнозувати їх міграційну здатність або можливість до акумуляції.

Діапазон максимального осадження нерозчинних гідроксидів узагальнено та відмічено умови, при яких ВМ мають найменшу розчинність у ґрунтах, тобто за цих умов ймовірніша їх акумуляція.

ВМ у результаті пожеж можуть формувати важкорозчинні гідроксиди. Крім того, у ґрунтовому розчині є ймовірність утворення гідроксокомплексів ВМ з різною кількістю гідроксид-іонів. Діапазон осадження гідроксидів і межі розчинних гідроксокомплексів вивчені за допомогою побудови КЛД (рис. 9).

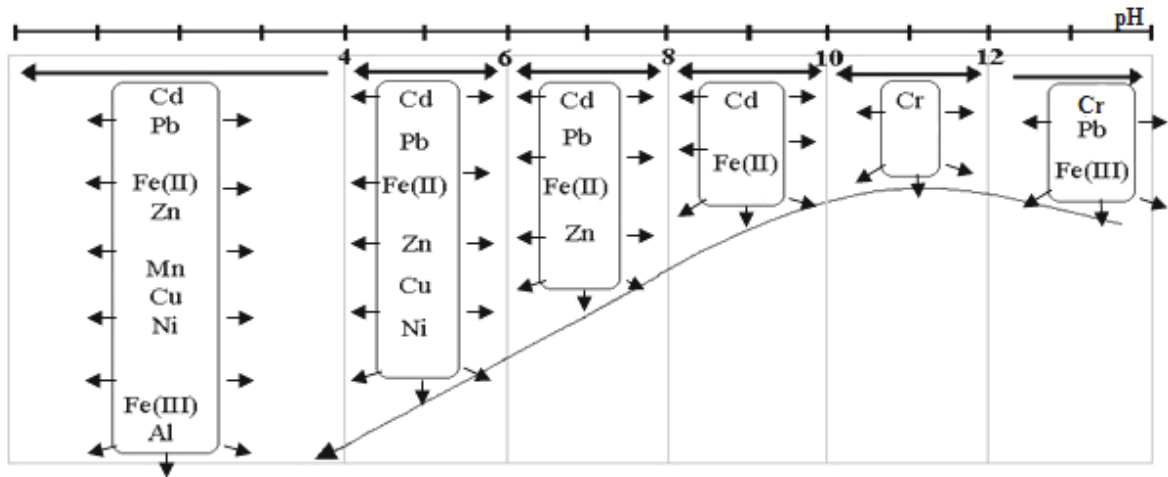
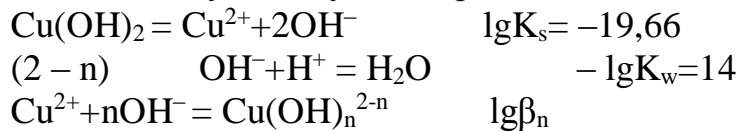
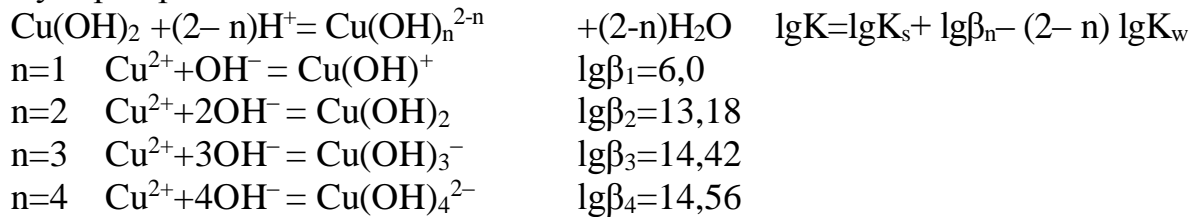


Рисунок 8 – Поведінка геохімічних форм сполук ВМ у доквіллі за зміни рН ґрунтового середовища внаслідок пожежі

Розчинення гідроксиду ВМ (на прикладі купрум гідроксиду) і утворення його комплексних сполук описується трьома основними реакціями:



Сумарна реакція:



Рівноважні концентрації металовмісних частинок при цьому будуть:

$$\begin{aligned} \lg [\text{Cu}(\text{OH})_n^{2-n}] &= \lg K_s + \lg \beta_n - (2-n) \lg K_w - (2-n)\text{pH} \\ n=0 \quad \lg [\text{Cu}^{2+}] &= \lg K_s - 2\lg K_w - 2\text{pH} = 8,34 - 2\text{pH} \\ n=1 \quad \lg [\text{Cu}(\text{OH})^+] &= \lg K_s + \lg \beta_1 - \lg K_w - \text{pH} = 0,34 - \text{pH} \\ n=2 \quad \lg [\text{Cu}(\text{OH})_2] &= \lg K_s + \lg \beta_2 = -6,48 \\ n=3 \quad \lg [\text{Cu}(\text{OH})_3^-] &= \lg K_s + \lg \beta_3 + \lg K_w + \text{pH} = -19,24 + \text{pH} \\ n=4 \quad \lg [\text{Cu}(\text{OH})_4^{2-}] &= \lg K_s + \lg \beta_4 + 2\lg K_w + 2\text{pH} = -33,1 + 2 \text{pH} \end{aligned}$$

На підставі розрахунків стверджуємо, існує вплив техногенного навантаження пірогенного походження на геохімічну міграцію ВМ.

Найменшу міграційну здатність мають сполуки Fe^{3+} при $\text{pH} = 4,5-14$, Cu^{2+} – при $\text{pH} = 7-14$, Cr^{2+} – при $\text{pH} = 7-9$, Zn^{2+} при $\text{pH} = 8-11$, Ni – при $\text{pH} = 8-14$, Pb^{2+} – при $\text{pH} = 9-12$, Fe^{2+} – при $\text{pH} = 9,5-14$. У кислому середовищі утворюються розчинні речовини, але при збільшенні рН усього на 0,5–1 зменшується їх рухомість, що сприяє концентрації у ґрунтах після пожежі і свідчить про зміну активності міграції ВМ після техногенного навантаження пірогенного походження.

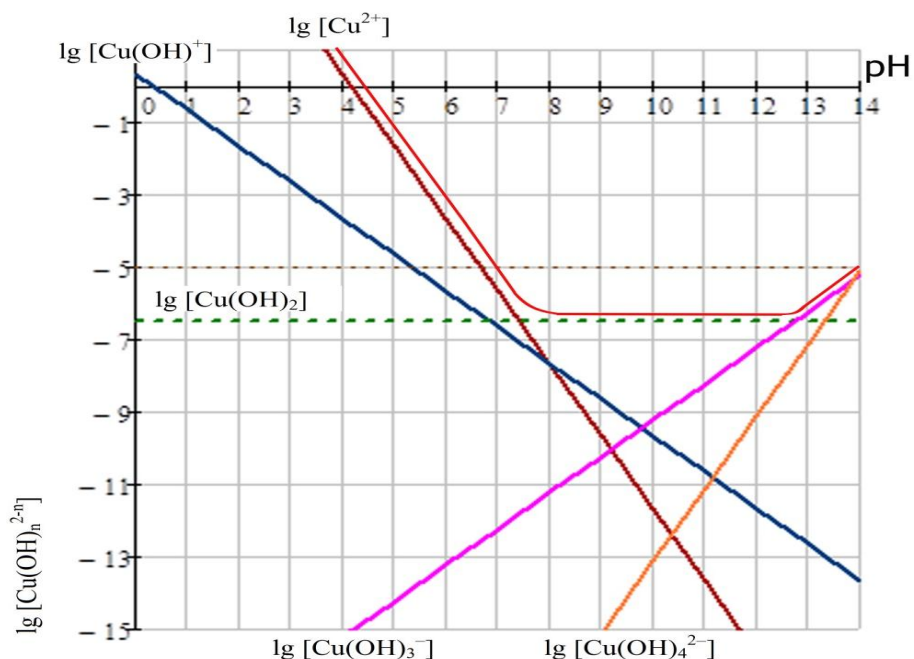


Рисунок 9 – Концентраційно-логарифмічна діаграма (КЛД) утворення гідроксокомплексів купруму

Отже, з'ясовано чинники та наслідки постпірогенної релаксії для видового різноманіття та біогеохімічних властивостей ґрунтів екогеосистем в умовах техногенної дії. Встановлено закономірності здійснення техногенного впливу пірогенного походження на геохімічну міграційну здатність ВМ у ґрунтах, уражених пожежами.

У **четвертому розділі** – «*Моделювання постпірогенної релаксії екогеосистем при техногенному навантаженні*» – розроблені та запропоновані прогностичні моделі постпірогенного утворення геохімічних форм сполук ВМ у екогеосистемах при техногенному навантаженні, зокрема сполук Cu, Fe(II), Fe(III), Zn, Ni, Pb, Cr.

Змодельовано прогностичну активність геохімічних форм сполук ВМ в екогеосистемах під впливом техногенного навантаження пірогенного походження (на прикладі Харківського регіону). Побудовано регресійну модель постпірогенної релаксії екогеосистем при техногенному навантаженні.

На підставі побудованих КЛД (рис. 9) є можливість зробити прогноз постпірогенного утворення геохімічних форм сполук ВМ. Зокрема, на прикладі сполук цинку можемо констатувати, що в кислому і нейтральному середовищі є іони Zn^{2+} : при $pH=5,5$ концентрація $[Zn^{2+}]$ може становити 1 моль/л, при $pH=6$ концентрація $[Zn^{2+}]$ становить 0,1 моль/л, при $pH=6,5$ концентрація $[Zn^{2+}]$ становить 0,01 моль/л, при $pH=7$ концентрація $[Zn^{2+}]$ становить 0,001 моль/л. При $pH=8-11,5$ спостерігається утворення нерозчинного гідроксиду $Zn(OH)_2$ і в дуже лужному середовищі цинк знову стає рухомим у вигляді гідроксокомплексів $Zn(OH)_4^{2-}$. При $pH=12$ цинк буде знаходитись у вигляді частинок $Zn(OH)_4^{2-}$, концентрація яких буде 0,001 моль/л, а при $pH=13$ – 0,1 моль/л.

Для спрощення прогнозування утворення сполук цинку побудовано окремо залежність концентрації найбільш вірогідних іонів $[Zn(OH)_n^{2-n}]$ від pH ґрунту та створено лінію тренду (рис. 10).

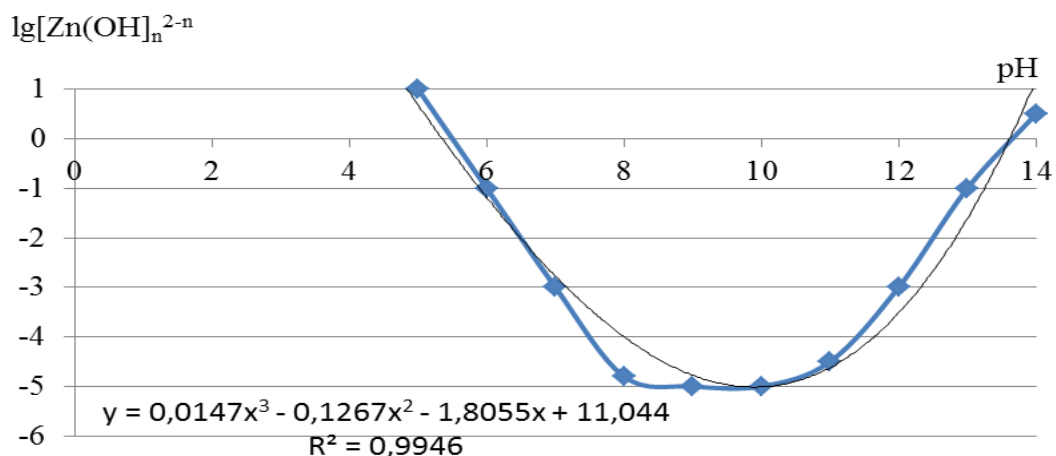


Рисунок 10 – Залежність утворення частинок $[Zn(OH)_n^{2-n}]$ від рН ґрунтового середовища

Залежність розчинних сполук цинку від рН піддається закономірності:

$$\lg[Zn(OH)_n^{2-n}] = 0,0147 \cdot pH^3 - 0,1267 \cdot pH^2 - 1,8055 \cdot pH + 11,044. \quad (10)$$

Ця залежність узгоджується із побудованою КЛД ($R^2=0,99$).

Отже, серед частинок $[Zn(OH)_n^{2-n}]$ переважають Zn^{2+} у кислому та нейтральному середовищі. Їх концентрація у ґрунтовому розчині описується рівнянням (10), яке справедливо для рН = 5–13. При рН < 5 весь присутній у розчині цинк буде знаходитися у розчинній формі у вигляді Zn^{2+} . При рН = 8–11,5 утворюється нерозчинний $Zn(OH)_2$, міграція сполук цинку неможлива.

Наведені розрахунки результатів прогнозного моделювання постпірогенних геохімічних процесів у екогеосистемах були упорядковані та систематизовані (табл. 6) і можуть бути корисними для аналізу можливої геохімічної активності (аккумуляції) ВМ у екогеосистемах при вивченні техногенно-екологічної ситуації після пожеж.

Розроблено картосхему геохімічної активності ВМ на прикладі Харківського регіону з використанням інтерактивної карти ґрунтів України, порівняння якої з атласом ґрунтів (Крупський, Полупан, 1979) надало можливість дослідити властивості ґрунтів регіону, у тому числі кислотність. Показник рН ґрунтів Харківської області варіює від 4,5 до 9,6.

Для лучно-чорноземних та лучних ґрунтів (рН > 9) міграційна здатність ВМ після дії пірогенного чинника майже не зміниться. Спостерігається акумуляція сполук ВМ у ґрунті.

Таблиця 6 – Прогностичне моделювання постпірогенних міграційних геохімічних процесів в екогеосистемах

Важкий метал	Рівняння залежності концентрації розчинних форм металів від рН ґрунтового середовища	Умови використання рівняння	Примітка. Умови міграції або накопичення металу
Cu	$\lg[\text{Cu}(\text{OH})_n^{2-n}] = 0,007 \cdot \text{pH}^3 - 0,009 \cdot \text{pH}^2 - 2,22 \cdot \text{pH} + 9,25$	$\text{pH} > 3$	При $\text{pH} < 3$ весь купрум у розчинній формі Cu^{2+} При $\text{pH} = 7-14$ весь купрум акумулюється у ґрунті у нерозчинній формі
Fe(II)	$\lg[\text{Fe}(\text{OH})_n^{2-n}] = 0,008 \cdot \text{pH}^3 - 0,07 \cdot \text{pH}^2 - 1,91 \cdot \text{pH} + 13,05$	$\text{pH} > 6,5$	При $\text{pH} < 6,5$ весь ферум у розчинній формі Fe^{2+} При $\text{pH} \geq 9,5$ весь присутній ферум (II) знаходиться у формі нерозчинного $\text{Fe}(\text{OH})_2$.
Fe(III)	$\lg[\text{Fe}(\text{OH})_n^{3-n}] = -0,01 \cdot \text{pH}^3 + 0,33 \cdot \text{pH}^2 - 3,48 \cdot \text{pH} + 5,27$	$\text{pH} > 2$	При $\text{pH} < 2$ весь ферум у розчинній формі Fe^{3+} При $\text{pH} \geq 5$ ферум (III) акумулюється у ґрунті
Zn	$\lg[\text{Zn}(\text{OH})_n^{2-n}] = 0,015 \cdot \text{pH}^3 - 0,13 \cdot \text{pH}^2 - 1,81 \cdot \text{pH} + 11,04$	$\text{pH} = 5-13$	При $\text{pH} < 5$ весь цинк у розчинній формі у вигляді Zn^{2+} При $\text{pH} > 13$ цинк розчинюється з утворення гідросокомплексів
Ni	$\lg[\text{Ni}(\text{OH})_n^{2-n}] = 0,015 \cdot \text{pH}^3 - 0,20 \cdot \text{pH}^2 - 1,15 \cdot \text{pH} + 8,50$	$\text{pH} > 5$	При $\text{pH} < 5$ нікол у розчинній формі Ni^{2+} . При $\text{pH} = 8-14$ відбувається накопичення ніколу у ґрунті
Pb	$\lg[\text{Pb}(\text{OH})_n^{2-n}] = 0,011 \cdot \text{pH}^3 - 0,089 \cdot \text{pH}^2 - 1,89 \cdot \text{pH} + 13,06$	$\text{pH} > 6,5$	При $\text{pH} < 6,5$ плюмбум у розчинній формі Pb^{2+} . При $\text{pH} = 9-13$ весь плюмбум акумулюється у ґрунті
Cr	$\lg[\text{Cr}(\text{OH})_n^{3-n}] = -0,002 \cdot \text{pH}^4 + 0,06 \cdot \text{pH}^3 - 0,41 \cdot \text{pH}^2 - 0,97 \cdot \text{pH} + 6,69$	$\text{pH} > 4$	При $\text{pH} < 4$ весь хром у розчинній формі Cr^{3+} . При $\text{pH} = 7-10$ відбувається його акумуляція

Ймовірно, що для ґрунтів опідзолених темно-сірих, чорноземів опідзолених (з рН близької до нейтральної) утворюватимуться розчинні сполуки ВМ, що активізують міграцію у ґрунті або акумуляцію їх у рослинах.

При пожежі рН зміщується до 7,5–7,8, що свідчить про зменшення розчинності сполук ВМ і їх накопичення у ґрунті. Ці ґрунти найбільше поширені в Жовтневому лісгоспі.

Аналогічна ситуація характерна для реградованих чорноземів на півночі та північному сході Харківської області (Гутянський, Куп'янський, Жовтневий лісгосп).

Подібну оцінку можна надати і для чорноземів звичайних на лесових породах, які переважають у південній частині Харківщини (Балаклійський, Красноградський, Ізюмський, Близнюківський лісгоспи).

Розроблені моделі поведінки ВМ корисні для складання прогнозової оцінки їх геохімічної поведінки в екогеосистемах при техногенному впливі.

Отже, визначена активність геохімічної міграції ВМ під дією техногенного навантаження пірогенного походження дозволяє деталізувати їх міграційну здатність та надати прогноз їхньої поведінки в екогеосистемах після пожеж. Картосхеми можливо створити для інших регіонів України, що зазнають техногенного впливу пірогенного походження.

Таким чином, встановлено динаміку активності міграції ВМ та впроваджено прогнозну модель постпірогенного утворення геохімічних форм сполук ВМ у екогеосистемах при техногенному забрудненні на основі КЛД, що дозволяє простежити закономірності активності їх міграційної здатності.

Для виявлення закономірностей релаксії екогеосистем була побудована регресійна модель, яка враховує вплив групи чинників (відносна площа пожеж Y_1 , середня кількість пожеж у регіоні Y_2 , втрату гумусу у ґрунті від дії вогню Y_3 , динаміку кислотно-лужного балансу Y_4 , тощо) на релаксію екогеосистем.

Вирішальним фактором релаксії запропоновано обрати відновлюваність видового різноманіття F (видового багатства Маргалєфа) ключових ділянок, що зазнали впливу пірогенного чинника в порівнянні з видовим різноманіттям (видовим багатством Маргалєфа) фонових ділянок, що не зазнали дії пожеж (у відсотках). Спостереження проводилися протягом 2010–2018 рр.

Регресійний зв'язок є нелінійним, причому за всіма чинниками простежується обернено пропорційна залежність.

Було запропоновано таку регресійну залежність:

$$F = A_0 + \frac{A_1}{Y_1^{a_1}} + \frac{A_2}{Y_2^{a_2}} + \frac{A_3}{Y_3^{a_3}} + \dots + \frac{A_n}{Y_n^{a_n}}, \quad (11)$$

де F – показник відновлюваності екогеосистем; $A_0, A_1, A_2, A_3, \dots, A_n$ – невідомі коефіцієнти кореляції; $Y_1, Y_2, Y_3, \dots, Y_n$ – чинники, що впливають на відновлення екогеосистем.

Залежність (11) перетворимо на лінійну за такої умови: $X_i = Y_i^{-a_i}$, ($i = 1, \dots, n$):

$$F = A_0 + A_1X_1 + A_2X_2 + A_3X_3 + \dots A_nX_n. \quad (12)$$

Для знаходження невідомих коефіцієнтів A_i ($i = 0, \dots, n$) використано метод найменших квадратів та наявну статистичну інформацію (дані Харківського обласного управління лісового і мисливського господарства, а також результати проведених експериментальних польових досліджень). Математичні розрахунки проводились за допомогою програми MathCAD.

Увівши прямокутну матрицю $X = \{X_{ij}\}$ ($i = 1, \dots, n; j = 0, \dots, m$)

$$X_{i0} = 1; X_{ij} = Y_{ij}^{-\alpha_j}, (i = 1, \dots, n; j = 1, \dots, m),$$

де m – чинники; n – кількість спостережень ($n > m$);

оператор методу найменших квадратів дозволяє знайти вектор

$$\hat{A} = (\hat{A}_0 + \hat{A}_1 + \hat{A}_2 + \hat{A}_3, \dots, \hat{A}_n)^T, \quad (13)$$

оптимальний з погляду методу найменших квадратів:

$$\hat{A} = (X^T X)^{-1} X^T \vec{F}, \quad (14)$$

де $\vec{F} = (38,4; 29,6; 23,4; 49,8; 36,2; 39,8)^T$ – вектор відновлюваності (%) за $n = 6$ територіальними одиницями (лісгоспами для соснових лісів).

У результаті отримуємо вектор коефіцієнтів:

$$\hat{A}^T = (-3,6047; -19,104; 102,82; 52,263; -0,083)^T$$

Показники α_j ($j = 1, \dots, n$) обирались із умови мінімізації суми квадратів нев'язок в заданих точках:

$$\Delta = \sum_{i=1}^6 (F_i - (X\hat{A})_i)^2 \Rightarrow \min \quad (15)$$

У підсумку одержано такі значення:

$$\alpha_1 = 0,1; \alpha_2 = 0,3; \alpha_3 = 0,2; \alpha_4 = 3.$$

Відповідна нев'язка при цьому склала величину $\approx 3\%$

Для перевірки якості регресії вираховувався коефіцієнт детермінації:

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^6 (F_i - F1_i)^2}{\sum_{i=1}^6 (F_i - \bar{F})^2}, \quad (16)$$

$$\text{де } F1_i = (X\hat{A})_i, \quad \bar{F} = \frac{1}{6} \sum_{i=1}^6 F_i,$$

де F_i – вихідні дані; $F1_i$ – дані, вираховані за допомогою моделі.

За проведеними розрахунками отримане значення становить $R^2 = 0,993$, що свідчить про адекватність моделі та можливість використання її для прогнозування.

Для прогнозування та розрахунку достовірних ймовірностей використано усереднені дані пожеж в екогеосистемах лісових масивів Харківського регіону та їх наслідки.

Припустимо, що потрібно оцінити середню відновлюваність (релаксію) екогеосистеми при заданих значеннях:

середня площа пожежі $Y_{10} = S_0 = 20$ га; середня кількість пожеж за рік $Y_{20} = N_0 = 30$;

середня втрата гумусу (%) у ґрунті внаслідок пожеж $Y_{30} = X_0 = 1$; середня динамічність кислотно-лужного показника рН $Y_{40} = y_0 = 0,5$.

Виразуємо точковий прогноз. Попередньо обчислимо

$$X_{j0} = Y_{j0}^{-a_j}, \quad (j = 1, \dots, 4), \quad \text{при цьому } X_{00} = 1.$$

Розрахуємо скалярний добуток, який і є точковим прогнозом:

$$F_0 = \vec{X}_0^T \hat{A} \quad (17)$$

У цьому випадку $F_0 = 38,45$.

Уведемо критерій

$$t = \frac{\vec{X}_0^T \hat{A} - \vec{X}_0^T \vec{A}}{S \sqrt{\vec{X}_0^T (X^T X)^{-1} \vec{X}_0}}, \quad (18)$$

де $S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (F_i - F_{1_i})^2}{n - m}}$ – незміщена оцінка середньоквадратичної похибки апроксимації.

Величина t задовольняє t – розподілу Стьюдента з $n - m$ ступенями свободи. У наведеному випадку $n = 6$ – кількість точок спостережень; $m = 5$ – кількість невідомих коефіцієнтів. Враховуючи випадковий характер оцінки, отримуємо 100 $(1-\varepsilon)\%$ достовірний інтервал для математичного очікування прогнозу $M(F_0)$:

$$\vec{X}_0^T \hat{A} - t_{\varepsilon/2} \Delta F \leq M(F_0) \leq \vec{X}_0^T \hat{A} + t_{\varepsilon/2} \Delta F, \quad (19)$$

де $\Delta F = S \sqrt{\vec{X}_0^T (X^T X)^{-1} \vec{X}_0}$ – похибка прогнозу.

Враховуючи двосторонність критерію, $t_{\varepsilon/2}$ – значення критерію Стьюдента, що відповідає 100 $(1-\varepsilon)\%$ достовірній ймовірності.

У наведеному прикладі $t_{0,025} = 12,706$; $t_{0,05} = 6,314$.

Отже, можна зробити висновок, що з ймовірністю 0,95 математичне очікування прогнозного значення буде знаходитись в інтервалі:

$$23,49 < m(F_0) < 53,42.$$

Математичне очікування з ймовірністю 0,9 становить $31,02 < m(F_0) < 45,89$.

Аналогічним чином (за формулами 11, 12) побудовано регресійні моделі для відновлюваності (релаксії) екогеосистем (на прикладі видового різноманіття Маргалефа для екогеосистем степів (остепнених лук) і екогеосистем водно-болотних угідь) та виявлено певні закономірності.

Найбільший вплив на відновлюваність (релаксію) екогеосистем хвойних лісів мають кількість пожеж та їх періодичність, а також втрати гумусу у ґрунтах внаслідок термічної дії пірогенного чинника.

Для екогеосистем степів та остепнених лук кореляція між відновлюваністю видового різноманіття та змінами показника кислотно-лужного балансу більша, ніж між відновлюваністю і втратами гумусу.

Найтісніша кореляція для водно-болотних екогеосистем виявлена між

відновлюваністю видового різноманіття і втратами гумусу у ґрунтах внаслідок його згоряння при дії пірогенного чинника (рис. 11).

Таким чином, розроблено прогностичні моделі та оцінки утворення геохімічних форм сполук ВМ у екогеосистемах при техногенному навантаженні пірогенного походження та створено карту активності їх міграційної здатності. Побудовано регресійні моделі постпірогенної релаксії екогеосистем в умовах техногенного навантаження на довкілля та виявлено закономірності постпірогенної релаксії екогеосистем під впливом техногенного навантаження пірогенного походження з урахуванням відносної площі пожеж, середньої кількості пожеж у регіоні, втрат гумусу у ґрунті від дії вогню, динаміки кислотно-лужного балансу після техногенного навантаження пірогенного походження.

У п'ятому розділі дисертаційної роботи – «Рекомендації з екологічно безпечного управління процесами постпірогенної релаксії екогеосистем в умовах техногенного навантаження на довкілля» – розкрито еколого-економічні наслідки техногенного навантаження пірогенного походження на екогеосистеми. Наведено експериментальні дані з підвищення ефективності постпірогенної релаксії екогеосистем. Запропоновано науково-методологічні рекомендації з управління екологічною безпекою процесів постпірогенної релаксії екогеосистем в умовах техногенного навантаження (на прикладі лісових екогеосистем).



Рисунок 11 – Залежність відновлення видового різноманіття від пірогенних чинників у різних екогеосистемах

При аналізі стану з пожежами в екогеосистемах Харківського регіону (2013–2017 рр.), встановлено, що особливу увагу за еколого-економічними показниками привертає 2017 рік у порівнянні з попередніми роками, що свідчить про збільшення економічних витрат, пов'язаних з наслідками пірогенного впливу техногенного походження (табл. 7.)

Комплекс заходів щодо відновлення лісових екогеосистем після пожеж спрямований на удосконалення ефективності постпірогенної релаксії екогеосистем, що суттєво підвищує рівень екологічної безпеки цих процесів, і повинен відбуватися з урахуванням постпірогенних процесів, які різною мірою проявляються в компонентах екогеокомплексів.

Таблиця 7 – Еколого-економічні наслідки пожеж у лісових екогеосистемах Харківського регіону (Харківське обласне управління лісового і мисливського господарства, 2017)

Роки	2013	2014	2015	2016	2017
Збитки, тис. грн.	65,97	76,34	207,16	104,49	318,48

У лісових екогеосистемах сукупність постпірогенних процесів у літогенній основі полягає у посиленні геохімічної міграції як у радіальному, так і в латеральному напрямках, зміні фізико-хімічних властивостей ґрунту, зниженні кислотності, зменшенні вмісту органічної речовини, перевідкладенні ґрунтових мас, надмірній зольності, підвищенні вмісту мінеральних компонентів. За таких умов змінюється гідрологічний режим за рахунок зміщення фільтраційної здатності. У ґрунті розвиваються патогенні грибкові паразити. Внаслідок впливу пірогенного чинника відбуваються фенологічні зміни, тривалість вегетаційного періоду також зазнає змін (підвищується динамічність вітрового режиму, змінюється відбивна здатність денної поверхні). На згарищах масово розмножуються комахи, збільшується численність гризунів. На розвиток насінного відновлення рослинного покриву суттєвий вплив мають товщина і структура лісової підстилки та мохового покриву. Груба підстилка та щільний моховий покрив перешкоджають проростанню насіння навіть при регулярному і рясному плодоношенні. За одних і тих же умов зростання сходів різних порід не однакові. Залежно від величини сходів найважливіші лісоутворюючі породи розташовуються в зростаючому порядку таким чином: осика (*P. tremula L.*), береза (*B. verrucosa Ehrh.*), сосна (*P. sylvestris L.*), ялина (*Picea abies*), ялиця (*Abies alba*), бук (*Fagus sylvatica L.*), дуб (*Q. robur L.*) (рис. 12).

Для забезпечення ефективного екологічно безпечного відновлення екогеосистем з урахуванням постпірогенної релаксії визначено чинники, що перешкоджають відтворенню фітоценозів та запропоновано ряд заходів. Основною причиною постпірогенної деградації соснових лісів вважають кореневу губку (*Fomitopsis annosa*). Іншою причиною, що заважає лісовідновленню, є рицина здута чи рицина хвиляста (*Rhizina undulata*), що призводить до виникнення грибкових захворювань, які викликають гнилість коренів сосни (Мешкова, 2009).

Ослаблення дерев на межі зі зрубам пов'язане з раптовим збільшенням освітлення стовбурів, надмірним нагріванням їх літом і ушкодженням морозом узимку. Крони розростаються в напрямку освітлення, а коріння запізнюється з ростом і постачанням вологи, оскільки вологість ґрунту з боку зрубу або ділянки незімкнених культур доволі низька. Ослаблені дією цих екологічних чинників дерева втрачають опір до заселення стовбуровими комахами.

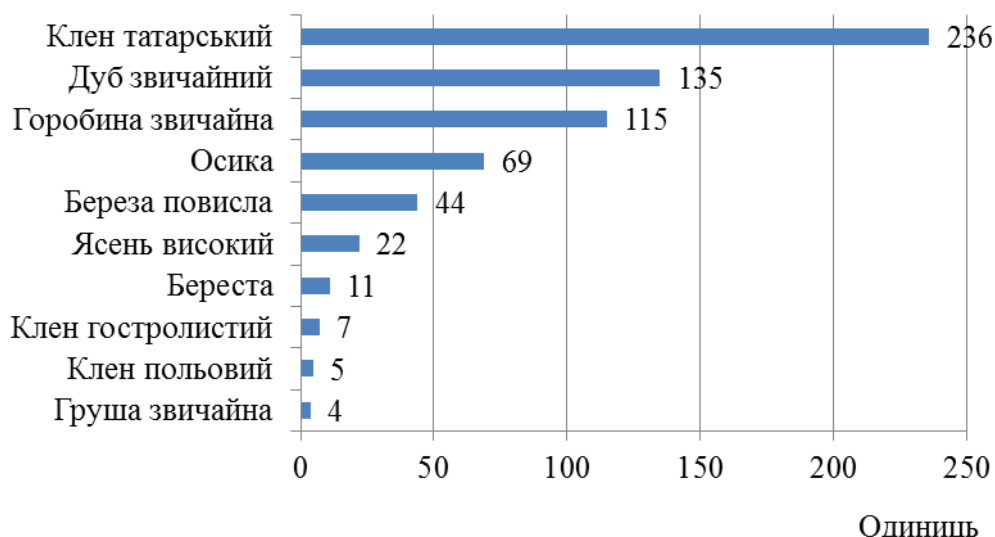


Рисунок 12 – Поновлення інших рослин, крім сосни звичайної, од.

Там, де лісостеп замінюється степом, умови для вирощування лісових культур стають менш сприятливими. У подібних умовах саджанці піддаються атакам личинок хрущів (*Melolontha hippocastani*). Жоден існуючий інсектицид не може захистити сосну від пошкодження хрущами в цих умовах. Зважаючи на те, що будь-який інсектицид розкладається у ґрунті протягом 2–4 місяців, захист культур від хрущів протягом декількох років навряд чи є рентабельним (Мешкова, 2009).

У південних районах одним із шляхів залісення ділянок, на яких погано приживається сосна, вважається використання інших порід. Серед таких порід є акація біла (*Robinia pseudoacacia*). Саджанці цієї породи також пошкоджуються хрущами, але завдяки здатності до вегетативного розмноження ця порода може поступово поширюватися від сприятливих для свого росту ділянок на сусідні ділянки, де витримує конкуренцію із трав'янистою рослинністю.

У понижених ділянках лісових екогеосистем природно відновлюються береза (*B. verrucosa Ehrh.*) й осика (*P. tremula L.*). Це свідчить про недоцільність вирубування при розробці згарищ навіть пошкоджених вогнем листяних порід, здатних відновлюватися паростю. Важливим є з'ясування можливості ефективного лісовідновлення згарищ у перший рік після пожежі (рис. 13).

Накоплена потужна повсть, пригноблюючи степові дерновинні злаки, сприяє розростанню кореневищних; у травостої степів з'являються чагарники, а потім і деревні породи – глід (*Crataegus L.*), жимолость (*Lonicera tatarica L.*), груша (*P. communis L.*) і т. д.

Основними постпірогенними явищами релаксії степових екогеосистем є процеси, пов'язані з трансформацією фітоценозів, до яких відноситься олучнення, остепніння, рудеризація. Не менш важливим є висушування (ксерофітизація) біотопу.

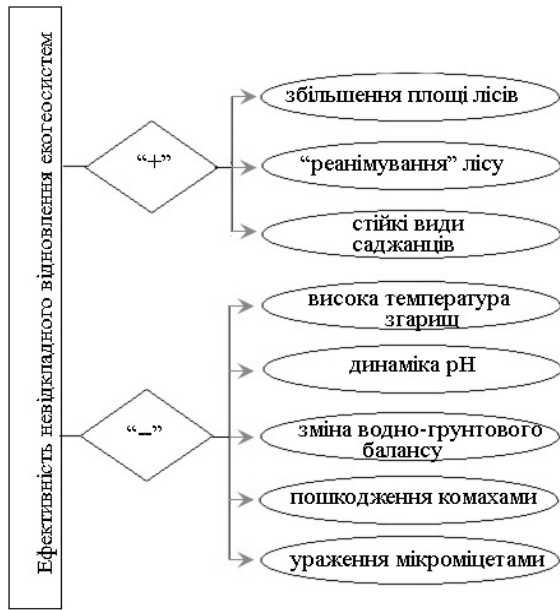


Рисунок 13 – Ефективність невідкладного лісовідновлення

У степових екогеосистемах через сукупність постпірогенних процесів у ґрунтах геохімічна міграція посилюється на схилах, фізико-хімічні властивості ґрунту не зазнають суттєвих змін, дещо знижується вміст гумусу, проте підвищується концентрація мінеральних компонентів та зростає вміст фосфору, калію, кальцію. Фенологічних змін степові екогеосистеми зазнають у випадку весняних пожеж (перед початком вегетації), внаслідок чого зміщується вегетаційний період. Виникає реальна загроза повного залісення некошених угідь.

Постпірогенні процеси релаксії у відновленні екогеосистем водно-болотних угідь, порівняно з лісовими та степовими екогеосистемами, на наш погляд, не відіграють суттєвої ролі. Пов'язано це з тим, що вплив вогню спрямований на рослинність водно-болотних екогеокомплексів. Ґрунт суттєвих змін не зазнає у зв'язку з насиченістю його вологою. Незмінним залишається гідрологічний режим. Отже, основні постпірогенні процеси проходять у фітоценозі та зооценозі.

Після пожеж у фітоценозах водно-болотних екогеосистем відбувається приріст надземної фітомаси на 25 %, збільшується висота пагонів очерету на 5 %, але на 14 % зменшується діаметр пагонів, на 10 % – проективне покриття. Рясність залишається сталою. Коефіцієнт спільності видового складу для цих ділянок складає 33 %. Спостерігається повне домінування очерету звичайного (*Phragmites communis Trin.*).

Застосування заходів із штучного відновлення фітоценотичного різноманіття з урахуванням ефективності процесів постпірогенної релаксії для водно-болотних комплексів, на наш погляд, є недоцільним. Більш ефективним є удосконалення процесів постпірогенної релаксії в цих екогеосистемах при переслідуванні мети трансформації водно-болотних природних комплексів у пасовища з використанням меліоративних заходів.

Відновлення екогеосистем – процес тривалий і досить трудомісткий, особливо в умовах техногенного навантаження. Він може проводитися протягом декількох років або навіть десятиліть. При цьому постпірогенну релаксію екогеосистем доречно поєднати з рекультивацією, яку можна розділити на три етапи: підготовчий, технічний і біологічний (рис. 14).

Підготовчий етап полягає в опрацюванні фактичного обсягу робіт, обґрунтування інвестиційної складової.

Технічний етап є головною частиною всіх проведених заходів, які виконуються для підготовки землі до її подальшого застосування.

Біологічний етап полягає у рекультивації земель і становить комплекс заходів, у якому беруть участь агротехнічні та фітомеліоративні процеси, саме вони повертають біохімічні, агрофізичні і агрохімічні характеристики ґрунту.

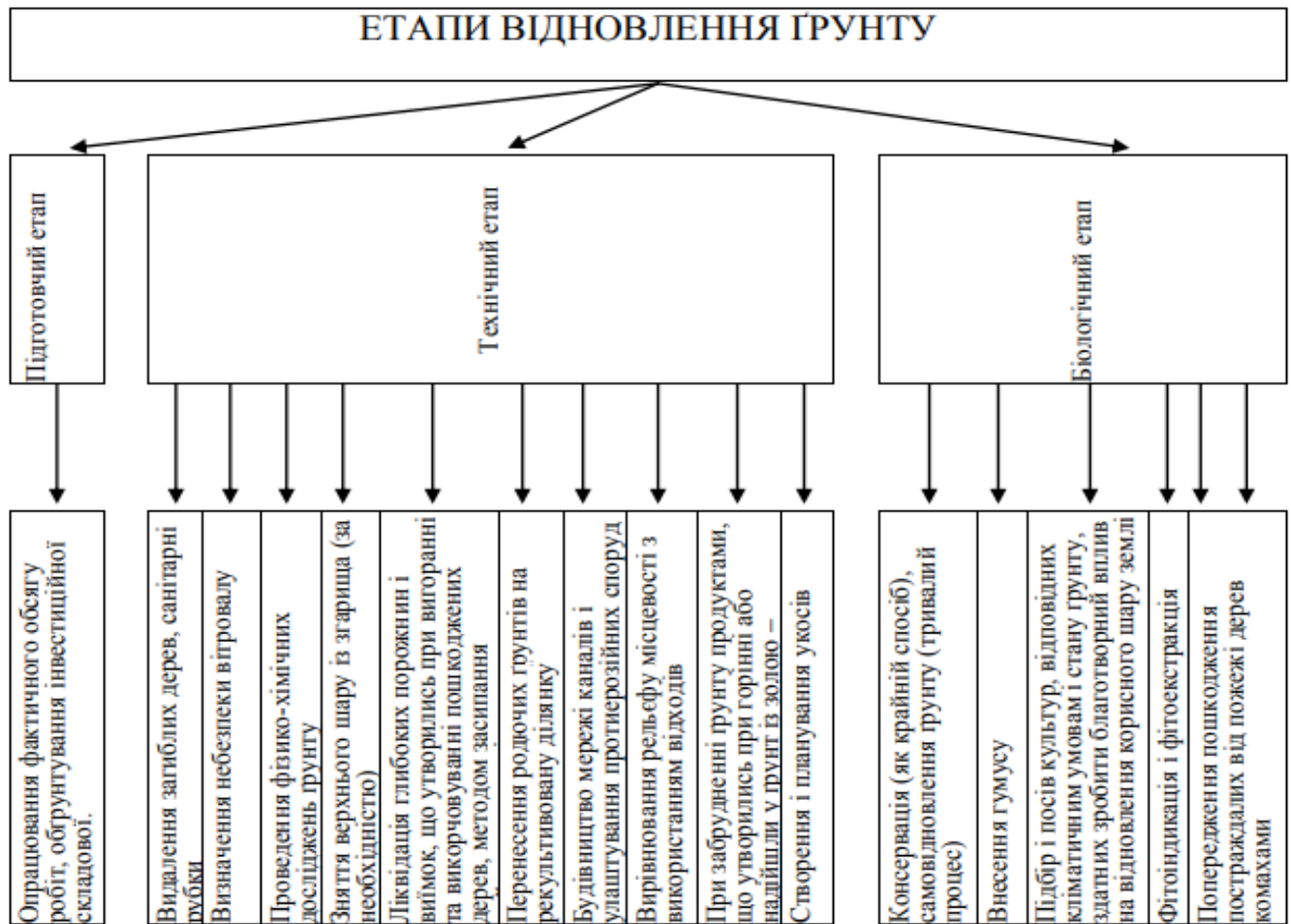


Рисунок 14 – Етапи з відновлення ґрунту після пожеж техногенного походження

У випадку, якщо ґрунт на відновлюваній території забруднений ВМ та іншими поліюгантами, він підлягає попередньому очищенню за допомогою сорбентів. Наразі у світовій практиці для екологічного рафінування родючих ґрунтів все більше застосовуються мінеральні алюмосилікатні адсорбенти: різні глини, цеоліти, цеолітвмісні породи тощо, які характеризуються високою поглинальною здатністю, стійкістю до впливу техногенних чинників довкілля.

Пропонуємо внесення глини як потенційного сорбенту для очищення ґрунтів від ВМ. Завданням експериментального дослідження стало обґрунтування можливості застосування природної глинистої сировини без попередньої її активації для вилучення ВМ з ґрунтового розчину. Як об'єкт дослідження обрана глина Пересічнянського родовища Харківської області. Сорбційна активність зразків обраної глини вивчалася у відношенні до іонів ВМ: Pb (II), Cu (II), Cr (VI).

Для визначення адсорбційних властивостей глини використовували таку методику. Сорбцію ВМ проводили при постійній температурі (20 °С) з розчинів, що

містять ґрунт із зґарища та глину. Тривалість сорбції була в межах 60 хвилин. Концентрацію іонів ВМ визначали методом атомно-адсорбційного аналізу. Результати свідчать, що ця глина може бути рекомендована для меліоративних цілей і відновлення ґрунту після лісових пожеж. Навіть при низькому співвідношенні ґрунту та глини спостерігається вилучення ВМ обсягом 27–52 % (рис. 15).

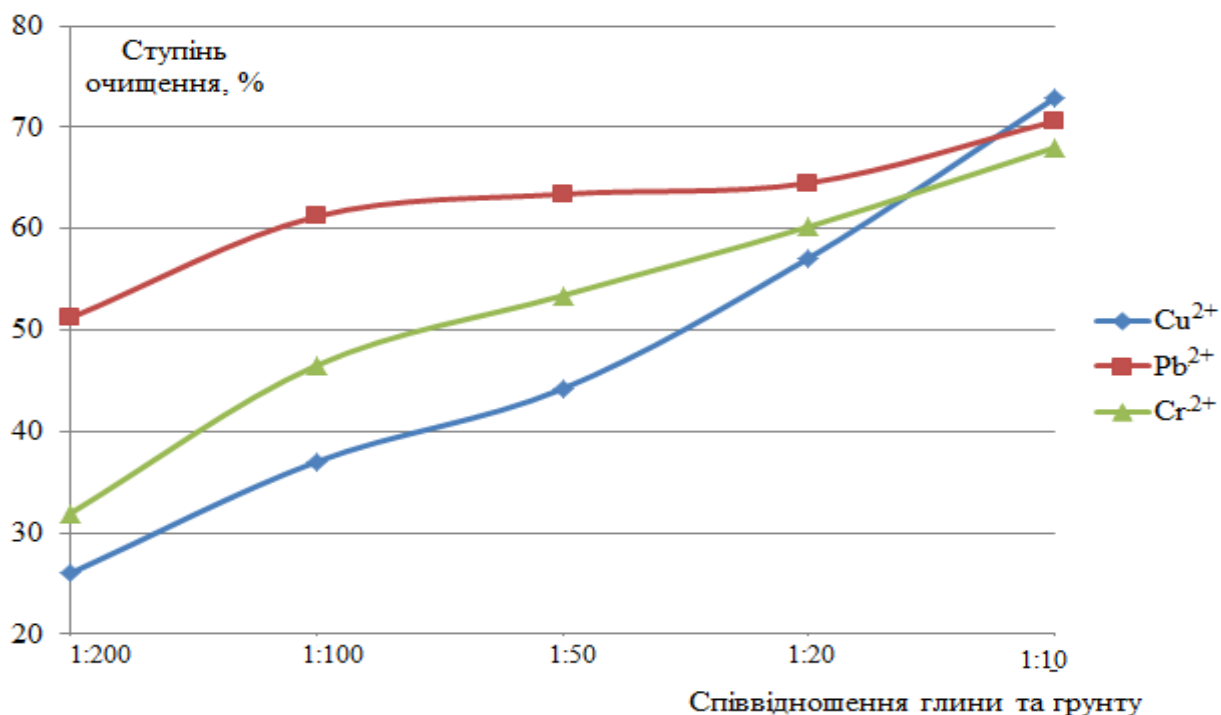


Рисунок 15 – Ступінь очищення буферної витяжки з ґрунту від ВМ глиною, % (мас)

Наведені рекомендації із забезпечення екологічної безпеки, раціонального природокористування та управління процесами постпірогенної релаксії екогеосистем після техногенної дії пірогенного походження сприяють підвищенню ефективності релаксії екогеосистем різних екологічних умов.

Доведено, що використання глини для вилучення ВМ є ефективним. Звичайно, слід враховувати і економічні показники. Варто використовувати глину, що територіально зручно розташована до ділянки, яка постраждала від пожежі і потребує постпірогенних релаксійних та рекультиваційних заходів.

Таким чином, запропоновані рекомендації з екологічно безпечного управління процесами постпірогенної релаксії екогеосистем в умовах техногенного навантаження на довкілля сприяють їх ефективності та раціональному відновленню.

Наведені науково-методологічні основи та наукові уявлення щодо визначення рівнів техногенного ризику, виявлення закономірностей трансформації компонентів екогеосистем при техногенному впливі пірогенного походження та рекомендації з екологічно безпечного управління процесами постпірогенної релаксії екогеосистем в умовах техногенного навантаження на довкілля дозволяють сприяти вирішенню проблеми системно, враховуючи всі взаємозв'язки між причинами виникнення пожеж, їх залежність від природно-техногенних чинників, масштабів впливу на довкілля та еколого-економічних наслідків.

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі на основі узагальнення результатів виконаних теоретичних та експериментальних наукових досліджень подано нове вирішення актуальної науково-прикладної проблеми розроблення науково-методологічних основ релаксії екогеосистем при техногенному впливові пірогенного походження. Зокрема:

1. На підставі результатів екологічних досліджень встановлено передумови формування науково-теоретичних засад релаксії екогеосистем при техногенному навантаженні пірогенного походження. Систематизовано та упорядковано наслідки техногенного навантаження пірогенних процесів на стан довкілля. Науково визначено поняття «постпірогенна релаксія екогеосистем» та його співвідношення з пірогенними процесами. На основі науково-теоретичних досліджень щодо впливу пірогенного чинника на довкілля було узагальнено наслідки процесів постпірогенної релаксії з метою виявлення закономірностей відновлення і відтворення екогеосистем після пожеж.

2. Обґрунтовано теоретико-методологічні оцінки ступеня техногенного ризику пірогенного походження екогеосистем України. Використання для прогнозування виникнення лісових пожеж добових станів природних комплексів (стексів) має додаткову інформацію й дозволяє удосконалити методи прогнозування виникнення пожеж. Оцінено достовірність прояву несприятливих подій, що сприяють виникненню пожеж, та визначено їх значимість. Побудовано тривимірні моделі прогнозу впливу теплового випромінювання на стовбури дерев залежно від часу і висоти полум'я, відстані від джерела вогню та часу впливу температури.

3. Розраховано оцінку ступеня питомого техногенного ризику ураження пожежами лісових екогеосистем ($R_m(H)$ становить від $1,26 \cdot 10^{-6}$ до $5,79 \cdot 10^{-4}$) у Харківському регіоні та побудовано відповідні карти. Лісові масиви «ДП Куп'янський лісгосп», «ДП Жовтневий лісгосп» і «ДП Чугуєво-Бабчанський лісгосп» віднесено до групи ризику, що потребує детального обґрунтування, а екогеосистеми «ДП Ізюмський лісгосп» характеризуються ризиком, прийнятним лише в особливих обставинах.

4. Визначено чинники та наслідки постпірогенної релаксії екогеосистем в умовах техногенної дії та встановлено закономірності їх прояву. Вплив пірогенного чинника призводить до підвищення динамічності показників видового різноманіття, що полягає у флуктуаційних відхиленнях індексів різноманіття та обчислених параметрах. Виявлена динамічність показників, які характеризують різноманіття, що є частиною загальної постпірогенної релаксії екогеосистем, спрямованої на встановлення рівноваги процесів їх функціонування. Лісові низові пожежі різко змінюють морфологічний вид ґрунтового профілю, формується новий пірогенний горизонт, який за фізико-хімічними властивостями і вмістом зольних елементів відрізняється від природних аналогів. Зміни ґрунтово-рослинних комплексів відбуваються за рахунок динаміки геохімічних процесів у ґрунтах внаслідок активізації процесу мінералізації від згорання підстилки та трав'яної рослинності й подальшої зміни міграції хімічних елементів, зниження гумусу внаслідок згорання

органічної речовини, зміщення фізико-хімічних параметрів та рН ґрунтів до нейтральної реакції й олушення.

5. Встановлено закономірності здійснення техногенного впливу пірогенного походження на геохімічну міграційну здатність ВМ у ґрунтах, уражених пожежами. На підставі розрахунків можна стверджувати, що найменшу міграційну здатність мають сполуки Fe^{3+} при рН=4,5–14, Cu^{2+} – при рН=7–14, Cr^{2+} – при рН=7–9, Zn^{2+} – при рН=8–11, Ni – при рН=8–14, Pb^{2+} – при рН=9–12, Fe^{2+} – при рН=9,5–14. Отже, під час процесів постпірогенної релаксії екогеосистем, у ґрунтах фіксуються та акумулюються більшість сполук ВМ, оскільки суттєво зростає показник рН і реакція ґрунтового розчину зміщується в лужний бік. Отримані розрахунки слід використовувати для прогнозування геохімічної міграції ВМ у ґрунтах після техногенного навантаження пірогенного походження.

6. Розроблено теоретичні основи моделювання і комплексні математичні моделі геохімічних циклів ВМ, за допомогою яких отримані оцінки і прогнози геохімічних міграційних процесів у ґрунтах при техногенній дії пірогенного походження. Побудована картосхема активності геохімічної міграції ВМ під впливом техногенного навантаження пірогенного походження, яка дозволяє деталізувати міграційну здатність ВМ та надати прогноз їх поведінки в екогеосистемах після пожеж.

7. Побудовано регресійну модель, яка враховує вплив групи чинників (площа пожеж, кількість пожеж, втрата гумусу у ґрунті від дії вогню, динаміка кислотно-лужного балансу тощо) на релаксію екогеосистем. Вирішальним показником релаксії обрано відновлюваність видового різноманіття екогеокомплексів, що зазнали впливу пірогенного чинника в порівнянні з видовим різноманіттям (видовим багатством Маргалєфа) фонових (контрольних) ділянок. Найбільший вплив на відновлюваність (релаксію) екогеосистем хвойних лісів мають кількість пожеж, їх періодичність та втрата гумусу у ґрунтах. Для екогеосистем степів та остепнених лук суттєвою є кореляція між відновлюваністю видового різноманіття та змінами показника кислотно-лужного балансу. Найбільша кореляція для водно-болотних екогеосистем виявлена між відновлюваністю видового різноманіття і втратами гумусу у ґрунтах при його згорянні.

8. Розроблено екологічно безпечні рекомендації з управління процесами постпірогенної релаксії екогеосистем при техногенному навантаженні на довкілля. Доведено ефективність використання глини в очищенні ґрунту як сорбента та фітореMediaцію кульбаби звичайної по відношенню до ВМ. Запропоновані рекомендації з управління постпірогенною релаксією відновлення природних лісів, галузь застосування розроблених рекомендацій – особливо охоронні природні території (національні парки, природні парки, заповідники, заказники та ін.).

Наведені науково-методологічні основи та наукові уявлення щодо визначення рівнів техногенного ризику, виявлення закономірностей трансформації компонентів екогеосистем при техногенному впливі пірогенного походження та рекомендації з екологічно безпечного управління процесами постпірогенної релаксії екогеосистем в умовах техногенного навантаження на довкілля дозволяють сприяти вирішенню проблеми системно, враховуючи всі взаємозв'язки між причинами виникнення

пожеж, їх залежність від природно-техногенних чинників, масштабів впливу на довкілля та еколого-економічних наслідків.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Наукові праці, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації:

1. Сюткін С.І., Корнус А.О., Буц Ю.В. Методика дослідження регіональних еколого-географічних проблем. *Вісник Сумського державного університету. Серія : Технічні науки*. Суми. 2002. № 9 (42). С. 169–173.

Здобувач проаналізував еколого-географічні проблеми, узагальнив результати дослідження.

2. Буц Ю.В., Безсонний В.Л. Аналіз ризику виникнення лісової пожежі як важливий елемент управління безпекою. *Пожежна безпека : Зб. наук. пр.* Вип. 6. Львів : СПОЛОМ. 2005. С. 21–24.

Здобувач розрахував ризик виникнення лісової пожежі, сформулював висновки.

3. Андронов В.А., Крайнюк О.В., Буц Ю.В., Семків О.М. Оцінка можливості створення екологічно небезпечної ситуації при використанні у будівництві фосфогіпсу та золошлаків. *Проблеми надзвичайних ситуацій : Зб. наук. пр. УЦЗ України*. Вип. 4. Харків : УЦЗУ. 2006. С. 41–49.

Здобувач оцінив можливість виникнення екологічно небезпечної ситуації при активізації міграції важких металів під час використання фосфогіпсу та золошлаків.

4. Крайнюк Е.В., Буц Ю.В., Андронов В.А., Семків О.М. Миграционная способность тяжелых металлов при чрезвычайных ситуациях техногенного характера. *Проблеми надзвичайних ситуацій : Зб. наук. пр. УЦЗ України*. Вип. 5. Харків : УЦЗУ. 2006. С. 113–118.

Здобувач провів аналіз результатів міграційної здатності важких металів, узагальнив висновки.

5. Крайнюк О.В., Буц Ю.В. Техногенне забруднення сполуками свинцю ґрунтів міста Харкова. *Проблеми надзвичайних ситуацій : Зб. наук. пр. УЦЗ України*. Вип. 6. Харків : УЦЗУ. 2007. С. 79–86.

Здобувач запропонував використання концентраційно-логарифмічної діаграми для виявлення техногенного забруднення ґрунтів сполуками свинцю, йому належить обробка результатів, формулювання висновків.

6. Буц Ю.В., Крайнюк О.В. Забруднення важкими металами ландшафтних комплексів як результат техногенно-екологічного навантаження. *Проблеми надзвичайних ситуацій : Зб. наук. пр. УЦЗ України*. Вип. 10. Харків : УЦЗУ. 2009. С. 52–60.

Здобувач провів польові та лабораторні дослідження, здійснив аналіз результатів забруднення важкими металами ландшафтів.

7. Буц Ю.В. Моделювання виникнення надзвичайної ситуації на основі ризик-орієнтованого підходу. *Науковий журнал «Екологічна безпека»*. № 2/2011 (12). С. 33–35.

8. Гриценко А.В., Буц Ю.В. До питання методології досліджень відновлення геосистем після надзвичайних ситуацій. *Проблеми охорони навколишнього*

природного середовища та екологічної безпеки : Зб. наук. пр. УкрНДІЕП. Харків : ВД «Райдер». 2011. Вип. XXXIII. С. 3–11.

Здобувач запропонував ідею удосконалення методології дослідження геосистем після надзвичайних ситуацій пірогенного походження.

9. Катков М.В., Малкович Ю.В., Буц Ю.В. Небезпека виникнення надзвичайних ситуацій, пов'язаних з хімічними засобами захисту рослин. *Науковий журнал «Екологія и промышленность»*. 2012. №1. С. 25–28.

Здобувач проаналізував ймовірність виникнення надзвичайних ситуацій при забрудненні екогеосистем хімічними засобами рослин, сформулював висновки.

10. Буц Ю.В., Крайнюк О.В., Островерх О.О., Сенчихін Ю.М. Екологічна небезпека забруднення атмосферного повітря в зонах лісових пожеж. *Пожежна безпека* : Зб. наук. пр. Вип.21. Львів : ЛДУ БЖД. 2012. С. 39–42.

Здобувач запропонував ідею теоретичного дослідження, узагальнив та систематизував вплив небезпечних хімічних речовин на людину.

11. Буц Ю.В., Крайнюк О.В. Геохімічна трансформація міграційних властивостей важких металів під впливом техногенного навантаження пірогенного походження. *Науковий журнал «Екологічна безпека»*. №2/2017 (24). С. 95–100.

Здобувач проаналізував трансформацію міграції важких металів під впливом техногенної дії пірогенного походження, узагальнив висновки.

12. Буц Ю.В. Моделювання ризику ураження пожежами лісових екогеосистем у Харківському регіоні. *Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут»*. Збірник наукових праць. Серія: Хімія, хімічні технології та екологія. Харків : НТУ «ХПІ». 2017. № 49 (1270). С. 15–19.

13. Буц Ю.В., Крайнюк Е.В. Динамика геохимической миграционной способности химических элементов под влиянием техногенной нагрузки пирогенного происхождения. *Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии*. № 80. 2018. С. 223–234.

Здобувач проаналізував динаміку міграційних властивостей важких металів під техногенним впливом пірогенного походження, отримав та узагальнив висновки.

14. Буц Ю.В., Крайнюк О.В., Козодой Д.С., Барбашин В.В. Оцінка надзвичайних подій під час перевезення небезпечних вантажів у контексті техногенного навантаження регіонів. *Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту*. 2018. № 3 (75). С. 27–35.

Здобувач оцінив небезпеку виникнення надзвичайних подій пірогенного походження в умовах техногенного навантаження регіонів України під час перевезення небезпечних вантажів.

15. Buts Yu. V. Features of Geochemical Migration of Chemical Elements after Technogenic Loading of Pyrogenic Nature. *Journal of Engineering Sciences*. Sumy : Sumy State University. 2018. Volume 5. Issue 2. P. H1–H4.

16. Буц Ю.В. Систематизація процесів пірогенної релаксії екогеосистем в умовах техногенного навантаження. *Науковий журнал «Екологічна безпека»*. №1/2018 (25). С. 7–12.

17. Буц Ю.В. Наслідки впливу пірогенного чинника на біогеохімічні

властивості екогеосистем в умовах техногенного навантаження. *Науковий вісник будівництва*. 2018. Т. 93. №3. С. 115–122.

18. Буц Ю.В. Динаміка ландшафтно–геохімічних процесів як показник техногенного навантаження. *Вісник Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна. Серія: Геологія-Географія-Екологія* : Науковий журнал. Харків : ХНУ імені В. Н. Каразіна. 2005. № 655. С. 139–144.

19. Масто Ю.О., Буц Ю.В. Аналіз виникнення надзвичайних ситуацій пов'язаних з пожежами в природних екосистемах та їх залежність від метеорологічних показників. *Людина та довкілля. Проблеми неоекології*. Вип. 2(15). Харків : Вид-во ХНУ. 2010. С. 52–57.

Здобувач запропонував ідею, йому належить обробка результатів, формування висновків.

20. Буц Ю.В. Методологические вопросы изучения воздействия пирогенного фактора на геосистемы. *Ученые записки Таврического национального университета имени В.И. Вернадского. Серия «География»*. Том 24(63). 2011. №2. Часть 3. С. 105–108.

21. Буц Ю.В. Пірогенна релаксія геосистем. «*Людина та довкілля. Проблеми неоекології*». Харків : Вид-во ХНУ. 2012, № 1–2. С. 71–76.

22. Буц Ю.В. Про математичне моделювання пожеж в природних екосистемах. «*Людина та довкілля. Проблеми неоекології*». № 3–4. Харків : Вид-во ХНУ. 2012. С. 17–22.

23. Буц Ю.В. Теоретичні основи впливу надзвичайних ситуацій техногенного та природного характеру на геосистеми. *Вісник Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна. Серія : Екологія* : Науковий журнал. Харків : ХНУ імені В. Н. Каразіна. 2013. № 1054. Вип. 8. С.125–132.

24. Буц Ю.В., Тітенко Г.В. Динаміка видового різноманіття водно-болотних природних комплексів як прояв пірогенної релаксії геосистем. *Вісник Одеського державного екологічного університету*. 2013. Вип.15. С. 17–22.

Здобувач запропонував ідею, провів розрахунки динаміки видового різноманіття, сформулював висновки.

25. Буц Ю.В. Ландшафтно-екологічний підхід в дослідженні лісових пожеж. *Вісник Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна. Серія: Геологія-Географія-Екологія* : Науковий журнал. Харків : ХНУ імені В. Н. Каразіна. 2013. № 1049. С. 188–193.

26. Буц Ю.В. До питання картографування надзвичайних ситуацій, викликаних лісовими пожежами. *Проблеми безперервної географічної освіти і картографії* : Зб. наук. пр. Харків : ХНУ ім. В.Н. Каразіна. 2013. Вип. 18. С. 30–34.

27. Буц Ю.В. Динаміка ландшафтних пожеж в Україні та еколого-економічні наслідки їх виникнення. *Вісник Одеського національного університету*. 2013. Т.18, Вип. 2(18). С. 111–117.

28. Буц Ю.В., Некос А.Н. Роль та місце постпірогенної релаксії у функціонуванні геосистем. *Вісник Львівського національного університету. Сер. геогр.* 2013. Вип. 46. С. 55–61.

Здобувач зробив теоретичний аналіз релаксії геосистем.

29. Буц Ю.В. Просторово–часова мінливість стану природно–територіальних

комплексів як фактор виникнення пожеж. *«Людина та довкілля. Проблеми неоекології»*. № 1–2. Харків : Вид-во ХНУ. 2013. С. 86–91.

30. Буц Ю.В. Наслідки впливу пірогенного чинника на властивості ґрунтового покриву борової тераси річки Уди. *Науковий вісник Чернівецького університету : Зб. наук. пр.* Чернівці : Чернівецький нац. ун-ту. 2013. Вип. 655 : Географія. С. 16–19.

31. Буц Ю.В. Пожежна небезпека лісових масивів у Харківському регіоні та моделювання ризику їх ураження. *Економічна та соціальна географія : наук. зб.* 2013. Вип. 2(67). С. 150–160.

32. Буц Ю.В., Крайнюк Е.В. Ранжирование административных районов Харьковского региона по уровню экологического риска. *Scientific Journal «Science Rise»*. №1/1 (6). 2015. С. 14–18.

Здобувач запропонував ідею, проведено обчислення екологічного ризику.

33. Буц Ю.В., Будьонний О.П., Крайнюк О.В. До питання класифікації лісопожежних ризиків. *«Людина та довкілля. Проблеми неоекології»*. № 3–4. Харків: Вид-во ХНУ. 2015. С. 115–118.

Здобувач удосконалив систему класифікації лісопожежних ризиків.

34. Буц Ю.В., Крайнюк О.В. Оптимізація процесів постпірогенної релаксії у різних типах ПТК після ландшафтних пожеж. *Вісник Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна. Серія : Екологія : Науковий журнал.* Харків : ХНУ імені В. Н. Каразіна. 2016. Вип. 15. С. 75–80.

Здобувач порадив оптимізацію постпірогенної релаксії, сформував висновки.

35. Слепужніков Є.Д., Тарахно О.В., Пономаренко Р.В., Буц Ю.В. Удосконалення контролю відбору проб рідких, газоподібних та сипучих речовин при дослідженні техногенного впливу на довкілля. *Людина та довкілля. Проблеми неоекології*. № 30. Харків : Вид-во ХНУ. 2018. С. 148–157.

Здобувач провів узагальнення результатів дослідження, сформулював висновки.

36. Asotskyi V., Buts Y., Krainyuk O., Ponomarenko R. Post-pyrogenic changes in the properties of grey forest podzolic soils of ecogeosystems of pine forests under conditions of anthropogenic loading. *Journal of Geology, Geography and Geoecology*. 2018. 27(2). P. 175–183.

Здобувач провів польові дослідження, підсумував результати визначення важких металів атомно-абсорбційним методом, визначив висновки.

37. Buts Y., Asotskyi V., Krainyuk O., Ponomarenko R., Kovalev P. Dynamics of migration property of some heavy metals in soils in Kharkiv region under the influence of the pyrogenic factor. *Journal of Geology, Geography and Geoecology*. 2019. 28(3). P. 409–416.

Здобувач проаналізував на основі власних польових досліджень динаміку міграції важких металів у ґрунтах Харківської області, узагальнив результати, визначив висновки.

38. Крайнюк Е.В., Буц Ю.В., Андронов В.А. Миграция тяжелых металлов в окружающую среду при строительстве инженерных сооружений с использованием отходов промышленности. *Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В. Г. Шухова. Серия : «Технические науки»*. Белгород : БГТУ, 2007. №2. С. 52–56.

Здобувач проаналізував техногенне навантаження при будівництві інженерних споруд, запропонував враховувати вплив на них важких металів, їх міграцію.

39. Буц Ю.В. Влияние пирогенного фактора на видовое биоразнообразие пойменных природных комплексов. *Вестник МГОУ*. № 2 / 2013. М. : МГОУ. С. 106–109.

40. Буц Ю.В. Влияние состояния природно-территориальных комплексов на возникновение пожаров в Харьковском регионе. *Могилевский меридиан*. Т. 13. Вып. 1–2 (20–21). Могилев. 2013. С. 10–14.

41. Буц Ю.В. Математическое моделирование восстанавливаемости природных комплексов после воздействия пирогенного фактора. *Международный научно-исследовательский журнал. Research Journal of International Studies*. Екатеринбург : МНИЖ. 2013. № 8 (15). Ч.2. С. 116–118.

42. Буц Ю.В. Динамика лесных пожаров в Харьковском регионе и ландшафтно-экологические условия их возникновения. *Научные Ведомости Белгородского государственного университета*, 2013. № 10 (153). Вып. 23. С. 136–144.

43. Buts Y.V. Methodology for studying of influence of fire factor on geosystems. *Securitologia : Zeszyty Naukowe EUROPEAN ASSOCIATION for SECURITY*. 2013. № 1(17). P. 13–16.

Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації

44. Некос В.Ю., Буц Ю.В. Деякі основні проблеми формування екологічної ситуації території України. *Чорнобильська катастрофа та її вплив на екологічну ситуацію в Україні*. Матеріали науково–практичної конференції. Харків : АЦЗУ, 2006. С. 59–61.

45. Буц Ю.В., Крайнюк Е.В. К вопросу о восстановлении экосистем после чрезвычайных ситуаций. *Bezpečnosť a bezpečnostná veda : zborník vedeckých a odborných prác*. Liptovský Mikuláš–Liptovský Jan, 2009. S. 465–466.

46. Buts Y. Krainyuk O., Andronov V. The management by ecological risks and by ecological safety on basis of statistical approach. *Riešenie krízových situácií v špecifickom prostredí : 15 medzinárodná vedecká konferencia*, Fakulta špeciálneho inžinierstva ŽU, Žilina, 27–28 máj, 2010. S. 87–90.

47. Buts Y.V. The consequences of emergencies situations caused by landscape fires. *Riadenie bezpečnosti zložitých systémov, 2011 : Medzinárodný vedecký seminár 21–25 februára 2011*. Liptovský Mikuláš, 2011. P. 14–19.

48. Буц Ю.В. Аналіз наслідків надзвичайних ситуацій викликаних ландшафтними пожежами в Україні. *Безпека життя і діяльності людини – освіта, наука, практика*. Матеріали 10-ї міжнародної науково–методичної конференції (17–19 березня 2011 р., м. Київ). Київ : Центр учбової літератури, 2011. С. 91–96.

49. Buts Y.V., Utkina K.B., Kulik M.I., Fylenko V.V., Krainyk E.V. Theoretical foundations of methodology for studying of emergency situation impacts on geosystems. *Bezpečnostné Fórum 2012 : V. Medzinárodná Vedecká Konferencia, 8–9 februára 2012*. Zborník vedeckých a odborných prác. Univerzita Mateja Bela, Banská Bystrica, 2012. S. 823–827.

50. Буц Ю.В. Екологічна небезпека наслідків надзвичайних ситуацій для

довкілля. *Захист навколишнього середовища. Енергоощадність. Збалансоване природокористування*. Збірник матеріалів 2-го Міжнародного конгресу. Львів : «ЗУКЦ», 2012. С. 23.

51. Буц Ю.В., Крайнюк Е.В., Богатов О.И. Теоретические основы изучения влияния чрезвычайных ситуаций связанных с пожарами на геосистемы. *Riadenie bezpečnosti zložitých systémov 2012*. Medzinárodný vedecký seminár, 18–22 februára 2013. Zbornic vedeckych a odborných prac. Akadémia ozbrojených síl gen. M. R. Stefánika, Liptovský Mikuláš, 2013. С. 86–92.

52. Buts Y., Buts V., Kraunyk O. The some principles and strategic operating under a management by fires in natural ecosystems. *Riadenie bezpečnosti zložitých systémov 2014*. Medzinárodný vedecký seminár, 18-22 februára 2014. Zbornic vedeckych a odborných prac. Akadémia ozbrojených síl gen. M. R. Stefánika, Liptovský Mikuláš, 2014. P. 135–140.

53. Буц Ю.В. Релаксія геосистем після надзвичайних ситуацій пірогенного походження. *Проблеми екологічної безпеки*. Матеріали XII-ї міжнародної науково-технічної конференції. Кременчук : КрНУ, 2015. С. 92.

54. Буц Ю.В., Крайнюк О.В. Стан виникнення лісових пожеж в Україні. *Охорона довкілля*. Збірник наукових статей XII Всеукраїнських наукових Таліївських читань. Харків : ХНУ імені В.Н. Каразіна, 2016. С. 14–15.

55. Буц Ю.В., Крайнюк О.В. Геохімічні трансформації ґрунтового покриву внаслідок впливу пірогенного чинника. *Екологічні дослідження лісових біогеоценозів степової зони України*. Матеріали Міжнародної наукової конференції. Дніпро : Ліра, 2016. С. 14–15.

56. Буц Ю.В., Крайнюк О.В. Пірогенний вплив на геохімічну міграцію важких металів. *Екологія, охорона навколишнього середовища та збалансоване природокористування : освіта – наука – виробництво – 2018*. Збірник тез доповідей XXI Міжнародної науково-практичної конференції. Харків: ХНУ імені В. Н. Каразіна, 2018. С. 55–58.

57. Буц Ю.В., Крайнюк О.В. Міграційна здатність плюмбуму у ґрунтах Харківського регіону під дією пірогенного чинника *Треті Сумські наукові географічні читання : збірник матеріалів Всеукраїнської наукової конференції (Суми, 12-14 листопада 2018 р.)* [Електронний ресурс]. СумДПУ імені А.С. Макаренка, Сумський відділ Українського географічного товариства; [упорядник Корнус А.О.]. Елект. текст. дані. Суми. 2018. С. 128–131.

58. Буц Ю.В., Крайнюк О.В., Некос А. Н. Природна пожежа у Рівненському заповіднику та її аналіз *VinSmartEco*. Збірник матеріалів I Міжнародної науково-практичної конференції (16-18 травня 2019, м. Вінниця, Україна). Вінниця: КВНЗ «Вінницька академія неперервної освіти», 2019. С. 255–256.

59. Буц Ю.В., Крайнюк Е.В. Анализ риска возникновения лесных пожаров *Сохранение лесных генетических ресурсов: Материалы 6-ой Международной конференции-совещания*, Щучинск, 16-20 сентября 2019 г. – Кокшетау, издательство «Мир печати», ИП. Устюгова, 2019. С. 47–50.

АНОТАЦІЯ

Буц Ю.В. Науково-методологічні основи релаксії екогеосистем при техногенному навантаженні пірогенного походження. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 21.06.01 – екологічна безпека. – Сумський державний університет, 2020. Спеціалізована вчена рада Д 55.051.04.

Дисертаційна робота присвячена обґрунтуванню науково-методологічних основ релаксії екогеосистем при техногенному навантаженні пірогенного походження.

У дисертаційній роботі систематизовано техногенний вплив пірогенних процесів на компоненти довкілля та його стан. Запропоновано поняття «постпірогенна релаксія екогеосистем» та його співвідношення з іншими процесами постпірогенних досліджень.

Обґрунтовано теоретико-методологічні оцінки техногенного ризику пірогенного походження екогеосистем України. Розраховано оцінку ступеня техногенного ризику ураження пожежами лісових екогеосистем у Харківському регіоні та побудовано відповідні картосхеми. Встановлено закономірності постпірогенної релаксії екогеосистем Харківського регіону, які полягають у трансформації їх складових компонентів. Доведено вплив пірогенного навантаження на геохімічну міграцію важких металів. Діапазон осадження гідроксидів і області переважання розчинних гідросокомплексів вивчені за допомогою побудови концентраційно-логарифмічних діаграм. Розрахунки можна використовувати для прогнозування геохімічної міграції важких металів у ґрунтах після техногенного впливу пірогенного походження.

Розроблено комплексні математичні моделі геохімічних циклів, за допомогою яких отримані оцінки і прогнози геохімічних міграційних процесів у ґрунтах екогеосистем при техногенній дії пірогенного походження. Отримані моделі поведінки важких металів адекватні для складання прогнозової оцінки їх геохімічної міграції та акумуляції в екогеосистемах при техногенному навантаженні пірогенного походження. Встановлено умови концентрування і міграції сполук важких металів, виведено рівняння для розрахунку концентрації їх рухомих форм.

Запропоновано регресійну модель, яка враховує вплив групи чинників (площа пожеж, кількість пожеж, втрату гумусу у ґрунті від дії вогню, динаміку кислотно-лужного балансу, тощо) на релаксію екогеосистем. За математичними обчисленнями перевірено адекватність моделі та можливості використання її для прогнозування релаксії екогеосистем.

Відновлення екогеосистем (насамперед їхнього видового різноманіття) необхідно впроваджувати з урахуванням постпірогенної релаксії. Задля цього розроблено рекомендації щодо раціонального природокористування та управлінських рішень із забезпечення екологічної безпеки процесів постпірогенної релаксії екогеосистем після техногенного навантаження пірогенного походження

Ключові слова: екогеосистема, екологічна безпека, техногенне навантаження, релаксія екогеосистем, важкі метали, пірогенний чинник, ландшафтна пожежа, екологічні умови, геохімічна міграція.

АННОТАЦИЯ

Буц Ю.В. Научно-методологические основы релаксии экогеосистем при техногенной нагрузке пирогенного происхождения. – Квалификационный научный труд на правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 21.06.01 – экологическая безопасность. – Сумский государственный университет, 2020. Специализированный ученый совет Д 55.051.04.

Диссертация посвящена обоснованию научно-методологических основ релаксии экогеосистем при техногенной нагрузке пирогенного происхождения.

В диссертационной работе систематизировано техногенное воздействие пирогенных процессов на компоненты окружающей среды и ее состояние. Предложено понятие «постпирогенная релаксия экогеосистем» и его соотношение с другими процессами постпирогенных исследований.

Обоснованы теоретико-методологические оценки техногенного риска пирогенного происхождения экогеосистем Украины. Рассчитана оценка техногенного риска поражения пожарами лесных экогеосистем в Харьковском регионе и построены соответствующие карты. Установлены закономерности постпирогенной релаксии экогеосистем Харьковского региона, которые заключаются в трансформации их компонентов. Доказано влияние пирогенной нагрузки на геохимическую миграцию тяжелых металлов. Диапазон осаждения гидроксидов и области преобладания растворимых гидроксокомплексов изучены с помощью построения концентрационно-логарифмических диаграмм. Расчеты можно использовать для прогнозирования геохимической миграции тяжелых металлов в почвах после техногенного воздействия пирогенного происхождения.

Разработаны комплексные математические модели геохимических циклов, с помощью которых получены оценки и прогнозы геохимических миграционных процессов в почвах при техногенном воздействии. Полученные модели поведения тяжелых металлов адекватны для составления прогнозной оценки их геохимической миграции в экогеосистемах при техногенной нагрузке пирогенного происхождения. Установлены условия концентрации и миграции тяжелых металлов, выведено уравнение для расчета подвижных форм тяжелых металлов.

Предложено регрессионную модель, которая учитывает влияние группы факторов (площадь пожаров, количество пожаров, потерю гумуса в почве от воздействия огня, динамику кислотно-щелочного баланса и т.д.) на релаксию экогеосистем. По математическим вычислениям проверено адекватность модели и возможность использования ее для прогнозирования релаксии экогеосистем.

Восстановление экогеосистем (прежде всего их видового разнообразия) необходимо внедрять с учетом постпирогенной релаксии. Для этого разработаны рекомендации по рациональному природопользованию и управленческим решениям по обеспечению экологической безопасности процессов постпирогенной релаксии экогеосистем после техногенной нагрузки пирогенного происхождения

Ключевые слова: экогеосистема, экологическая безопасность, техногенная нагрузка, релаксия экогеосистем, тяжелые металлы, пирогенный фактор, ландшафтный пожар, экологические условия, геохимическая миграция.

SUMMARY

Buts Yu.V. Scientific and methodological bases of relaxation of ecogeosystems under the technogenic loading of pyrogenic origin. - Qualifying scientific work on the manuscript rights.

Dissertation for obtaining a scientific degree of Doctor of Engineering Sciences in specialty 21.06.01 – ecological safety. – Sumy State University, 2020. Specialized Academic Council D 55.051.04.

The thesis is devoted to the substantiation of scientific and methodical bases of relaxation of ecogeosystems under the technogenic loading of pyrogenic origin. In the dissertation work The technogenic influence of pyrogenic processes on the components of the environment and its state are systematized. The concept of "pyrogenic relaxation of ecogeosystems" and its relation with other processes of post-pyrogenic research are proposed.

The theoretical and methodological estimations of technogenic risk of pyrogenic origin of ecogeosystems of Ukraine are substantiated. The estimation of the degree of anthropogenic risk of damage to forest ecogeosystems in the Kharkiv region was calculated, and corresponding cartographic works were constructed. The regularities of post-pyrogenic relaxation of ecogeosystems of the Kharkiv region, which consist in the transformation of the constituent components of ecogeosystems, are established. Forest lowland fires sharply change the morphological form of the upper part of the soil profile, forming a new pyrogenic horizon. The influence of the technogenic loading of pyrogenic origin on the geochemical migration of heavy metals takes place. The range of precipitation of hydroxides and the region of predominance of soluble hydroxocomplexes have been studied by constructing concentration-logarithmic diagrams (CLDs). The calculations can be used to predict the geochemical migration of heavy metals in soils after the man-made consequences of emergencies of pyrogenic origin.

Complex mathematical models of geochemical cycles have been developed, with the help of which estimations and predictions of geochemical migration processes in the soil environment of ecogeosystems during anthropogenic loading of pyrogenic origin are obtained. The obtained models of heavy metal behavior are adequate for compiling a predictive estimation of their geochemical migration and accumulation in ecological systems as a result of the influence of the technogenic loading of the pyrogenic agreement. The conditions of concentration and migration of compounds of heavy metals are established, the equation for calculating the concentration of moving forms of heavy metal compounds is derived.

A regression model is proposed that takes into account the influence of a group of factors on the relaxation of ecogeosystems. Restoring ecogeosystems should be implemented taking into account post-pyrogenic relaxation. For this purpose, recommendations have been made on the rational use of nature and management decisions to ensure the environmental safety of post-pyrogenic relaxation processes of ecogeosystems after man-made emergencies of pyrogenic origin.

Key words: ecogeosystem, ecological safety, technogenic loading, relaxation of ecogeosystems, heavy metals, pyrogenic factor, landscape fire, ecological conditions, emergency situation.

Підписано до друку 10.01.2020.
Формат 60x90/16. Ум. друк. арк. 1,9. Обл.-вид. арк. 1,9.
Тираж 100 пр. Зам. №0820/3-18.

Надруковано з готового оригінал-макету у друкарні ФОП Петров В. В.
Єдиний державний реєстр юридичних осіб та фізичних осіб-підприємців.
Запис № 2480000000106167 від 08.01.2009 р.
61144, м. Харків, вул. Гв. Широнінців, 79в, к. 137, тел. (057) 78-17-137.
e-mail: bookfabrik@mail.ua