

ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ РАДІОЕЛЕКТРОНІКИ
МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»
МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису

ДУДІНОВА ОЛЬГА БОГДАНІВНА

УДК 004.9:528

ДИСЕРТАЦІЯ
МЕТОДИ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ ОБРОБКИ ПРОСТОРОВИХ ДАНИХ В
ГЕОІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМАХ ЕКОЛОГІЧНОГО
МОНІТОРИНГУ

Спеціальність 05.13.06 – інформаційні технології

Галузь знань 12 – інформаційні технології

Подається на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей,
результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

_____ О.Б. Дудінова

Науковий керівник

Удовенко Сергій Григорович,

доктор технічних наук, професор

Харків – 2021

*Згодом за
змістом з іншими
примітками
додати до
Вибір секретар
сперіалізован
всіма факт 064,050.04
15.06.2021р.*



АНОТАЦІЯ

Дудінова О.Б. Методи інтелектуальної обробки просторових даних в геоінформаційних системах екологічного моніторингу – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13.06 «Інформаційні технології». – Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Міністерство освіти і науки України, Харків, 2021.

У дисертаційній роботі запропоновано рішення актуальної науково-практичної задачі розробки методів інтелектуальної обробки просторових даних в геоінформаційних системах екологічного моніторингу, які дозволяють підвищити якість формування ландшафтних цифрових зображень для подальшого аналізу стану зон моніторингу. Об'єктом дослідження в роботі є процеси обробки та аналізу цифрових зображень об'єктів ландшафтних та промислових зон, що аналізуються в ГІС екологічного моніторингу, предметом дослідження – методи інтелектуальної обробки просторових даних та формування ландшафтних цифрових зображень в ГІС екологічного моніторингу.

Методи дослідження основані на використанні: теорії розпізнавання образів та обробки зображень (для розробки методів попередньої обробки просторових даних та сегментації зображень); теорії штучних нейронних мереж (для фільтрації та відновлення зашумлених або викривлених зображень контрольованих об'єктів моніторингу) фрактального аналізу та генетичної оптимізації (для розробки методу стиснення зображень в ГІС); марковської моделі растрових зображень (для комп'ютерного аналізу просторових зображень об'єктів ландшафтних та промислових зон), теорії імітаційного моделювання (для експериментального моделювання запропонованих методів).

В роботі запропоновано: метод категорійної класифікації об'єктів в задачах комп'ютерного аналізу аерознімків, де, на відміну від існуючих, використано комбіновану базу прототипів, яка розширюється за допомогою простих критеріїв (кольору, текстури, контурів), що дозволяє спростити задачу розпізнавання об'єктів зон моніторингу; метод нейромережевої обробки зашумлених цифрових зображень, які можуть містити викривлені фрагменти, який, на відміну від існуючих, заснований на використанні нейроеволюційної моделі шумопригнічуючих автоенкодерів з поліпшеними апроксимуючими властивостями, що дає можливість його практичного використання для обробки даних в геоінформаційних системах за умов наявності суттєвих шумів; метод сегментації та виділення контурів просторових цифрових зображень, оснований на використанні марковських моделей, який, на відміну від існуючих, дозволяє враховувати характер околу аналізованого пікселя і задавати залежність між класами сусідніх пікселів, що сприяє підвищенню якості детектування контурів об'єктів зон моніторингу; метод нейромережевої обробки зашумлених картографічних даних геоінформаційної системи, який, на відміну від існуючих, передбачає реалізацію на паралельних обчислювальних структурах процедур попередньої фільтрації напівтонових просторових зображень та завадостійкого детектування контурів об'єктів зображень; метод корекції кольорових картографічних зображень з метою поліпшення їх якості, яке здійснюється за рахунок зміни яскравісної компоненти зображення в кольоровому просторі HSI за допомогою гамма-корекції; метод стиснення растрових даних, де використовується комбіноване застосування генетичної оптимізації та фрактальних методів компресії просторових зображень, представлених за допомогою квадродерев, що дозволяє його ефективно застосовувати для обробки та архівації даних в геоінформаційних системах.

Практичними результатами використання проведених досліджень є алгоритми, прикладні програми та інформаційна технологія, що реалізують розроблені методи інтелектуальної обробки і цифрових зображень в ГІС екологічного моніторингу. В результаті їх впровадження передбачається

розробити інформаційну технологію інтелектуальної обробки цифрових зображень (ІТІОЦЗ) в ГІС екологічного моніторингу ландшафтних об'єктів України, що об'єднує сукупність моделей і методів, зокрема: проекційні рекурентні методи навчання нейронних мереж, які використовуються для вирішення завдань обробки зображень; алгоритми навчання ШНМ на основі асиметричних функціоналів якості, що дозволяють отримувати якісні моделі в умовах негаусовських перешкод; ієрархічні ШНМ для стиснення та фільтрації зображень, що дозволяють значно зменшити апаратні витрати і обсяг пам'яті для зберігання зображень, а також зменшити час їх обробки; еволюційний шумопригнічуючий автоенкодер (ЕШАЕ), призначений для фільтрації шумів і відновлення спотворених фрагментів в цифрових зображеннях в ГІС екологічного моніторингу; гібридний підхід до інтелектуальної обробки цифрових зображень, який об'єднує переваги відомих і запропонованих методів. Очікуваний ефект від впровадження результатів дисертації позначиться на підвищенні якості та оперативності обробки цифрових зображень в ГІС екологічного моніторингу ландшафтних об'єктів України, інтегрований в Єдину державну систему моніторингу навколишнього середовища і природних ресурсів. Отримані результати можуть бути адаптовані для широкого класу прикладних завдань обробки, стиснення і класифікації зображень в ГІС, що вимагають обробки структурованої інформації високого рівня (зокрема розпізнавання і індексації зображень). До таких завдань слід, зокрема, віднести розпізнавання на знімках доріг і перехресть, необхідне для складання картографічної бази даних ГІС та здійснення екологічного контролю в промислових регіонах з високим ризиком порушень екології. На основі результатів проекту можуть бути створені курси лекцій і навчальні посібники з інтелектуальних методів обробки цифрових зображень, методів нейромережевого моделювання та методів еволюційних обчислень для профільних вищих навчальних закладів України.

Результати дисертаційної роботи впроваджені у ПАТ «Сєверодонецький ОРГХІМ» (м. Сєверодонецьк). Матеріали дисертації достатньо повно викладено у 18 наукових роботах, у тому числі: 7 статтях, які зазначені в переліку фахових видань України з технічних наук (з них одна наукова стаття у Scopus) та 11 тезах доповідей міжнародних конференцій.

Ключові слова: модель, геоінформаційна система, екологічний моніторинг, нейромережева обробка просторових даних, фільтрація шумів, детектування контурів зображень, категоризація зображень, генетичний алгоритм, марковська модель, фрактальне стиснення зображень, автоенкодер

Список публікацій здобувача

Наукові праці, в яких опубліковано основні наукові результати дисертації:

1. Шамраев А.А., Шамраева Е.О., Дудинова О.Б. Метод компьютерной обработки цифровых аэрофотоснимков. *Системы обработки информации*. 2014. Вып. 7(123). С.168–171.
2. Дудинова О.Б., Удовенко С.Г. Метод нейросетевой обработки зашумленных пространственных данных. *Автоматизированные системы управления и приборы автоматики*. 2015. Вып.173. С. 14 – 23.
3. Дудинова О.Б., Удовенко С.Г. Гибридный метод сжатия растровых данных в системе экологического мониторинга. *Бионика интеллекта*. 2016. Вып. 1 (86). С. 76–80.
4. Дудинова О.Б. Метод категорийной классификации объектов при компьютерном анализе аэроснимков. *Системы обработки информации*. 2016. Вып. 7 (144). С. 36–44
5. Дудинова О.Б., Удовенко С.Г. Компьютерный анализ пространственных изображений с применением марковских моделей. *Бионика интеллекта*. 2017. Вып. 1 (88). С. 75–79.
6. Безсонов О., Руденко О., Удовенко С., Дудинова О. Обработка зашумленных цифровых изображений с использованием автоенкодеров, що

еволюціонують. *Східно-Європейський журнал передових технологій. Інформаційні технології і системи управління*. 2017. № 6/9 (90). С. 63–69 (Scopus).

7. Дудінова О.Б., Удовенко С.Г., Чала Л.Е. Інтелектуальна обробка просторових даних в ГІС ландшафтно-екологічного моніторингу. *Біоніка інтелекту*. 2020. Вып. 2 (95). С. 43–50.

Матеріали та праці наукових конференцій:

8. Дудинова О.Б., Удовенко С.Г. Метод компьютерной обработки картографических растровых изображений. *Проблеми інформатизації: Матеріали 1-ї Міжнародної науково-технічної конференції*. Черкаси: ЧДТУ; Київ: ДУТ; Тольятті: ТДУ; Полтава: ПНТУ. 2013. С. 48.

9. Дудинова О.Б., Удовенко С.Г. Интеллектуальная обработка топографической информации в системах экологического контроля. *Проблеми інформатизації: Матеріали 2-ї Міжнародної науково-технічної конференції*. Київ: ДУТ; Полтава: ПНТУ; Катовице: Катовицький економічний університет; Париж: Університет Париж VII Венсент-Сен-Дені; Білгород: НДУ «БДУ»; Черкаси: ЧДТУ; Харків: ХНДІТМ. 2014. С. 70.

10. Дудинова О.Б., Удовенко С.Г. Оценка точечных особенностей изображений в системах обработки топографической информации. *Сучасні напрямки розвитку інформаційно-комунікаційних технологій та засобів управління: Матеріали 4-ї Міжнародної науково-технічної конференції*. Полтава-Баку-Белгород-Кировоград- Харків. 2014. С. 34.

11. Удовенко С.Г., Дудинова О.Б., Бондаренко М.А. Компьютерная обработка топографических данных в системах экологического мониторинга. *Сучасні напрямки розвитку інформаційно-комунікаційних технологій та засобів управління: Матеріали 5-ї Міжнародної науково-технічної конференції*. Полтава-Баку-Белгород-Кировоград- Харків. 2015. С. 25.

12. Удовенко С.Г., Дудінова О.Б. Обробка картографічних зображень в геоінформаційній системі екологічного контролю. *Інформаційні технології в освіті, науці і виробництві: Матеріали 5-ї Міжнародної науково-практичної*

інтернет-конференції. Луцьк. 2015. С. 61–63.

13. Удовенко С.Г., Шамраєв А.А., Дудинова О.Б. Модифіциований метод тональної корекції цифрових зображень. *IT-Тренди: соціальні медіа, великі дані, штучний інтелект: Тези доповідей 2-го Міжнародного форуму*. Т.1. Кременчук: Кременчуцький національний університет імені М.Остроградського. 2015. С.8–9.

14. Удовенко С.Г., Дудинова О.Б. Нейросетевое сжатие информации в геоинформационных системах экологического мониторинга. *Сучасні напрямки розвитку інформаційно-комунікаційних технологій та засобів управління: Матеріали 6-ї Міжнародної науково-технічної конференції*. Полтава: ПНТУ; Баку: ВА ЗС АР; Кіровоград: КЛА НАУ; Харків: ДП «ХНДІ ТМ». 2016. С. 65.

15. Удовенко С.Г., Дудинова О.Б., Бреславец Б.А. Программный модуль фрактального сжатия геоинформационных пространственных данных. *Проблеми інформатизації: Матеріали 4-ї Міжнародної науково-технічної конференції*. Черкаси-Київ-Баку-БельскоБяла-Харків. 2016. С. 36–37.

16. Удовенко С.Г., Дудинова О.Б. Модифіцированный метод коррекции цифровых изображений в геоинформационных системах. *Информационные проблемы теории акустических, радиоэлектронных и телекоммуникационных систем (IPST-2016): Матеріали 5-й Международной научно-технической конференции*. –Харьков. 2016. С. 40.

17. Удовенко С.Г., Дудинова О.Б. Марковские модели сегментации изображений. *Поліграфічні, мультимедійні та web-технології» (PMW-17): Матеріали 2-ї Міжнародної науково-технічної конференції*. Харків. 2017. С. 75–76.

18. Удовенко С., Погорелов А., Дудінова О. Модифікований метод сегментації бінаризованих зображень. *Інтелектуальні системи та інформаційні технології» (ICIT-2019): Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції*. Одеса. 2019. С. 247–249.

ABSTRACT

Dudinova, O. Methods of intellectual processing of spatial data in geoinformation systems of ecological monitoring – Qualifying scientific work on the manuscript rights.

Thesis for the degree of candidate of technical sciences in specialty 05.13.06 – information technologies. – National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute», Kharkiv, 2021.

In dissertation work the solution of the actual scientific and practical task of working out of methods of intellectual processing of spatial data in geoinformation systems (GIS) of ecological monitoring, which allows to improve the quality of formation of landscape digital images for further analysis of the state of monitoring zones, is proposed. The object of the study in the work are the processes of processing and analysis of digital images of objects of landscapes and industrial zones, analyzed in the GIS of environmental monitoring, the subject of research – the methods of intelligent processing of spatial data and the formation of landscape digital images in the GIS of environmental monitoring.

Research methods are based on the use of: image recognition and processing theory (for developing spatial data preprocessing methods and image segmentation); theories of artificial neural networks (for filtering and restoration of noisy or distorted images of monitored objects of monitoring); fractal analysis and genetic optimization (for developing the method of compression of images in GIS); Markov model of raster images (for computer analysis of spatial images of objects of landscapes and industrial zones), theory of simulation (for experimental modeling of the proposed methods).

The paper proposes: the method of categorical classification of objects in the problems of computer analysis of aerial photographs, where the combined prototype base is used, which is expanded with the help of simple criteria, which simplifies the recognition problem monitoring areas; a method of neural network processing of noisy digital images that can contain distorted fragments, which is

based on the use of a neuroevolutionary model of noise-suppressing autoencoders with improved approximating properties, enabling its practical use for processing data in GIS in the presence of significant noise; the method of segmentation and allocation of contours of spatial digital images, based on the use of Markov models, which allows to take into account the nature of the area of the analyzed pixel and to determine the relationship between the classes of adjacent pixels, which contributes to improving the quality of the detection of contours of the monitoring zone objects; the method of neural network processing of noisy cartographic data of the GIS, which involves realization on the parallel computational structures of the procedures of preliminary filtering of spatial images and noise-proof detection of contours of objects of images; the method of correction of color cartographic images in order to improve their quality, which is carried out by changing the bright component of the image in the color space of the HSI using gamma correction; a raster data compression method, which uses a combined application of genetic optimization and fractal methods for compressing spatial images enabling it to be effectively applied for processing and archiving of data in GIS. The practical results of using the conducted research are algorithms, applied programs and information technology, implementing the methods of intellectual processing and digital images in the GIS of environmental monitoring. The obtained results can be adapted for a wide class of applied tasks of processing, compression and classification of images in GIS, requiring the processing of high-level structured information (in particular, recognition and indexing of images). Such tasks should, in particular, include the recognition of road photographs and intersections necessary for the compilation of a GIS mapping database and the implementation of environmental monitoring in industrial regions with a high risk of environmental degradation.

Keywords: geoinformation system, ecological monitoring, neural network processing of spatial data, noise filtration, image contour detection, image categorization, genetic algorithm, Markov model, fractal image compression, autoencoder.

List of publications of the applicant

Scientific papers, in which the main scientific results of the thesis are published:

1. Shamrayev A.A., Shamrayeva Ye.O., Dudinova O.B. Metod komp'yuternoy obrabotki tsifrovyykh aerofotosnimkov. *Sistemi obrobki informatsii*. 2014. V. 7(123). P.168–171.
2. Dudinova O.B., Udovenko S.G. Metod neyrosetevoy obrabotki zashumlennykh prostranstvennykh dannykh. *Avtomatizirovannyye sistemy upravleniya i pribory avtomatiki*. 2015. V.173. P. 14 – 23.
3. Dudinova O.B., Udovenko S.G. Gibridnyy metod szhatiya rastrovyykh dannykh v sisteme ekologicheskogo monitoringa. *Bionika intellekta*. 2016. V. 1 (86). P. 76–80.
4. Dudinova O.B. Metod kategoriynoy klassifikatsii ob'yektov pri komp'yuternom analize aerosnimkov. *Sistemi obrobki informatsii*. 2016. V. 7 (144). P. 36–44.
5. Dudinova O.B., Udovenko S.G. Komp'yuternyy analiz prostranstvennykh izobrazheniy s primeneniyem markovskikh modeley. *Bionika intellekta*. 2017. V. 1 (88). P. 75–79.
6. Bezsonov O., Rudenko O., Udovenko S., Dudinova O. Processing of noisy digital images with use of evolving autoencoders. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. Information and controlling system*. Vol.6/9(90). P. 63–69 (Scopus).
7. Dudinova O.B., Udovenko S.H., Chala L.E. Intelektual'na obrobka prostorovykh danykh v GIS landshaftno-ekolohichnoho monitorynhu. *Bionika intelektu*. 2020. V. 2 (95). P. 43–50.

Materials and works of scientific conferences:

8. Dudinova O.B., Udovenko S.G. Metod komp'yuternoy obrabotki kartograficheskikh rastrovyykh zobrazheniy. *Problemy informatyzatsiyi: Materialy*

1-yi Mizhnarodnoyi naukovo-tekhnichnoyi konferentsiyi. Cherkasy: CHDTU; Kyiv: DUT; Tol'yatti: TDU; Poltava: PNTU. 2013. P. 48.

9. Dudinova O.B., Udovenko S.G. Intel'ektual'naya obrabotka topograficheskoy informatsii v sistemakh ekologicheskogo kontrolya. *Problemy informatyzatsiyi: Materialy 2-yi Mizhnarodnoyi naukovo-tekhnichnoyi konferentsiyi*. Kyiv: DUT; Poltava: PNTU; Katovyts'e: Katovyts'kyy ekonomichnyy universytet; Paryzh: Universytet Paryzh VII Vyensent-Sen-Dyeni; Bilhorod: NDU «BDU»; Cherkasy: CHDTU; Kharkiv: KHNDITM. 2014. P. 70.

10. Dudinova O.B., Udovenko S.G. Otsenka tochechnykh osobennostey izobrazheniy v sistemakh obrabotki topograficheskoy informatsii. *Suchasni napryamky rozvytku informatsiyno-komunikatsiynykh tekhnolohiy ta zasobiv upravlinnya: Materialy 4-yi Mizhnarodnoyi naukovo-tekhnichnoyi konferentsiyi*. Poltava-Baku-Byelhorod-Kyrovohrad- Kharkiv. 2014. P. 34.

11. Udovenko S.G., Dudinova O.B., Bondarenko M.A. Komp'yuternaya obrabotka topograficheskikh dannykh v sistemakh ekologicheskogo monitoringa. *Suchasni napryamky rozvytku informatsiyno-komunikatsiynykh tekhnolohiy ta zasobiv upravlinnya: Materialy 5-yi Mizhnarodnoyi naukovo-tekhnichnoyi konferentsiyi*. Poltava-Baku-Byelhorod-Kyrovohrad- Kharkiv. 2015. P. 25.

12. Udovenko S.H., Dudinova O.B. Obrobka kartohrafichnykh zobrazhen' v heoinformatsiyniy systemi ekolohichnoho kontrolyu. *Informatsiyni tekhnolohiyi v osviti, nauksi i vyrobnytstvi: Materialy 5-yi Mizhnarodnoyi naukovo-praktychnoyi internet-konferentsiyi*. Luts'k. 2015. P. 61–63.

13. Udovenko S.G., Shamrayev A.A., Dudinova O.B. Modifitsirovannyi metod tonal'noy korrektsii tsifrovnykh izobrazheniy. *IT-Trendy: sotsial'ni media, velyki dani, shtuchnyy intelekt: Tezy dopovidey 2-ho Mizhnarodnoho forumu*. T.1. Kremen'chuk: Kremen'chuts'kyy natsional'nyy universytet imeni M.Ostrohrads'koho. 2015. P.8–9.

14. Udovenko S.G., Dudinova O.B. Neyrosetevoye szhatiye informatsii v geoinformatsionnykh sistemakh ekologicheskogo monitoringa. *Suchasni napryamky rozvytku informatsiyno-komunikatsiynykh tekhnolohiy ta zasobiv*

upravlinnya: Materialy 6-yi Mizhnarodnoyi naukovo-tekhnichnoyi konferentsiyi. Poltava: PNTU; Baku: VA ZS AR; Kirovohrad: KLA NAU; Kharkiv: DP «KHNDI TM». 2016. P. 65.

15. Udovenko S.G., Dudinova O.B., Breslavets B.A. Programmnyy modul' fraktal'nogo szhatiya geoinformatsionnykh prostranstvennykh dannykh. *Problemy informatyzatsiyi*: Materialy 4-yi Mizhnarodnoyi naukovo-tekhnichnoyi konferentsiyi. Cherkasy-Kyyiv-Baku-Bel'skoByala-Kharkiv. 2016. P. 36–37.

16. Udovenko S.G., Dudinova O.B. Modifitsirovannyi metod korrektsii tsifrovyykh izobrazheniy v geoinformatsionnykh sistemakh. *Informatsionnyye problemy teorii akusticheskikh, radioelektronnykh i telekommunikatsionnykh sistem (IPST-2016)*: Materialy 5-y Mezhdunarodnoyi nauchno-tekhnicheskoy konferentsii. –Khar'kov. 2016. P. 40–41.

17. Udovenko S.G., Dudinova O.B. Markovskiye modeli segmentatsii zobrazheniy. *Polihrafichni, mul'tymediyni ta web-tekhnologiyi» (PMW-17)*: Materialy 2-yi Mizhnarodnoyi naukovo-tekhnichnoyi konferentsiyi. Kharkiv. 2017. P. 75–76.

18. Udovenko S., Pohorelov A., Dudinova O. Modyfikovannyi metod sehmentatsiyi binaryzovanykh zobrazhen'. *Intelektual'ni systemy ta informatsiyini tekhnologiyi» (ISIT-2019)*: Materialy Mizhnarodnoyi naukovo-praktychnoyi konferentsiyi. Odesa. 2019. P. 247–249.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ ТА СКОРОЧЕНЬ	4
ВСТУП	5
РОЗДІЛ 1. ОГЛЯД СТАНУ ПРОБЛЕМИ ТА ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ	18
1.1 Моделі представлення просторових даних в геоінформаційних системах	18
1.2 Технології обробки просторових даних в ГІС екологічного моніторингу	26
1.3 Методи комп'ютерної обробки просторових даних в ГІС	34
1.4 Постановка задачі дослідження	44
Висновки до розділу 1	45
РОЗДІЛ 2 МЕТОДИ НЕЙРОМЕРЕЖЕВОЇ ОБРОБКИ ДАНИХ ЕКОЛОГІЧНОГО МОНІТОРИНГУ	47
2.1 Метод фотометричної корекції зображень в ГІС екологічного моніторинга	47
2.2 Метод нейромережевої обробки зашумлених просторових даних	54
2.3 Метод категорійної класифікації просторових об'єктів ГІС при комп'ютерному аналізі аерознімків	63
2.4 Комп'ютерний аналіз просторових зображень із застосуванням марковських моделей	82
2.4.1 Марковська модель	83
2.4.2 Детектування контурів зображень із застосуванням марковської моделі	86
Висновки до розділу 2	90
РОЗДІЛ 3 МЕТОДИ СТИСНЕННЯ ТА ВІДНОВЛЕННЯ ЗОБРАЖЕНЬ В ГІС ЕКОЛОГІЧНОГО МОНІТОРИНГУ	92
3.1 Фрактальна модель стиснення растрових зображень	92

3.2	Метод стиснення зображень в ГІС на основі фрактальної моделі і генетичної оптимізації	96
3.3	Метод стиснення та відновлення зображень з використанням шумопрігнічуючих автоенкодерів	102
	Висновки до розділу 3	115
	РОЗДІЛ 4 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТА ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ОБРОБКИ ЗОБРАЖЕНЬ В ГІСЛЕМ	116
4.1	Моделювання методу гамма-корекції на прикладі обробки зображень міського промислового району	116
4.2	Моделювання методу нейромережевої обробки цифрових напівтонових просторових зображень з виділенням контурів	118
4.3	Моделювання методу нейромережевої обробки просторових ландшафтних зображень з використанням категорійної класифікації	121
4.4	Моделювання методу відновлення зашумлених та викривлених зображень за допомогою ЕШАЕ	123
4.5	Бінаризація та масштабування оброблюваних зображень з нерівномірним фоном	128
4.6	Структура та ІТ підсистем обробки просторових даних та стиснення/відновлення зображень в ГІС ландшафтного екологічного моніторингу	131
	Висновки до розділу 4	140
	ВИСНОВКИ	141
	СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	143
	ДОДАТКИ	
	Додаток А. Документи впровадження основних результатів роботи	158
	Додаток Б. Список публікацій здобувача	160