

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ
НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ
ІНСТИТУТ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ
І ГЛОБАЛЬНОГО ІНФОРМАЦІЙНОГО ПРОСТОРУ

ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА ТА ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ

№ 3–4 (24), липень-грудень 2017 р.

Збірник наукових праць

Заснований у 2008 р.
Виходить 4 рази на рік

КИЇВ 2017

РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ

Головні редактори **О.С. Волошкіна**, д-р техн. наук, проф.
О.М. Трофимчук, д-р техн. наук, проф., чл.-кор. НАНУ

Члени редколегії:

Білявський Г.О.,	д-р геол.-мін. наук, проф.
Биченок М.М.,	д-р техн. наук
Бойко І.П.,	д-р техн. наук, проф.
Довгий С.О.,	д-р фіз.-мат. наук, проф., чл.-кор. НАНУ
Калюх Ю.І.,	д-р техн. наук, проф.
Качинський А.Б.,	д-р техн. наук, проф.
Коржнєв М.М.,	д-р геол.-мін. наук, проф.
Кочетов Г.М.,	д-р техн. наук, проф.
Олійник О.Я.,	д-р техн. наук, проф., чл.-кор. НАНУ
Павлишин В.І.,	д-р геол.-мін. наук, проф.
Приймак О.В.,	д-р техн. наук, проф.
Радчук В.В.,	д-р геол. наук
Рудько Г.І.,	д-р техн. наук, д-р геол.-мін. наук, д-р геогр. наук, проф.
Стрижак О.Є.,	д-р техн. наук
Триснюк В.М.,	д-р техн. наук
Удод В.М.,	д-р біол. наук, проф.
Шнюков С.Є.,	д-р геол. наук, проф.
Яковлєв Є.О.,	д-р техн. наук

Рекомендовано до друку Вченою радою
Київського національного університету будівництва і архітектури
(протокол № 7 від 27.10.2017 р.)

Збірник наукових праць включено до Переліку наукових фахових видань України,
в яких можуть публікуватися результати дисертаційних робіт на здобуття
наукових ступенів доктора і кандидата наук за напрямом «технічні науки»
(Наказ Міністерства освіти і науки України від 22.12.2016 № 1604)

ОСНОВНІ ТЕМАТИЧНІ РОЗДІЛИ ЗБІРНИКА

- Екологічна безпека
- Інформаційні ресурси та системи
- Основи природокористування
- Дискусійні повідомлення

АДРЕСА РЕДАКЦІЇ

03186, м. Київ, Чоколівський бульв., 13,
Інститут телекомунікацій і глобального
інформаційного простору НАН України
Телефони: (044) 245-87-97
(044) 524-22-62
E-mail: itelua@kv.ukrtel.net

Свідоцтво про державну реєстрацію
КВ № 14146-3117 Р від 27.05.2008 р.

Електронна версія збірника в Інтернеті
<http://www.es-journal.in.ua> українською,
російською та англійською мовами

ЗМІСТ

ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА

Чапля Є.Я., Лянце Г.Т., Чернуха О.Ю., Гончарук В.Є. Чинники процесу міграції радіонуклідів у ґрунті.....	7
Даценко В.В., Хименко Н.Л. Некоторые аспекты оценки экологической безопасности промышленных отходов.....	18
Юрченко В.О., Бригада О.В., Лебедєва О.С. Визначення середньорічної концентрації сірководню в каналізаційних трубопроводах та в газоподібних викидах з них в атмосферне повітря.....	29
Нестер А.А. Оцінка екологічної безпеки територій підприємств виробництва плат та гальваніки.....	39
Краскевич В.Є., Селіванова А.В., Шварц В.П. Застосування методології фінансового інжинірингу для оптимізації комплексу утилізації твердих побутових відходів.....	44

ОСНОВИ ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ

Азаров С.І., Сидоренко В.Л., Задунай О.С. Визначення надійності екосистем до чинника антропогенного тиску.....	50
Чернишев Д.О. Сучасні засоби просторово-територіального моделювання екосистем інженерного захисту.....	58
Лобойченко В.М. Экспресс-идентификация природной воды со стабильным солевым составом.....	67
Степенко А.І., Кошарна С.К., Іванченко В.В. Формування карбонатних відкладів під впливом інфільтрацій з хвостосховища ЦГЗК (Кривий Ріг).....	74
Левкова Е.А., Савин С.З. Меди́ко-экологический анализ репродуктивных потерь в Хабаровском крае РФ.....	84
Хижняк С.В., Сисоля́тін С.В., Мідик С.В., Войці́цький В.М. Модифікація структурного стану клітинних мембран органів тварин за екзогенного впливу.....	97
Malkin E.S., Zhuravskaya N.E. Ecologo end energy-saving technologies with the use of water treat in the magnetic fields.....	106

ІНФОРМАЦІЙНІ РЕСУРСИ ТА СИСТЕМИ

Ходневич Я.В., Стефанишин Д.В., Корбутяк В.М.

Імітаційне моделювання умов виникнення місцевих розмивів русел рік... 112

Хижняк А.В., Томченко О.В., Дьяченко Т.М., Федоровський О.Д.

Мультифрактальний аналіз складових плавнево-літорального ландшафту
Кілійського гирла Дунаю на основі космічної і наземної інформації 124

Шевчук Р.М.

Верифікація результатів супутникового моніторингу територій
нелегального видобутку бурштину..... 133

Стефанишин Д.В., Дем'янюк А.В.

Обґрунтування базової діагностичної моделі для контролю й
прогнозування фільтрації в тілі земляної греблі за даними регулярних
п'єзометричних спостережень..... 138

Калюх Ю.І., Дунін В.А., Берчун Я.О., Самойленко С.М.

Експериментально-аналітичні дослідження технічного стану залізничних
протизсувних споруд під дією динамічних навантажень..... 148

РЕФЕРАТИ..... 156

ІНФОРМАЦІЯ ПРО АВТОРІВ..... 168

CONTENTS

ENVIRONMENTAL SAFETY

Chaplya Y., Lyantse H., Chernukha O., Goncharuk V. Factors of process of radionuclides migration in soil.....	7
Datsenko V.V., Khimenko N.L. Certain aspects of environmental safety assesment of industrial waste	18
Yurchenko V.O., Brigada O.V., Lebedeva O.S. Determination of the average annual concentration of hydrogen sulphide in sewerage networks and in gaseous emissions from them into atmospheric air...	29
Nester A. Assessment of the ecological safety of the enterprises in the production of circuit boards and electroplating.....	39
Kraskevich V., Selivanova A., Shvarts V. Application of methodology of financial engineering for optimization of the complex of utilization solid household waste.....	44

NATURAL RESOURCES

Azarov S., Sydorenko V., Zadunaj O. Determination of the reliability of ecosystems to the factor of anthropogenic pressure	50
Chernyshev D.O. Modern vehicles of space-territorial modeling of ecosystems of engineering protection.....	58
Loboichenko V.M. Express identification of natural water with stable salt composition.....	67
Stetsenko A.I., Kosharna S.K., Ivanchenko V.V. The formation of carbonate sediments under the influence of infiltration from tailing dump of Central GOK (Krivoy Rog).....	74
Levkova E.A., Savin S.Z. System analysis of medico-ecological factors of the population reproductive losses in Khabarovsk Region.....	84
Khyzhnyak S.V., Sysoliatin S.V., Midyk S.V., Voitsitsky V.M. Modification of the structural state of cell membranes of animal organs for exogenous influence.....	97
Malkin E.S., Zhuravskaya N.E. Ecologo end energy-saving technologies with the use of water treat in the magnetic fields.....	106

INFORMATION RESOURCES AND SYSTEMS

Khodnevych Y.V., Stefanyshyn D.V., Korbutiak V.M.

Simulation modeling of condition for initiation of local riverbed erosion..... 112

Khyzhniak A.V., Tomchenko O.V., Dyachenko T.M., Fedorovsky O.D.

Multifractal analysis of the components flood-littoral landscape of the Danube's Kiliya delta based on space and ground information..... 124

Shevchuk R.N.

Verification of results of satellite monitoring of territories of illegal mining of amber..... 133

Stefanyshyn D.V., Demianiuk A.V.

Justification basic diagnostic model for control and forecast seepage through earthfill dams according to regular piezometric observations..... 138

Kaliukh I., Dunin V., Berchun Y., Samoilenko S.

Experimental and analytical investigations of the technical condition of the railway retaining structures by dynamic loading..... 148

ABSTRACTS..... 156

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS..... 168

ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА

УДК 631.95: 632.12

Є.Я. ЧАПЛЯ, Г.Т. ЛЯНЦЕ, О.Ю. ЧЕРНУХА, В.Є. ГОНЧАРУК

ЧИННИКИ ПРОЦЕСУ МІГРАЦІЇ РАДІОНУКЛІДІВ У ҐРУНТІ

***Анотація.** В роботі проаналізовано чинники процесу міграції радіонуклідів у різних типах ґрунтів внаслідок радіоактивного забруднення після аварії на Чорнобильській АЕС. Показано, що міграція радіонуклідів у ландшафті розвивається на тлі суперечливої взаємодії двох груп чинників. Одна група визначає переважно винесення з ґрунтів радіонуклідів і розвиток процесів самоочищення ландшафтів. Це чинники стоку і змиву, а також ті, що регулюють кислотність та інші параметри ґрунтів, які сприяють переходу радіонуклідів у рухомі форми. Друга група чинників діє на утримання радіонуклідів на місці випадання та зумовлює радіоекологічну ємність ландшафтів. Це наявність у ґрунті і товщі ґрунтоутворюючих порід гумусу, глинистих мінералів, а також ландшафтно-геохімічних та біогеохімічних бар'єрів.*

***Ключові слова:** радіонуклід, ґрунт, потік фільтрації, дифузія, фактор, гідрографічна мережа.*

Вступ

Радіонукліди, що випали на поверхню ґрунту, під впливом природних чинників мігрують у горизонтальному і вертикальному напрямках. Під міграцією радіонуклідів у ґрунті розуміють сукупність процесів, які приводять до переміщення радіонуклідів і розподілу їх між різними фазами і станами, що обумовлює, зокрема, перерозподіл радіонуклідів за глибиною ґрунтового профілю та зумовлює надходження їх у рослини і ґрунтові води.

Міграція радіонуклідів у ландшафті розвивається на фоні суперечливої взаємодії двох груп чинників. Одна група визначає переважно винесення з ґрунтів радіонуклідів і розвиток процесів самоочищення ландшафтів. Це чинники стоку і змиву, а також ті, що регулюють кислотність та інші параметри ґрунтів, які сприяють переходу радіонуклідів у рухомі форми. Друга група чинників діє на утримання радіонуклідів на місці випадання та зумовлює радіоекологічну ємність ландшафтів. Це наявність у ґрунті і товщі ґрунтоутворюючих порід гумусу, глинистих мінералів, а також ландшафтно-геохімічних та біогеохімічних бар'єрів.

Аналіз чинників міграції радіонуклідів у ґрунті

Внаслідок вітрової ерозії підстилаючої поверхні ґрунту, змиву радіоактивних речовин з рослинності атмосферними опадами та їхнього стоку в низинні безстічні ділянки і гідрографічну мережу відбувається горизонтальний перерозподіл радіонуклідів. Швидкість горизонтальної міграції залежить від гідрометеорологічних чинників (швидкість вітру у приземних шарах атмосфери, кількість та інтенсивність атмосферних опадів), фізико-географічних особливостей даного району (наприклад, рельєф місцевості, рослинність), дисперсності радіоактивних аерозолей, міцності їх фіксації ґрунтом і рослинністю тощо. Найбільша швидкість горизонтальної міграції радіонуклідів спостерігається при сильних дощах, які змивають радіоактивні речовини, що осіли на листях, суцвіттях, стеблах рослин, при весняному таненні снігу, коли відбувається інтенсивний поверхневий сток атмосферних опадів, які випали в зимовий період, з водозбірних басейнів у гідрографічну мережу або під час ерозії ґрунтів.

З часом у ґрунтах відбуваються процеси переміщення радіонуклідів углиб ґрунту внаслідок їхнього перенесення з верхніх шарів ґрунту фільтраційними потоками і дифузією. Ці хімічні процеси регулюють в основному вертикальне переміщення радіоактивного забруднення. Обмежуючими бар'єрами для розповсюдження радіонуклідів будуть у першу чергу мінерали з високими сорбційними характеристиками – глини, гідролути, оксиди і гідрооксиди заліза.

У природних умовах вертикальна міграція радіонуклідів відбувається шляхом переносу частинок твердої фази (до якої відносяться і паливні частинки) у вигляді водних механічних суспензій та в загальному випадку конвективної дифузії у поровому розчині при супутних явищах сорбції-десорбції [1–7]. При інтенсивному переносі водних механічних суспензій спостерігаються ефекти зменшення вільно доступного порового розчину і блокування шляхів руху твердих компонент, що в кінцевому результаті приводить до перерозподілу і фактичного знаходження цих частинок тільки у тонкому поверхневому шарі [8]. Конвективна дифузія радіонуклідів у порових розчинах при малих часах релаксації процесів сорбції у порівнянні з часами релаксації дифузійних просторових процесів у значній обмінній ємності ґрунтів теж не повинна приводити до значного вертикального переносу домішкової речовини [9].

Природні фактори, пов'язані з рухом ґрунтової вологи (фільтраційний потік, капілярний потік, термовологоперенос), можна інтегрально розглядати як один сумарний потік вологи. Перенос радіонуклідів відбувається переважно з ґрунтовим розчином і супроводжується адсорбцією на поверхні твердої фази ґрунту і десорбцією назад у ґрунтовий розчин. Напрямок та інтенсивність руху ґрунтових вод залежить від властивостей ґрунту та кліматичних умов. Так, у спекотні літні дні, коли переважає капілярний рух порового розчину, сумарний потік ґрунтових вод направлений угору, після дощів переважає інфільтрація і сумарний потік направлений униз [5]. Але зміною потоку в часі при дослідженнях міграції радіонуклідів у ґрунті, яка проходить роками, можна знехтувати, оскільки середньорічний потік вологи для даного типу ґрунту в даних кліматичних умовах з достатньою точністю для досліджень міграції є величиною постійною.

Для встановлення оцінки внеску конвективного і дифузійного переносу іонів радіонуклідів у їхньому переміщенні у ґрунті швидкість конвективного переносу V іонів у ґрунті можна оцінити за формулою [5]

$$V \approx v / \gamma K_p, \quad (1)$$

де v – середня швидкість потоку води; γ – густина ґрунтового розчину; K_p – коефіцієнт розподілу.

Середня швидкість потоку води для ґрунтів середньої смуги Європи складає біля $(0,3-30) \cdot 10^{-2}$ м за рік, густина ґрунтового розчину $\gamma = 10^3$ кг/м³, коефіцієнт розподілу для стронцію $K_p \approx 10^{-2}$ м³/кг. В результаті отримуємо, що за рік ^{90}Sr зміщується у ґрунті на $(0,03-3) \cdot 10^{-2}$ м.

Поряд з конвективним переносом значну роль у міграції радіонуклідів відіграє дифузія, як фактор, який викликає переміщення не тільки іонів, що знаходяться у розчині, але й адсорбованих іонів. Вклад дифузії буде різним у різних типах ґрунтів. Він буде тим більшим, чим більше іонів адсорбовано і чим менша швидкість потоку ґрунтової води.

У ґрунті частина іонів знаходиться в адсорбованому стані, а частина – у розчині. Процес дифузійного переносу іонів, як правило, складається з послідовних процесів повільної дифузії в адсорбованому стані, переході їх у розчин у результаті іонного обміну, більш швидкої дифузії у розчині і переходу знову в адсорбований стан.

Дифузію можна вважати найбільш поширеним процесом, оскільки у ґрунті завжди наявні градієнти концентрації складових елементів. Тому, незважаючи на порівняно невелику швидкість дифузійних процесів, вони часто відіграють основну роль у міграції, зокрема, радіоактивних забруднень.

Щоб оцінити вклад дифузійної міграції можна застосувати наближену формулу переміщення x частинок домішки [5]

$$x \cong 2\sqrt{Dt/\pi}, \quad (2)$$

де D – коефіцієнт дифузії; t – час.

Для ^{90}Sr коефіцієнт дифузії змінюється у ґрунтах у природних умовах у межах $10^{-12}-10^{-11}$ м²/с. В результаті за рахунок дифузійних процесів середнє зміщення стронцію за рік складає $(0,5-2) \cdot 10^{-2}$ м.

Однак існує якісна відмінність у характері дії двох факторів: конвективного переносу з потоком води і дифузії. Конвективний перенос приводить до переміщення зони забруднення зі зміщенням максимальної концентрації углиб ґрунту. Дифузія викликає розширення зони забруднення з одночасним зменшенням величини максимальної концентрації.

Перенос іонів кореневими системами рослин також вносить свій вклад у міграцію радіонуклідів. Значимість цього фактора залежить від глибини розповсюдження і густини кореневої системи у ґрунті. Але оскільки адсорбційна здатність кореневої системи менша, ніж ґрунту, то при умові, що їх сумарний об'єм складає незначну частину від об'єму ґрунту, який займає

коренева система, вклад кореневого переносу радіонуклідів, як правило, не суттєвий. Коли ж роль кореневого переносу у міграції є помітною, то його наслідки такі ж, як і у попередніх двох випадках – зона забруднення розмивається і проникає в глибину ґрунту. Зворотний рух вздовж кореневої системи значного впливу на міграцію не має, оскільки радіонукліди із зони малої концентрації забруднення потрапляють у зону великої концентрації, і тому ним можна знехтувати.

Оскільки конвективний перенос вологи у ґрунті і дифузія описуються достатньо точно існуючими математичними моделями, а дія інших факторів приводить до подібних наслідків, то при дослідженні міграції радіонуклідів у ґрунті можна обмежитися врахуванням конвективного переносу радіонуклідів з ґрунтовою вологою та їхньою дифузією.

Поверхневий змив радіонуклідів

В якості кількісної характеристики поверхневого змиву можна використовувати коефіцієнт змиву K , який описує частину запасу радіонуклідів на водозборі, яка надійшла з поверхневим стоком у водойму [10]. Коефіцієнт змиву K для водорозчинної форми радіонуклідів визначається із співвідношення:

$$K = A_p h / (A_0 H), \quad (3)$$

де A_p – водорозчинна частина активності; A_0 – загальна активність; h – товщина шару поверхневого стоку, мм; H – загальний водозапас у місці відбирання проби.

Аналіз результатів досліджень показує, що ^{90}Sr змивається в основному в розчиненому стані (це впливає із співвідношення значень коефіцієнтів змиву у розчиненому стані і зависі). Основна частина ^{137}Cs змивається у завислому стані, що пояснюється здатністю атомів цезію утворювати міцні сполуки з глинистими матеріалами та залучати їх до дрібнодисперсної частини ґрунту. В той же час для паливних частинок спостерігаються деякі загальні закономірності локальної горизонтальної міграції [1]. В конкретних геоморфологічних умовах при наявності областей збору і виносу піщового матеріалу, які розміщені на різних висотах і з'єднані руслом водних потоків, спостерігається утворення зон накопичення паливних частинок, аналогічно до зон накопичення важких акцесорних мінералів. Радіоактивність паливних частинок спрощує виявлення місць їхнього накопичення. В табл. 1 наведено дані про горизонтальне переміщення паливних частинок на відносно невеликій відстані [1]. Концентрація церію, яка відображає вміст паливних частинок у піщових ґрунтах, змінюється від області зносу до області накопичення у 4–60 разів.

На основі досліджень горизонтального переносу радіонуклідів зроблено висновок, що процеси локального переносу паливних частинок можуть привести тільки до незначного їх переміщення, а не до збільшення диференціації розподілу радіоактивних елементів [1].

Таблиця 1 – Концентрація ^{144}Ce на ділянках локального переносу паливних частинок

Місце відбору проб (на 26.04.1986)	Концентрація ^{144}Ce 10^{-4} , <i>Бк/кг</i>		Відстань між точками відбору проб, <i>м</i>
	знос	накопичення	
Полігон 3	0,4	3,1	30
Північний берег ставка-охолоджувача	4,8	80	3
Полігон 4	0,9	55	5
„Лісництво”, 9 км західніше 4-го блоку	8,1	35	3,5
р. Прип'ять, правий берег біля парому	2,4	32	30

Кількісні закономірності вертикальної міграції радіонуклідів

Дослідження вертикального розподілу радіонуклідів у ґрунтах 30-кілометрової зони ЧАЕС проводились багатьма науковими школами. Зокрема, перенос трансуранових елементів досліджувався на ґрунтових полігонах, які розміщені на відстані 5–14,5 км від станції і охоплюють такі типи ґрунтів: торфово-болотний, на низинних торфах потужністю більше ніж 0,5 м; дерново-луговий пісковий опідзолений; дерново-луговий пісковий, глеєватий; дерново-підзолистий пісковий, дерново-слабопідзолистий малогумусний пісковий [11]. Кожен тип ґрунту представлений трьома полігонами, які відрізняються ландшафтом і ступенем забруднення. В табл. 2 наведено дані вертикального розподілу форм радіонуклідів залежно від типу ґрунту.

Таблиця 2 – Розподіл форм ^{90}Sr , ^{239}Pu , ^{241}Am у різних типах ґрунтів (%)

Шар ґрунту, 10^{-2} м	Форма	торф'яник			глеєватий ґрунт			пісковий ґрунт		
		^{90}Sr	^{239}Pu	^{241}Am	^{90}Sr	^{239}Pu	^{241}Am	^{90}Sr	^{239}Pu	^{241}Am
1	Водорозчинна	0,59	0,36	0,48	4,48	0,77	0,55	4,07	3,89	0,27
	Обмінна	48,4	0,77	2,4	26,7	4,11	7,94	52,9	5,95	5,8
	Кислоторозчинна	24,8	1,14	43,2	15,2	4,51	46,0	29,7	5,85	73,4
	Твердий залишок	26,1	97,7	53,9	53,6	90,6	45,5	13,3	84,9	20,5
2	Водорозчинна	0,54	0,47	0,32	4,25	0,58	0,3	3,5	0,58	0,12
	Обмінна	46,1	0,94	3,45	36,5	3,1	6,7	55,1	3,65	7,74
	Кислоторозчинна	37,7	1,27	47,1	27,2	3,7	56,4	27,5	3,01	65,6
	Твердий залишок	15,6	97,4	48,9	32,1	92,6	36,6	13,9	92,8	26,9
3	Водорозчинна	0,8	0,52	0,19	3,77	0,48	0,18	1,29	0,66	0,16
	Обмінна	42,9	1,01	3,12	52,2	5,27	8,56	58,2	3,54	6,92
	Кислоторозчинна	38,6	1,17	53,3	26,8	4,13	53,0	30,4	3,83	66,4
	Твердий залишок	17,6	97,3	43,4	17,2	90,1	38,2	10,1	91,9	26,5
4	Водорозчинна	0,8	0,41	0,11	2,67	0,62	0,14	0,81	0,29	0,08
	Обмінна	46,4	0,68	5,6	48,2	4,85	6,69	74,7	4,17	6,14
	Кислоторозчинна	37,3	1,72	61,1	28,6	2,84	53,2	18,6	6,36	73,9
	Твердий залишок	15,1	97,0	33,3	20,5	91,7	39,9	5,91	89,2	19,9
5	Водорозчинна	0,5	0,5	0,15	2,91	0,88	0,15	0,74	0,17	0,07
	Обмінна	46,6	1,5	3,55	58,5	6,37	7,57	61,6	3,28	5,7
	Кислоторозчинна	39,5	4,0	52,0	26,2	3,38	53,7	31,2	3,57	74,3
	Твердий залишок	13,4	94,0	44,3	12,5	89,4	38,5	6,51	93,0	20,0
6	Водорозчинна	0,5	1,1	-	2,18	1,44	0,13	0,68	0,28	0,09
	Обмінна	45,6	2,3	6,2	40,8	6,9	9,03	64,6	1,73	7,9
	Кислоторозчинна	37,9	3,4	42,9	19,9	2,69	52,5	28,6	3,9	76,1
	Твердий залишок	16,0	93,2	50,9	37,0	89,0	38,4	6,16	94,0	15,8

На 1992 рік для всіх досліджуваних типів ґрунтів у верхньому шарі товщиною 0,06 м знаходилось 95–97% плутонію та америцію. Вміст ^{90}Sr у малогумусних піскових ґрунтах на глибині 0,12–0,14 м досягає 8–10% від його повного вмісту у пробі. В цих ґрунтах спостерігається підвищене вилугування стронцію і його значна міграція у глибинні горизонти. Проникнення активності в оглеєні ґрунтові горизонти обмежене і складає десяти частки відсотка для стронцію і соті частки відсотка – для плутонію та америцію.

За результатами досліджень щодо знаходження різних форм ^{90}Sr і ^{137}Cs за глибиною профілю в алювіально-дернових ґрунтах [12] зроблено висновки, що на серпень 1991 р. в алювіальних дернових ґрунтах основна кількість радіонуклідів (97–99% від загального запасу) знаходиться у верхніх шарах ґрунту (0–0,06 м). Незважаючи на значну відмінність хімічних форм ^{90}Sr і ^{137}Cs у ґрунтах, практично відсутня різниця у швидкості їх міграції. У верхньому шарі ґрунту на глибині 0,04–0,06 м спостерігається практично рівномірний розподіл водорозчинної та обмінносорбованої форм ^{137}Cs . Нижче цього шару спостерігається поступове збільшення вмісту цих форм. Для всіх типів ґрунтів розподіл міцнозв'язаної форми ^{137}Cs рівномірний за профілем. Відносний вміст обмінносорбованої форми ^{90}Sr для глеєвих і піскових ґрунтів збільшується з глибиною в шарі 0–0,06 м. Глибше частка цієї форми розподіляється рівномірно. Відношення рухомої і фіксованої форм ^{90}Sr у шарі 0–0,3 м є величиною постійною.

Для вивчення міграції ^{137}Cs за ґрунтовим профілем проводились дослідження на ділянках з різними елементами рельєфу. За однакових атмосферних умов найбільші темпи міграції радіонукліду спостерігались на водороздільних увалах, схилах, у пониженнях, а також на затоплених заплавах. За інтенсивністю міграційних процесів ґрунти можна розмістити у такий ряд (за зменшенням інтенсивності):

ґрунти постійно затоплюваних заплав → ґрунти незатоплюваних заплав → ґрунти ділянок водорозділу і терас → ґрунти схилів.

У ґрунтах затоплюваних заплав максимум концентрації забруднення (близько 40% загального запасу радіоцезію) знаходиться у шарі 0,1–0,15 м (Брянська обл.). На водороздільних схилах і терасах біля 90% цезію знаходиться у шарі 0–0,05 м. Аналогічні закономірності встановлено і на чорноземах. Однак, темпи міграції у цих ґрунтах дещо нижчі, ніж на піскових дерново-підзолистих ґрунтах. Відносно високі темпи міграції цезію на чорноземах Тульської області у порівнянні з дерново-підзолистими ґрунтами пов'язані з великою рухливістю комплексних органічних сполук ^{137}Cs , доброю структурованістю чорноземних ґрунтів (наявністю великих тріщин і пор), а також високою сорбційною здатністю нижчих шарів ґрунтового профілю.

Аналіз досліджень вертикальної міграції цезію на ділянках, які відрізняються ґрунтами і ландшафтно-геохімічними характеристиками [13], показав, що, незважаючи на різні рівні забруднення, для однотипних ґрунтів розподіл ^{137}Cs за глибиною носить подібний характер, і спостерігається напівлогарифмічна залежність зниження забруднення з глибиною. На цілинних

ділянках найрізкіше зниження вмісту ^{137}Cs з глибиною спостерігається для піскових ґрунтів. Рівномірніший спад концентрації ^{137}Cs у шарах торфового і дерново-підзолистого ґрунтів. На оброблюваних полях проходить усереднення вмісту ^{137}Cs у шарі 0–0,2 м.

Результати вивчення вертикального розподілу ^{137}Cs показали, що на осінь 1992 року основна кількість цезію (до 80–90%) на цілих ділянках розміщена у верхніх шарах ґрунту, які не перевищують 0,06 м. В залежності від типу ґрунтів поширення ^{137}Cs дійшло до глибини 0,15–0,24 м. На цій глибині проникло близько 0,3–1% ^{137}Cs від загального його вмісту у розрізі. На оброблюваних ділянках розповсюдження цезію дійшло до глибини 0,25–0,3 м, а вміст його на цих глибинах складає 0,02–0,3% від вмісту у розрізі. Наявність цезію у глибинних горизонтах є наслідком процесів вилуговування ^{137}Cs з випадань і переходом у рухомі водорозчинні форми з наступною міграцією за профілем ґрунту.

Оскільки основна частина ^{137}Cs знаходиться у міцнозв'язаній формі у верхніх 0,06 м шарах ґрунту (98% в дерново-підзолистому, 97% в торфі, 92% у піщовому ґрунті), то автори роботи [14] провели дослідження з метою виявлення складової ґрунту, яка (мінеральна чи органічна) зв'язує ^{137}Cs . Результати досліджень показали, що з органічною компонентою ґрунту зв'язано не більше ніж 3–10% ^{137}Cs . Основна частина ^{137}Cs (90%) зв'язана з мінеральною складовою ґрунту, яка, як було встановлено, являє собою суміш кварцу, ортоклазу і глинистих мінералів. Проведена оцінка виявила, що хоча глинисті мінерали складають тільки 5–7% в мінеральній складовій ґрунту, вони містять 45–50% від всієї кількості ^{137}Cs .

В результаті процесу розкладу органічних речовин ^{137}Cs переходить у рухомий стан. При цьому [15], основна його частина зв'язується з мінеральною компонентою ґрунту, а інша – може мігрувати за профілем ґрунту. В результаті розкладення органічної компоненти ґрунту змінюються співвідношення між внеском у поглинання цезію органічною і мінеральною складовими ґрунту на користь мінеральної. Тут вирішальну роль у поглинанні ^{137}Cs мінеральною частиною ґрунту відіграє ізоморфне заміщення іонів у кристалічній ґратці глинистих мінералів. Кількість можливих форм міграції ^{137}Cs (водорозчинна та обмінна) в поверхневих пробах ґрунту складає кілька відсотків. Тому проникнення у нижчі горизонти великої кількості ^{137}Cs неможливе, оскільки ^{137}Cs міцнозв'язаний з мінеральною складовою ґрунту, яка представлена більш або менш стійкими мінералами [14].

Дослідження вертикальної міграції радіонуклідів у ґрунтах і розподілу їх у системі „тверда фаза ґрунту – порові розчини” проведено у роботі [16]. Об'єктом досліджень були проби необроблюваних органічних і мінеральних ґрунтів, які відбирались у 1994–1995 роках на території реперних ділянок.

Вертикальну міграцію радіонуклідів можна оцінити з їх виносу з однакових частин ґрунтових профілів. В усіх типах ґрунтів ^{90}Sr є наймобільнішим радіонуклідом. Це приводить до максимального потрапляння його у порові

розчини і, відповідно, значення коефіцієнтів розподілу між твердою фазою ґрунту і поровим розчином для ^{90}Sr є мінімальними.

На 1995 рік для дерново-підзолистого сипучого піщового ґрунту в (0–0,05)-метровому шарі відмічено тільки 34% від сумарного вмісту ^{90}Sr у ґрунтовому профілі, 66% радіоізоотопу перемістилось у глибші шари. Винос ^{90}Sr з (0–0,1)-метрового шару складає 62%. У даному типі ґрунту швидкість міграції ^{90}Sr є максимальною (у порівнянні з іншими типами ґрунтів). Така поведінка стронцію у дерново-підзолистому сипучому піщовому ґрунті може бути пов'язана з низькою сорбційною здатністю ґрунту (незначна іонообмінна ємність, малий вміст мінеральних і гумусних речовин, які закріплюють стронцій), значним запасом обмінної форми стронцію, а також із сипучою структурою і низькою вологоємністю ґрунту, що забезпечує промивний характер ґрунту [17–19]. В інших типах ґрунтів винос радіостронцію за межі (0–0,05)-метрового шару не перевищує 48,5%, а поза (0–0,1)-метровий шар – 12%.

За інтенсивністю вертикального переносу ^{90}Sr досліджувані ґрунти можуть бути розміщені в наступному ряді:

дерново-підзолистий піщовий → заплавний дерновий → торфово-глеєвий → сильно мінералізований торфовий.

Максимальна інтенсивність міграції ^{137}Cs , $^{239,240}\text{Pu}$ і ^{241}Am з (0–0,1)-метрового шару спостерігалась для заплавно-дернового ґрунту. Тут має вплив ступінь зволоження ґрунту. Винос ^{137}Cs з 0,10-метрового шару не перевищує 8,8%, $^{239,240}\text{Pu}$ – 2,4% і ^{241}Am – 5,2% (для 0,05-метрового шару відмічено відповідно такий винос: 16,5%; 8%; 24,9%).

Швидкість вертикального перерозподілу трансуранових елементів співвимірна зі швидкістю міграції радіоцезію. Основна кількість ^{137}Cs , $^{239,240}\text{Pu}$ і ^{241}Am розміщена в (0–0,05)-метровому шарі ґрунту.

За швидкістю спадання міграції радіонуклідів ґрунти складають наступні ряди:

^{137}Cs : **заплавний дерновий ґрунт → торфово-глеєвий → дерново-підзолистий піщовий ≡ сильно мінералізований торфовий;**

$^{239,240}\text{Pu}$: **заплавний дерновий ґрунт → торфово-глеєвий ≡ сильно мінералізований торфовий → дерново-підзолистий піщовий;**

^{241}Am : **заплавний дерновий ґрунт → торфово-глеєвий → дерново-підзолистий піщовий → сильно мінералізований торфовий.**

Аналіз існуючих експериментальних даних показує, що в більшості випадків при кількісному описі процесів переносу радіонуклідів можна вважати, що в кожній довільно вибраній малій частині ґрунту завжди міститься крім частинок, які складають його базові компоненти (скелет і поровий розчин), макроскопічне число радіоактивних частинок одного сорту у трьох фізично різних станах. Ці стани відповідають їхньому знаходженню у конвективно рухомому розчині, у зв'язаних з поверхнею твердих складових ґрунту адсорбованих шарах води та в об'ємі мінеральних складових скелету [20]. Коефіцієнти дифузії частинок у розчині є на декілька порядків більші, ніж у зв'язаних шарах води, а в об'ємі скелету радіонукліди практично не

дифундують. Квазірівноважний розподіл між цими різними станами істотно залежить від типу радіонуклідів і фізико-хімічних властивостей ґрунту.

Для ізотропного середовища за відсутності макроскопічної фільтрації порового розчину та ізотермічних умов і нехтуванні процесами деформації середовища, концентрації радіоактивних частинок у цих станах C_i ($i = 1, 2, 3$) визначаються з такої системи рівнянь за відповідних початкових і граничних умов [20]:

$$\begin{aligned} \frac{\partial C_1(\vec{r}, \tau)}{\partial \tau} &= D_1 \Delta C_1(\vec{r}, \tau) + D_{12} \Delta C_2(\vec{r}, \tau) - k_1 C_1(\vec{r}, \tau) + k C_2(\vec{r}, \tau), \\ \frac{\partial C_2(\vec{r}, \tau)}{\partial \tau} &= D_{21} \Delta C_1(\vec{r}, \tau) + D_2 \Delta C_2(\vec{r}, \tau) + k_1 C_1(\vec{r}, \tau) - (k + k_3) C_2(\vec{r}, \tau) + k_2 C_3(\vec{r}, \tau), \\ \frac{\partial C_3(\vec{r}, \tau)}{\partial \tau} &= k_3 C_2(\vec{r}, \tau) - k_2 C_3(\vec{r}, \tau), \end{aligned} \quad (4)$$

де D_1 – коефіцієнт дифузії радіонуклідів у поровому розчині, D_2 – коефіцієнт дифузії частинок в адсорбованій воді, D_{12} і D_{21} – перехресні коефіцієнти дифузії, k – коефіцієнт інтенсивності переходу частинок з адсорбованої води у поровий розчин, k_1 – коефіцієнт інтенсивності переходу радіонуклідів з розчину в адсорбовану воду, k_2 і k_3 – коефіцієнти інтенсивності переходу зі скелету в адсорбовану воду і зворотного переходу; Δ – оператор Лапласа, $\vec{r}$ – радіус-вектор біжучої точки, τ – час.

Аналіз розв'язків крайових задач на основі системи рівнянь (4) показав, що наявність пасток сприяє накопиченню домішки в шарі ґрунту, проте цей механізм задіюється з часом. Суттєвий вплив на профілі концентрації забруднення та сумарних потоків домішки має коефіцієнт поверхневого розподілу радіонуклідів між водним поровим розчином та адсорбованими шарами води. Коефіцієнти дифузії та інтенсивності процесів сорбції-десорбції впливають на значення концентрації та потоків, але не змінюють їх якісної поведінки.

Висновки

Показано, що інтенсивність переносу паливних частинок у профілі ґрунту набагато нижча від інтенсивності переносу радіонуклідів у вихідній водорозчинній формі. Максимальну різницю в інтенсивності переносу відмічено для дерново-підзолистих піскових ґрунтів. Різниця в інтенсивності переносу паливних частинок і радіонуклідів у водорозчинній формі для дерново-підзолистих супіскових і торфово-болотних ґрунтів менша, але складає значну величину.

Прослідковується певний вплив режиму зволоження і ступеня обводнення ґрунтів на інтенсивність міграційних процесів. Мінімальна рухливість радіостронцію спостерігається в осушеному торфовому ґрунті суходольного луку. Більш мобільний ^{90}Sr в торфово-глеєвому і заплавно-дерновому ґрунтах. Результати досліджень вертикальної міграції ^{137}Cs , $^{239,240}\text{Pu}$ і

^{241}Am показують малу швидкість міграції цих радіонуклідів у всіх типах досліджуваних ґрунтів. Одночасно слід відзначити, що у всіх типах ґрунтів ^{241}Am мігрує швидше, ніж $^{239,240}\text{Pu}$.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Дубасов Ю.В., Кривохатский А.С., Савоненков В.Г., Смирнова Е.А. Состояние и поведение частиц диспергированного топлива, выброшенного из 4-го блока Чернобыльской АЭС // Радиохимия. – 1991. – Т. 33, №1. – С. 96–100.
2. Дубасов Ю.В., Савоненков В.Г., Смирнова Е.К. Систематизация радиоактивных продуктов аварии на Чернобыльской АЭС // Радиохимия. – 1996. – Т. 38, №2. – С. 101–116.
3. Иванов Ю.А., Каспаров В.А. Поведение в почве радионуклидов, представленных различными компонентами аврийного выброса ЧАЭС // Радиохимия. – 1992. – Т. 34, №5. – С. 112–124.
4. Ивашкевич Л.С., Бондарь Ю.И. Влияние основных химических свойств на закрепление радионуклидов в почве // Радиохимия. – 2008. – Т.50, №1. – С. 87–90.
5. Прохоров В.М. Миграция радиоактивных загрязнений в почвах. Физико-химические механизмы и моделирование. – М.: Энергоиздат, 1981. – 98 с.
6. Фрид А.С. Анализ процессов сорбции и миграции веществ в почве с помощью математических моделей // Почвоведение. – 2012. – №9. – С. 953–961.
7. Гончарук В.Є., Лянце Г.Т., Чапля Є.Я., Чернуха О.Ю. Математичні моделі та експериментальні дані про поширення радіонуклідів у ґрунтах. – Львів: «Растр-7», 2014. – 244 с.
8. Пазухин Э.М. Лавообразные топлесодержащие массы 4-го блока Чернобыльской АЭС: топография, физико-химические свойства, сценарий образования // Радиохимия. – 1994. – Т. 36, №2. – С. 97–113.
9. Авдеев В.А., Бирюков Е.И., Кривохатский А.С., Селиванов В.Н., Смирнова Е.А. Выщелачивание радионуклидов растворами различного состава из проб почвы, отобранных в районе Чернобыльской АЭС в 1986 г. // Радиохимия. – 1990. – Т. 32, №2. – С. 59–64.
10. Чернобыльська катастрофа / Під ред. В.Г. Бар'яхтара. – Київ: Наук. думка, 1996. – 576 с.
11. Агеев В.А., Выричек С.А., Левшин Е.Б., Одинцов А.А., Осмоловская Н.К., Остапко В.В., Урин В.Н. Распределение трансурановых элементов в 30-километровой зоне ЧАЭС // Доповіді АН України. – 1994. – №1. – С. 60–66.
12. Попов В.Е., Кутняков И.В., Жирнов В.П., Вирченко Е.П., Северина А.А., Бобовникова Ц.И. Вертикальное распределение ^{90}Sr и ^{137}Cs в аллювиальных дерновых почвах ближней зоны Чернобыльской АЭС // Почвоведение. – 1994. – №1. – С. 40–44.
13. Кривохатский А.С., Рогозин Ю.М., Смирнова Е.А., Брызгалова Р.В., Авдеев В.А., Трифонов В.А. Чернобыльский след аварийного выброса 4-го блока ЧАЭС в некоторых районах Ленинградской, Новгородской и Брянской областей. Сообщение I // Радиохимия. – 1994. – Т.36, №2. – С. 186–189.
14. Кривохатский А.С., Рогозин Ю.М., Смирнова Е.А., Брызгалова Р.В., Авдеев В.А., Трифонов В.А. Чернобыльский след аварийного выброса 4-го блока ЧАЭС в некоторых районах Ленинградской, Новгородской и Брянской областей. Сообщение II // Радиохимия. – 1994. – Т.36, №2. – С. 190–192.
15. Павлоцкая Ф.И. Миграция радиоактивных продуктов глобальных выпадений в почвах. – М.: Атомиздат, 1974. – 215 с.
16. Овсянникова С.В., Соколик Г.А., Эйсмонт Е.А., Кильчицкая С.Л., Кимленко И.М., Жукович Н.В., Рубинчик С.Я. Почвенные поровые растворы в процессах миграции ^{137}Cs , ^{90}Sr , $^{239,240}\text{Pu}$ и ^{241}Am // Геохимия. – 2000. – №2. – С. 222–234.

17. Собонович Є.В., Ольховик Ю.А., Коромисличенко Т.И. Вымывание как метод определения состава миграционных форм ^{137}Cs и ^{90}Sr в донных отложениях // Атомная энергия. – 1992. – Т. 72, №1. – С. 69–72.
18. Шестопалов В.М., Богуславский А.С., Онищенко И.П., Кухаренко Д.Е., Панасюк Н.И. Радиогидрохимический состав подземных вод района объекта "Укрытие" // [Зб. наук. пр. Укр. держ. геологорозв. ін-ту](#). – 2008. – №2. – С. 72–85.
19. Шестопалов В.М., Лялько В.И., Ситников А.Б. и др. Водобмен в гидрогеологических структурах и Чернобыльская катастрофа : В 2 ч. – Киев: Ин-т геол. наук НАН Украины, 2001. – 636 с.
20. Чапля Є.Я., Чернуха О.Ю. Фізико-математичне моделювання гетеродифузного масопереносу. – Львів: СПОЛОМ, 2003. – 128 с.

Стаття надійшла до редакції 19.06.2017

УДК 631.427

В.В. ДАЦЕНКО, Н.Л. ХИМЕНКО

НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ ОЦЕНКИ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПРОМЫШЛЕННЫХ ОТХОДОВ

***Аннотация.** В работе экспериментально смоделированы и проанализированы результаты экологического исследования отходов предприятий гальванических производств. Рассмотрены особенности миграции меди и цинка в разных типах почв и представлены экспериментальные данные по влиянию тяжелых металлов, содержащихся в техногенно-загрязненных почвах, на растительные объекты в контролируемых условиях.*

***Ключевые слова:** медь, цинк, гальваношлам, почва, тест-растение.*

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами

Твердые отходы предприятий гальванических производств, так называемые гальваношламы (ГШ), содержащие тяжелые металлы (ТМ), являются источником биотического, механического, химического и иных видов загрязнения [1–3]. Для уменьшения их вредного воздействия на окружающую природную среду (ОПС) на предприятиях используются различные методы их обезвреживания: механические, химические, физико-химические и биологические. Однако, отсутствие приемлемого финансирования предприятия препятствует решению проблем с утилизацией отходов, поэтому большую часть ГШ складировуют в шламонакопителях, что обуславливает возрастание техногенного загрязнения всех компонентов ОПС [2, 3].

Анализ исследований и публикаций

Миграция химических элементов, содержащихся в складированных ГШ, происходит в результате физико-химических процессов под воздействием климатических и погодных факторов. При этом загрязнения могут распространяться с инфильтрацией атмосферных осадков через слой отходов в почву примыкающих участков [4, 5]. В отечественной и зарубежной литературе имеются публикации, посвященные изучению проблемы влияния ГШ на ОПС и здоровье населения [3–11]. Однако, содержащаяся в этих публикациях информация не в полном объеме отражает санитарно-гигиенические и экологические характеристики обезвреженных ГШ. Поэтому результаты изложенных в работах исследований невозможно использовать для объективной оценки их экологической безопасности. При оценке экотоксикологических характеристик промышленных отходов необходимо изучать их комплексное техногенное воздействие: с одной стороны, необходимы сведения о процессах миграции соединений из отходов в почвы, с другой стороны, важно исследовать влияние загрязнителей, проникающих вглубь почвы, на объекты ОПС [3–10].

Постановка цели и задач исследования

Определять экотоксичность отходов наиболее эффективно с помощью биологических методов анализа, которые позволяют помимо общего неспецифического влияния на биотест выделить некоторые специфические реакции на отдельные химические вещества или группы веществ [6, 7, 9]. Цель исследований – определить особенности миграции меди и цинка в почвах при загрязнении ГШ и установить их влияние на показатели активного роста и развития тест-растений. В соответствии с поставленной целью решались следующие задачи: в лабораторных условиях экспериментально смоделирована система «ГШ – почва», рассмотрены особенности миграции меди и цинка в разных типах почв, исследовано влияние ТМ, содержащихся в техногенно-загрязненных почвах, на растительные объекты в контролируемых условиях.

Методы исследования

В рамках лабораторных экспериментов для изучения миграции в почве были выбраны металлы Cu и Zn, выбор которых был обоснован их наибольшими концентрациями в промышленных ГШ, а также высоким классом опасности [2]. Для установления особенностей миграции выбранных металлов на моделях почвенных горизонтов использовали образцы почв – дерново-оподзоленной связно-песчаной, луговой аллювиальной супесчаной, лугово-черноземной легкосуглинистой, чернозема типичного среднесмытого тяжелосуглинистого.

В качестве загрязнителей в условиях лабораторного эксперимента использовали модельный шлам, полученный реакцией нейтрализации сульфатного медно-цинкового раствора известью.

В лабораторных условиях для создания модели почвенных слоев использовали пластиковые трубы с диаметром 35 см и высотой 100 см. Всего в лабораторных экспериментах было задействовано 4 почвенных колонки. На верхней поверхности каждой почвенной колонки помещали измельченный модельный сульфатный медно-цинковый шлам, который в течение 6 месяцев промывался дистиллированной водой в режиме, соответствующем естественному увлажнению. Для установления особенностей миграции Cu и Zn отбирали образцы почв в разных слоях: 0–5 см, 10–15 см, 20–25 см, 50–75 см и 100 см.

Для изучения особенностей миграции меди и цинка и их распределения в почвенных слоях были рассмотрены коэффициенты накопления (K_c) элементов, показывающие во сколько раз увеличено содержание данного элемента в загрязненной почве по сравнению с незагрязненной [8].

Определение степени токсичности образцов почв проводили по методике биотестирования [9, 10], представляющей собой исследование реакции тест-объектов на действие загрязняющих веществ и позволяющей получить интегральную оценку степени их фитотоксичности. В качестве тест-объектов использовали семена кресс-салата и овса, а в качестве показателя токсичности – всхожесть, энергию, дружность и продолжительность прорастания семян в разных слоях почв, загрязненных ГШ.

Анализ ростков семян осуществляли на 30-е сутки после выращивания. Величину показателя контрольных (L_0) и опытных ($L_{оп}$) семян вычисляли как среднее арифметическое ($L_{ср}$) из совокупности данных о длине надземной части или корней проростков [10].

Для оценки влияния загрязнения почвы Cu и Zn на прорастание семян использовали следующие показатели: всхожесть, энергию, дружность и продолжительность прорастания [9, 10]. Под всхожестью понимали число семян, проросших за 7 суток, выраженное в процентах от общего количества семян, взятых для проращивания; под энергией прорастания – количество семян, проросших за первые 3 сут проращивания в процентах от общего количества семян, взятых для проращивания. Для более точной характеристики скорости прорастания проводили ежедневный учет проросших семян и рассчитывали дружность и продолжительность прорастания [9, 10].

Экспериментальные результаты и их обсуждение

Полученные экспериментальные данные (табл. 1) исследования особенностей миграции меди и цинка из ГШ в рассмотренных типах почв показали, что техногенная миграция меди и цинка в системе «ГШ – почва» объясняется в первую очередь химическим составом ГШ.

Таблица 1 – Накопление подвижных форм меди и цинка и изменение pH водной вытяжки в почвенных слоях после загрязнения

Показатель	Слой загрязненной ТМ почвы, см				
	0-5	10-15	20-25	50-75	100
Дерново-оподзоленная связнопесчаная (pH_ф = 5,3)					
pH	4,40	4,25	4,15	4,15	4,45
K _c (Cu)	9,6	1,9	2,3	2,2	2,6
K _c (Zn)	77,8	43,5	38,8	14,1	2,3
Луговая аллювиальная супесчаная (pH_ф = 7,6)					
pH	6,40	6,10	5,90	6,20	6,35
K _c (Cu)	13,5	1,9	0,9	1,0	1,0
K _c (Zn)	423,3	259,1	99,8	9,3	1,9
Лугово-черноземная легкосуглинистая (pH_ф = 6,9)					
pH	5,15	5,45	5,8	6,0	6,15
K _c (Cu)	33,9	2,1	1,9	1,2	2,0
K _c (Zn)	657,1	187,3	14,5	1,7	1,5
Чернозем типичный среднесмытый тяжелосуглинистый (pH_ф = 8,7)					
pH	7,65	8,10	8,10	8,25	8,30
K _c (Cu)	5,2	0,8	0,8	0,7	1,0
K _c (Zn)	73,5	2,4	0,5	0,8	0,6

Значительное увеличение содержания меди и цинка наблюдается по глубине во всех слоях исследуемых почв в условиях эксперимента. Максимальные накопления в верхнем слое (0–5 см) ($K_c(\text{Cu}) = 5,2\text{--}33,9$ и $K_c(\text{Zn}) = 73,5\text{--}657,1$) значительно превышают аналогичные показатели

в нижних (50–100 см) ($K_c(\text{Cu}) = 1,0\text{--}2,6$ и $K_c(\text{Zn}) = 0,6\text{--}2,3$), что связано в первую очередь с техногенным поступлением из шлама. По интенсивности миграции меди и цинка из шлама и трансформации в верхний слой исследуемые почвы можно расположить в ряд: чернозем типичный среднесмытый тяжело-суглинистый < дерново оподзоленная связнопесчаная < луговая аллювиальная супесчаная < лугово-черноземная легкосуглинистая.

Изучение изменения кислотности почв после загрязнения их ГШ (табл. 2) показало, что во всех слоях исследуемых почв относительно фоновых образцов (pH_f) происходит снижение уровня pH в 1,1–1,3 раза. Управляющим фактором выщелачивания меди и цинка из ГШ является реакция среды: в кислой и слабокислой среде ГШ способен создавать импактные, ударные техногенные нагрузки на почву. Динамика изменения уровня кислотности в исследуемых почвах с глубиной обусловлена внутрисочвенными процессами (химическими реакциями, сопровождающими выщелачивание шлама и трансформацию веществ в почве): pH в поверхностном слое (0–5 см) на 0,2–0,5 единицы ниже, чем в подповерхностном (10–15 см). Наибольшее накопление металлов наблюдается в лугово-черноземной среднесуглинистой ($K_c(\text{Cu}) = 34$ и $K_c(\text{Zn}) = 657$), где среда почвы имеет наиболее интенсивное уменьшение pH с 7,0 до 5,0. Отмечено, что в исследуемых почвах с повышением pH подвижность меди и цинка снижается: подвижность Cu в кислых почвах выше, чем в нейтральных или щелочных, а Zn имеет максимальную подвижность в почвах, реакция которых нейтральная или приближается к ней. Наименьшая миграционная способность меди и цинка отмечена в черноземе типичном среднесмытом тяжелосуглинистом, слабощелочные условия которого усиливают переход Cu и Zn в неподвижное состояние и способствуют закреплению почвенными частицами их соединений.

Таблица 2 – Значения ПДК_{п.отн.} для ионов меди и цинка в исследуемых почвах после загрязнения

Элементы	ПДК _{п.отн.} В контрольных образцах	Показатель ПДК _{п.отн.} в соответствующем слое загрязненной ТМ почвы, см				
		0–5	10–15	20–25	50–75	100
Дерново-оподзоленная связнопесчаная						
Cu	0,75ПДК	7,18ПДК	1,36ПДК	1,68ПДК	1,68ПДК	1,9ПДК
Zn	0,28ПДК	21,65ПДК	12,1ПДК	10,8ПДК	3,93ПДК	0,65ПДК
Луговая аллювиальная супесчаная						
Cu	0,57ПДК	7,7ПДК	1,1ПДК	0,5ПДК	0,6ПДК	0,6ПДК
Zn	0,08ПДК	33,5ПДК	23,35ПДК	7,9ПДК	0,74ПДК	0,15 ПДК
Лугово-черноземная легкосуглинистая						
Cu	0,89ПДК	3,29ПДК	1,84ПДК	1,69ПДК	1,09ПДК	1,81ПДК
Zn	0,17ПДК	114,6ПДК	32,65ПДК	2,53ПДК	0,3ПДК	0,26ПДК
Чернозем типичный среднесмытый тяжелосуглинистый						
Cu	7,10ПДК	36,57ПДК	5,54ПДК	5,75ПДК	4,87ПДК	7,08ПДК
Zn	3,12ПДК	229,3ПДК	7,53ПДК	1,59ПДК	2,39ПДК	1,73ПДК

Для экологической и санитарно-гигиенической оценки загрязнения исследуемых почв медью и цинком после загрязнения медно-цинковым шламом были получены сравнительные данные о содержании меди и цинка в тестируемых почвах (C , мг/кг) с их предельно допустимыми концентрациями в почвах ($\text{ПДК}_{\text{п}}(\text{Cu}) = 3$ мг/кг; $\text{ПДК}_{\text{п}}(\text{Zn}) = 23$ мг/кг). В табл. 2 они представлены как значения $\text{ПДК}_{\text{п.отн}}$ ($\text{ПДК}_{\text{п.отн}}$ – рассчитаны как соотношение концентраций Cu^{2+} и Zn^{2+} в загрязненных почвах к их $\text{ПДК}_{\text{п}}$ соответственно). Исследуемые почвы после загрязнения медно-цинковым шламом независимо от глубины слоя характеризуются низким уровнем загрязнения по Cu. По цинку характер загрязнения определяется типом почвы и в тяжелых гумусированных почвах степень загрязнения с увеличением глубины меняется от очень высокого в верхнем слое, испытывающем техногенную нагрузку, до допустимого уровня в нижних.

Проведенный сравнительный морфологический анализ позволил установить наличие зависимости между активностью роста и развития тест-растений (рис. 1) и содержанием ТМ в почве, превышающем их $\text{ПДК}_{\text{п}}$ (табл. 2).

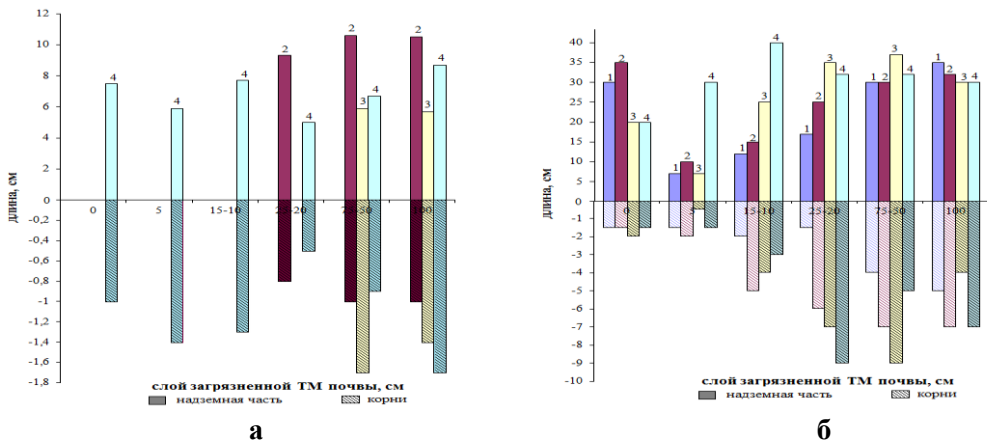


Рис. 1 – Зависимости длины проростков кресс-салата (а) и овса (б) (продолжительность выращивания 30 сут) от слоя загрязненной ТМ почвы: 1 – дерново-оподзоленная связнопесчаная, 2 – луговая аллювиальная супесчаная, 3 – лугово-черноземная легкосуглинистая, 4 – чернозем типичный среднесмытый тяжелосуглинистый

Изменения длины корневой и надземной частей тест-растений (рис. 1) в зависимости от показателя $\text{ПДК}_{\text{п.отн}}$ металлов-токсикантов в почвах (кроме дерново-оподзоленной связнопесчаной для кресс-салата) указывают на отсутствие неблагоприятного фитотоксического воздействия: средняя длина надземной части и корневой системы растений ($L_{\text{оп}}$) сравнима, а в некоторых слоях даже превышает аналогичные показатели в контрольном образце (L_0).

Отмечено, что рост и развитие тест-растений не только имеют существенную зависимость от типа загрязненной почвы, но и определяются физиологией самих растений. Так, для почвы дерново-оподзоленной связнопесчаной характерно достоверное ингибирование развития салата (рис. 1, а), где семена взошли только в нижних слоях тестируемой почвы (20–25, 50–75, 100 см), а на 20-е сутки погибли все ростки. Для овса же

наблюдается достоверная тенденция стимуляции роста в аналогичных условиях этой почвы (рис. 1, б), а в нижнем слое (100 см) даже отмечено превышение длины ростков в 1,2 раза и корневой системы в 3,3 раза по сравнению с контрольными образцами. Это можно объяснить тем, что кресс-салат более чувствителен к присутствию ионов ТМ в почвах, чем овес, и ингибирующее действие этих ионов на кресс-салат не снижается со временем, как у овса. В результате этого, за счет истощения собственных ресурсов надежности, растения салата становятся ослабленными и погибают.

Среди показателей прорастания семян в условиях модельного загрязнения почв ТМ наиболее информативными оказались ростовые показатели [9, 10] – всхожесть, энергия, дружность и продолжительность прорастания (рис. 2–5). Анализ показателей прорастания семян в условиях модельного загрязнения почв ТМ показал, что до 7 суток стимулирующий эффект меди и цинка на рост исследуемых тест-растений во всех вариантах эксперимента в среднем проявился сильнее, а токсичное действие – слабее. При увеличении срока роста до 30 суток характер развития растений меняется. Для кресс-салата в этом периоде времени в среднем достоверно проявляется угнетающий эффект действия металлов. Для растений овса это воздействие в основном проявляется в стимулировании роста. Такие изменения в развитии растений в ходе выращивания, возможно, объясняются не только типом загрязненных почв и физиологией самих растений, но и влиянием ТМ на исследуемые тест-объекты. Т.к. известно, что Zn и Cu относятся к группе металлов средней степени поглощения растениями [11], то на начальных сроках развития семена тест-культур имели достаточный потенциал питательных веществ для подавления негативного влияния ТМ. Однако на более поздних сроках развития угнетающее действие металлов-токсикантов усиливается.

Диаграммы анализа энергии прорастания (рис. 2) для семян исследуемых тест-растений показывают достаточно высокие показатели во всех слоях загрязненных ТМ почв.

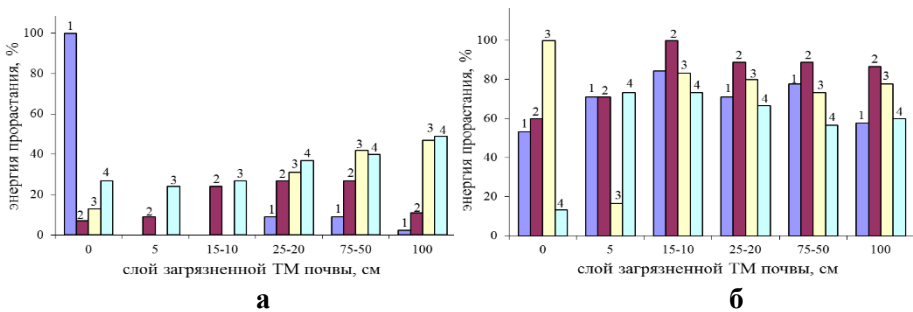


Рис. 2 – Зависимость энергии прорастания семян салата (а) и овса (б) от слоя загрязненной ТМ почвы: 1 – дерново-оподзоленная связнопесчаная, 2 – луговая аллювиальная супесчаная, 3 – лугово-черноземная легкосуглинистая, 4 – чернозем типичный среднесмытый тяжелосуглинистый

В сравнении с контрольными образцами, превышение показателя энергии прорастания для семян овса (рис. 2, б) отмечено практически во всех тестируемых почвах (кроме лугово-черноземной легкосуглинистой). Для кресс-салата аналогичное превышение (рис. 2, а) отмечено в нижних слоях

луговой аллювиальной супесчаной и чернозема типичного среднесмытого тяжелосуглинистого, где кратность превышения, соответственно, составляет 1,3–3,4 и 1,4–1,8.

Следует отметить, что энергия прорастания у семян овса значительно выше, чем у семян кресс-салата. Так, в дерново-оподзоленной связнопесчаной кратность такого превышения составляет 9–23, в луговой аллювиальной супесчаной – 4–6, в лугово-черноземной легкосуглинистой и черноземе типичном среднесмытом тяжелосуглинистом – 2. Это может быть связано с более длительным периодом прорастания семян кресс-салата по сравнению с семенами овса.

Показатель всхожести семян (рис. 3) практически во всех вариантах тестируемых почв также достаточно высокий для обеих тест-растений.

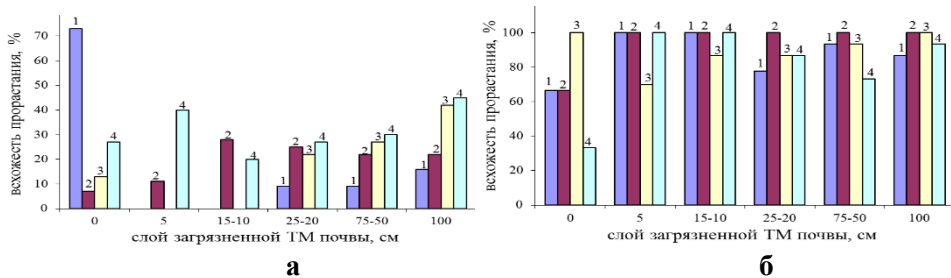


Рис. 3 – Зависимость всхожести прорастания семян салата (а) и овса (б) от слоя загрязненной ТМ почвы: 1 – дерново-оподзоленная связнопесчаная, 2 – луговая аллювиальная супесчаная, 3 – лугово-черноземная легкосуглинистая, 4 – чернозем типичный среднесмытый тяжелосуглинистый

Отмечено наличие заметной зависимости между содержанием ТМ в почве, превышающем ПДК_п, активностью роста и развитием, энергией прорастания и всхожестью семян тест-растений. Так, при уменьшении показателя превышения ТМ в слоях тестируемых почв (табл. 1) проявляется стимулирование надземной и корневой систем проростков (рис. 1) исследованных тест-культур при повышении их энергии прорастания (рис. 2) и всхожести (рис. 3). Т.е., уменьшение концентрации металлов приводит к снижению токсического действия металлов на тест-растения. Это особенно заметно в нижних слоях почв (20–25, 50–75, 100 см), где содержание ТМ снижается, а всхожесть увеличивается в сравнении с контрольными образцами (кроме дерново-оподзоленной для кресс-салата). Таким образом, можно отметить, что тестируемые почвы не являются фитотоксичными, а определенное превышение в них показателя ПДК_{п.отн.} меди и цинка в некоторой степени способствует стимулированию процессов роста и развития исследуемых растений.

В период наблюдений за ростом и развитием тест-растений при выращивании на загрязненных ТМ почвах установлено, что дружность (рис. 4) и продолжительность прорастания (рис. 5) семян этих растений имеют низкие показатели.

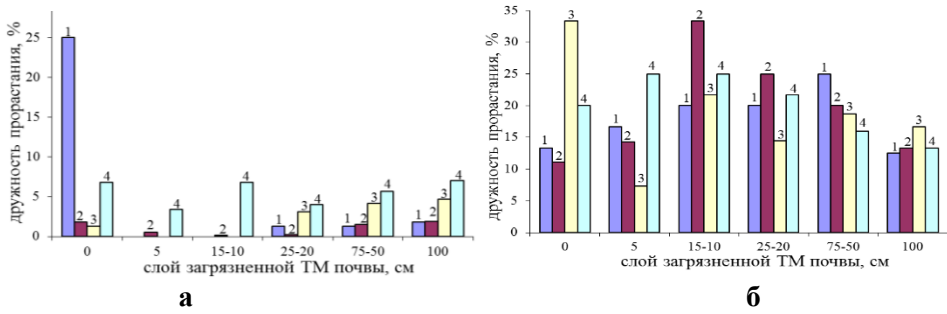


Рис. 4 – Зависимость дружности прорастания семян салата (а) и овса (б) от слоя почвы, загрязненной ТМ: 1 – дерново-оподзоленная связнопесчаная, 2 – луговая аллювиальная супесчаная, 3 – лугово-черноземная легкосуглинистая, 4 – чернозем типичный среднесмытый тяжелосуглинистый

Для семян овса показатель дружности прорастания (рис. 4, б) в сравнении с контрольными образцами имеет достоверно высокие значения практически во всех почвах, кроме лугово-черноземной легкосуглинистой почвы. А для семян кресс-салата (рис. 4, а), наоборот, достоверное превышение в 2–4 раза наблюдается только в лугово-черноземной легкосуглинистой почве.

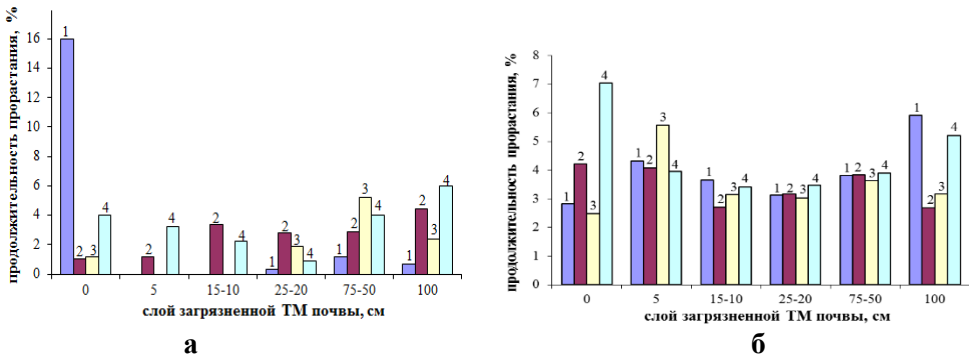


Рис. 5 – Зависимость продолжительности прорастания семян салата (а) и овса (б) от слоя загрязненной ТМ почвы: 1 – дерново-оподзоленная связнопесчаная, 2 – луговая аллювиальная супесчаная, 3 – лугово-черноземная легкосуглинистая, 4 – чернозем типичный среднесмытый тяжелосуглинистый

Продолжительность прорастания (рис. 5) для семян кресс-салата в 2–4 раза выше в луговых и черноземных почвах в сравнении с контрольными образцами. Для семян овса аналогичное превышение отмечено в дерново-оподзоленной связнопесчаной в 2 раза и лугово-черноземной легкосуглинистой в 1,3 раза.

Отмеченные выше различия в развитии и росте исследуемых тест-растений (рис. 2–5), очевидно, зависят от физиолого-биохимических процессов, протекающих в самих растениях. Очевидно, что более высокие показатели всхожести, энергии, дружности и продолжительности прорастания у семян овса (рис. 2–5, б) в сравнении с аналогичными показателями у кресс-салата (рис. 2–5, а) объясняются более высокой сбалансированностью в них

запасов питательных веществ и более высоким уровнем фитогормональных процессов. Кроме того, установлено, что растения овса оказались менее чувствительными к токсическому действию меди и цинка, что возможно определяется их более высокой способностью переводить соединения ТМ в физиологически неактивное состояние.

В ходе проведения исследований установлена связь между ростовыми показателями (всхожесть, энергия, дружность и продолжительность прорастания) (рис. 2–5) исследуемых тест-растений и загрязненными ТМ почвами (табл. 2). Однако эта зависимость прослеживается только в слоях одной отдельно взятой почвы и не всегда имеет однозначное трактование для разных типов почв. Так, например, в верхних слоях (5, 10–15 см) почвы чернозема типичного среднесмытого тяжелосуглинистого с высоким содержанием Cu и Zn (табл. 2) показатели всхожести, энергии, дружности и продолжительности прорастания (рис. 2–5) значительно превышают аналогичные характеристики в других типах почв, где превышение вредности ТМ ниже. Объяснение может быть связано с физико-химическими свойствами самой почвы. Глинистые черноземные почвы по своим характеристикам относятся к почвам, которые содержат большой запас питательных веществ и обладают высокими адсорбционными свойствами, способными прочно связывать тяжелые металлы и, соответственно, предохранять от загрязнения растительную продукцию [5].

Проведенный сравнительный анализ показателей прорастания, роста и развития семян тест-растений со значениями превышения ПДК_{п.отн.} меди и цинка во всех тестируемых почвах показал, что чаще всего уменьшение концентрации металлов в слоях тестируемых почв приводит к снижению токсического действия металлов. Однако, не всегда эта зависимость однозначна. В некоторых вариантах опытов, как было отмечено выше, повышение показателя вредности меди и цинка в почвах приводит к улучшению роста растений. Расхождения результатов, возможно, объясняются дозой загрязнения почв ТМ. Известно, что в зависимости от концентрации металла, валентности его иона, растворимости и длительности воздействия, ТМ в малых дозах способствуют росту и развитию растений (являясь для них необходимым микроэлементом), однако их высокие концентрации способны подавлять рост растений, нарушая их жизненно важные функции [11]. Следовательно, проведенные нами исследования позволяют предположить, что средние значения показателей превышения меди и цинка в почвах приводят к эффекту стимуляции роста семян растений за счет улучшения режима питания. Так, эффект стимуляции тест-растений в исследуемых почвах наблюдается, когда значения ПДК_{п.отн.} составляют: в дерново-оподзоленной связнопесчаной для кресс-салата – ПДК_{п.отн.}(Cu) = 0,75ПДК, ПДК_{п.отн.}(Zn) = 0,28ПДК, для овса – ПДК_{п.отн.}(Cu) = 1,36–1,97ПДК, ПДК_{п.отн.}(Zn) = 0,65–12,1ПДК; в луговой аллювиальной супесчаной для кресс-салата – ПДК_{п.отн.}(Cu) = 0,5–1,1ПДК, ПДК_{п.отн.}(Zn) = 0,28ПДК, для овса – ПДК_{п.отн.}(Cu) = 0,6–1,1ПДК, ПДК_{п.отн.}(Zn) = 0,08–23,35ПДК; в лугово-черноземной легкосуглинистой для кресс-салата – ПДК_{п.отн.}(Cu) = 1,09–1,81ПДК, ПДК_{п.отн.}(Zn) = 0,26–0,3ПДК, для овса – ПДК_{п.отн.}(Cu) = 0,89–3,29ПДК, ПДК_{п.отн.}(Zn) = 0,3–114,6ПДК; в черноземе типичном среднесмытом тяжелосуглинистом для кресс-салата – ПДК_{п.отн.}(Cu) = 7,08ПДК, ПДК_{п.отн.}(Zn) = 1,73ПДК, для овса – ПДК_{п.отн.}(Cu) = 5,54–36,57ПДК, ПДК_{п.отн.}(Zn) = 1,59–229,3ПДК.

Также отмечено, что действие меди и цинка имеет различную направленность на активность развития тест-растения. По данным эксперимента, в пробах тестируемых почв, где $\text{ПДК}_{\text{п.отн.}}(\text{Cu})$ превышает $\text{ПДК}_{\text{п.отн.}}(\text{Zn})$ (табл. 2), наблюдается стимуляция роста и развития тест-растений. Однако такая зависимость характерна не для всех тест-растений и прослеживается не во всех слоях почв. Неоднозначность корреляции между содержанием меди и цинка в почве, превышающем их $\text{ПДК}_{\text{п}}$ и активностью роста тест-растений, возможно, связана в комплексном действии меди и цинка. При совместном воздействии этих двух металлов в неблагоприятных для растений дозах может происходить как усиление, так и ослабление их токсического эффекта. Синергическое действие цинка и меди определяется расположением этих элементов в соседних группах периодической системы. Причем, как утверждают авторы работ [11], особенно высокой фитотоксичностью обладает медь, и усиление токсического эффекта меди наблюдается в присутствии цинка.

Выводы

В лабораторных условиях при исследовании особенностей миграции меди и цинка в рассмотренных типах почв при загрязнении ГШ и изучении их влияния на показатели активного роста и развития тест-растений экспериментально установлено:

- техногенная миграция меди и цинка в системе «ГШ – почва» характеризуется спецификой почв и объясняется в первую очередь химическим составом ГШ. По интенсивности миграции меди и цинка из шлама и транслокации в верхний слой исследуемые почвы можно расположить в ряд: чернозем типичный среднесмытый тяжело-суглинистый < дерново оподзоленная связнопесчаная < луговая аллювиальная супесчаная < лугово-черноземная легкосуглинистая;

- подвижность тяжелых металлов зависит от кислотности почв: подвижность Cu в кислых почвах выше, чем в нейтральных или щелочных, а Zn имеет максимальную подвижность в почвах, реакция которых нейтральная или приближается к ней. Наименьшая миграционная способность меди и цинка отмечена в черноземе типичном среднесмытом тяжелосуглинистом, слабощелочные условия которого усиливают переход Cu и Zn в неподвижное состояние и способствует закреплению почвенными частицами их соединений;

- по Cu все слои исследуемых почв имеют низкий уровень загрязнения. По цинку характер загрязнения определяется типом почвы и в тяжелых гумусированных почвах степень загрязнения с увеличением глубины меняется от очень высокого в верхнем слое, испытывающем техногенную нагрузку, до допустимого уровня в нижних;

- совместное воздействие меди и цинка проявляется как в ингибировании, так и стимулировании ростовых процессов исследуемых тест-растений – кресс-салата и овса и определяется, прежде всего, уровнем загрязнения, свойствами почвы и биологической спецификой тест-культуры. Для почвы дерново-оподзоленной связнопесчаной характерно ингибирование развития тест-растения, а для чернозема типичного среднесмытого

тяжелосуглинистого практически во всех слоях отмечено достоверное стимулирование;

– семена овса имеют более высокие показатели активности роста и развития в сравнении с аналогичными показателями у кресс-салата, что объясняется более высокой сбалансированностью в них запасов питательных веществ и более высоким уровнем фитогормональных процессов. Также растения овса оказались менее чувствительными к токсическому действию меди и цинка, что определяется их более высокой способностью переводить соединения ТМ в физиологически неактивное состояние.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Касимов А.М. Проблемы образования и накопления промышленных отходов в Украине / А.М. Касимов, Е.Е. Решта // Экология и промышленность. – 2011. – № 1. – С. 65–69.
2. Даценко В.В. Определение токсических свойств ингредиентов промышленных гальванических отходов / В.В. Даценко // Экология и промышленность. – 2012. – № 2. С. 102–106.
3. Пересадько, Г.О. Маркетингові дослідження екологічних інновацій на ринку поводження з відходами [Текст] / Г.О. Пересадько, М.Г. Громико, С.М. Лукаш // Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції, присвяченої пам'яті проф. Балацького О.Ф. «Економічні проблеми сталого розвитку», м. Суми, 6–8 травня 2014 р.: у 2-х т. / За заг. ред.: О.В. Прокопенко, О.В. Люльова. – Суми: СумДУ, 2014. – Т.1. – С. 211–212.
4. Голець Н.Ю. Дослідження властивостей профільтраційного екрана полігону відходів / Н.Ю. Голець, М.С. Мальований, Ю.О. Малик // Вісник Національного авіаційного університету: наук. журнал. – К.: Вид-во НАУ. – 2009. – № 3. – С. 123–128.
5. Жовинский Э.Я., Кураева И.В. Геохимия тяжелых металлов Украины. – К.: Наук. думка, 2002. – 213 с.
6. Ольхович О.П., Мусієнко М.М. Фітоіндикація та фітомоніторинг. – Київ: Фітосоціоцентр, 2005 – 64 с.
7. Подлипский И.И. Аккумулятивная биоиндикация в инженерно-экологических изысканиях / И.И. Подлипский // Инженерные изыскания. – №1. – 2014, – С. 54–63.
8. Даценко В.В. Миграция тяжелых металлов из гальваношламов в почву / В.В. Даценко, Ю.В. Сващенко // Экономика в промышленности. – 2015. – № 2. – С. 35–41.
9. Datsenko V.V. Evaluation of heavy metal complex phytotoxicity / V.V. Datsenko, N.L. Khimenko / Eurasian J Soil Sci. – 2016. – 5 (3). – P. 249–254.
10. ФР.1.39.2006.02264 Методика выполнения измерений всхожести семян и длины корней проростков высших растений для определения токсичности техногенно загрязненных почв. – СПб, 2009. – 19 с.
11. Гладков Е.А. Оценка комплексной фитотоксичности тяжелых металлов и определение ориентировочно допустимых концентраций для цинка и меди / Е.А. Гладков // Сельскохозяйственная биология. – 2010 – № 6. – С. 94–99.

Стаття надійшла до редакції 03.07.2017

УДК 504.064:628.2

В.О. ЮРЧЕНКО, О.В. БРИГАДА, О.С. ЛЕБЕДЄВА

ВИЗНАЧЕННЯ СЕРЕДНЬОРІЧНОЇ КОНЦЕНТРАЦІЇ СІРКОВОДНЮ В КАНАЛІЗАЦІЙНИХ ТРУБОПРОВОДАХ ТА В ГАЗОПОДІБНИХ ВИКИДАХ З НИХ В АТМОСФЕРНЕ ПОВІТРЯ

***Анотація.** Експлуатація каналізаційних мереж створює екологічну проблему, обумовлену утворенням токсичних газоподібних сполук (серед яких найнебезпечнішим є сірководень), які через шахти і колодязі забруднюють атмосферне повітря міських регіонів. Концентрація сірководню у викидах навіть протягом доби варіює в дуже широкому діапазоні. На підставі даних експериментальних досліджень розроблено метод визначення середньорічної концентрації сірководню в атмосфері каналізаційних мереж та у викидах з них в атмосферне повітря населених місць.*

***Ключові слова:** каналізаційні мережі, екологічна безпека, сірководень, захист атмосферного повітря, корозиметр бетону, середньорічна концентрація сірководню.*

Вступ

Каналізація є системою житлово-комунального господарства, яка забезпечує екологічну безпеку (ЕБ) технічного та господарсько-питного водокористування міста. Проте, споруди водовідведення є великомасштабними технічними об'єктами, які чинять інтенсивне техногенне навантаження на навколишнє природне середовище, нерідко стаючи джерелом значущої екологічної небезпеки для міських регіонів. Навіть при роботі каналізаційних мереж (КМ) в безаварійному режимі, їх експлуатація створює екологічну проблему, обумовлену утворенням токсичних газоподібних сполук (сірководню, меркаптану, діоксиду сірки, оксиду й діоксиду вуглецю, метану та ін.), які через шахти і колодязі забруднюють атмосферне повітря міських регіонів [1, 2]. Особливу екологічну небезпеку за кратністю перевищення гранично-допустимих концентрацій (ГДК) в газоподібних викидах з КМ створює сірководень (речовина 2-го класу небезпеки). Він до того ж ініціює розвиток на склепіневі частині бетонних трубопроводів біогенної сірчаноокислої корозії, яка кардинально зменшує експлуатаційну довговічність цих об'єктів. Служби експлуатації КМ потребують не тільки заходів, мінімізуючих утворення сірководню в стічних водах, які транспортуються мережами, а й ефективної системи моніторингу, прогнозу та кількісної оцінки викидів сірководню в атмосферу для отримання оперативної інформації про дійсний та прогнозований стан екологічної безпеки окремих ділянок КМ [2, 3].

Мета досліджень

Розробка методу розрахункового визначення середньорічної концентрації сірководню в КМ та у викидах з каналізаційних шахт в атмосферне повітря.

Аналіз сучасного стану проблеми

КМ та споруди очистки стічних вод є джерелами викидів ряду екологічно небезпечних, токсичних та маючих неприємних запах сполук – сірководню, меркаптану, метилмеркаптану, оксидів азоту, аміаку та ін. Причому маса сірководню, який надходить з КМ в міську атмосферу за рік, досягає 2,9–19,0 т, що можна порівняти з викидами промислових підприємств [1, 2]. Загазовані мережі часто є причиною нещасних випадків (отруєння сірководнем) обслуговуючого персоналу, а численні випадки біогенної сірчаноокислотної корозії колекторів каналізації, яку ініціює накопичений в підсклепіновому просторі сірководень, в короткі терміни (4–10 років) здатні зруйнувати сотні тонн залізобетонних конструкцій. Основними джерелами екологічно небезпечних газоподібних викидів в атмосферу міських регіонів із самопливної каналізації (через нещільність в кришках люків та камер, вентиляційні камери і т.д.) є ділянки мережі, що працюють з великим наповненням, з низькими швидкостями течії води, ділянки розвантаження напірних колекторів та ділянки перед та після дюкерних переходів [2–5].

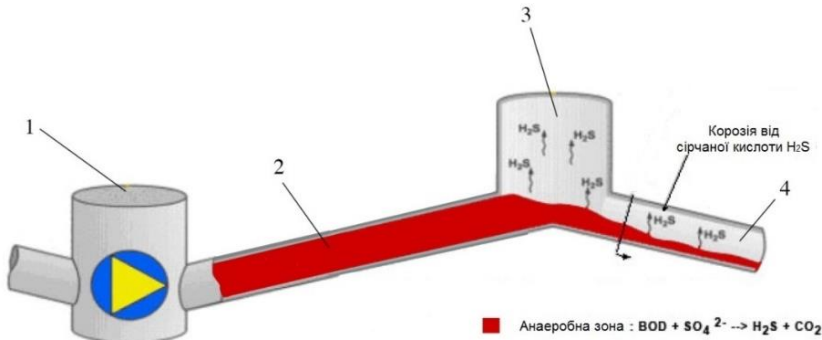
Газоподібні викиди з КМ, які потрапляють в міську атмосферу, створюють екологічну напруженість в прилеглих міських регіонах та загрозу здоров'ю населення, оскільки концентрація в них ряду сірковмісних сполук сірководню, діоксиду сірки, меркаптану, диметилсульфіду (ДМС) перевищує ГДК середньодобове (ГДК_{с.д.}) та ГДК робочої зони (ГДК_{р.з.}) (табл. 1). Крім високих абсолютних значень концентрацій цих сполук в газоподібних викидах, велику небезпеку становить синергічний ефект їх впливу, пов'язаний з присутністю у викидах діоксиду сірки [2, 3, 5, 6].

Таблиця 1 – Хімічний склад атмосфери КМ у м. Харкові [5]

Сполука	Концентрація	Кратність перевищення ГДК _{р.з.}
CO, мг/м ³	0–25	1,4
CO ₂ , об. %	0,1–3,5	–
CH ₄ , об. %	0,2–6,0	0
H ₂ S, мг/м ³	0–300	30
SO ₂ , мг/м ³	5–10	0,5–1,5
NH ₃ , мг/м ³	0–5,0	0–0,4

Як видно, найбільші перевищення ГДК_{р.з.} в атмосфері КМ м. Харкова спостерігаються за концентрацією сірководню. Ця сполука утворюється в стічних водах, що транспортуються каналізаційними мережами, внаслідок мікробіологічної сульфатредукції – відновлення сульфатів протонами органічних сполук, потім елює в газо-повітряне середовище підсклепінового простору трубопроводів, а з нього – в міську атмосферу (рис. 1) [2, 6–8]. Інтенсивність дегазації сірководню з стоків в підсклепіневий простір трубопроводу в залежності від його вмісту у воді знаходиться в межах 1,12–8,27 мг/м³·с [2].

Інтенсивність викиду сірководню з КМ непостійна і залежить від пори року. У зимовий період, поряд із загальним зниженням емісії відбувається збільшення частки викиду сірководню на об'єктах водовідведення [7, 8].



1 – КНС, 2 – ділянка напірного каналізаційного трубопроводу, 3 – каналізаційна шахта, 4 – ділянка самопливного каналізаційного трубопроводу

Рис. 1 – Процес сульфатредукції та виділення сірководню в каналізаційному трубопроводі [6]

Розсіювання викидів від деяких споруд каналізації вимагає великих (100–500 м) санітарно-захисних зон (СЗЗ). В сучасних умовах, коли площі для розвитку всередині меж великих міст вичерпуються, проблема екологічної небезпеки та запахів від очисних споруд, а також інших об'єктів каналізації (КНС, шахти та колодязі КМ) набуває містобудівного значення. Першим кроком для вирішення проблеми викидів забруднюючих речовин з КМ є застосування адсорбційних, біологічних, електрохімічних та фотохімічних методів очищення газоподібних викидів [8–10].

Об'єкти та методи досліджень

Експериментальні дослідження проводили на ділянках каналізаційних мереж м. Харкова. Вимірювання концентрації сірководню в атмосфері підсклепіненого простору проводили за допомогою трьох газоаналізаторів: УГ-2, «Дозор», шахтний інтерферометр ШИ-11. Корозійні процеси в залізобетонних трубопроводах водовідведення досліджували в натурних умовах за допомогою корозиметра бетону – розробленого для оперативного неруйнуючого контролю стану залізобетонних споруд водовідведення [6, 8]. Пристрій дозволяє оперативно вимірювати рН конденсатної вологи на бетоні як у лабораторних умовах, так і на діючих об'єктах водовідведення і за допомогою розроблених програм розраховувати швидкість корозії бетонних споруд. Він може також використовуватись для оперативної кількісної оцінки кислотної агресивності експлуатаційних середовищ, що діють на залізобетонні споруди різного призначення. Корозиметр бетону сертифіковано в Національному науковому центрі «Інститут метрології» (м. Харків), свідоцтво № 5682.

Результати та обговорення

Як свідчать дані спостережень, на різних ділянках каналізаційної мережі, концентрація сірководню в атмосфері підсклепіненого простору

трубопроводів значно змінюється не тільки протягом року (рис. 2), але і протягом сезону (кварталу) – весни, і навіть протягом доби, причому вельми кардинально (рис. 3).

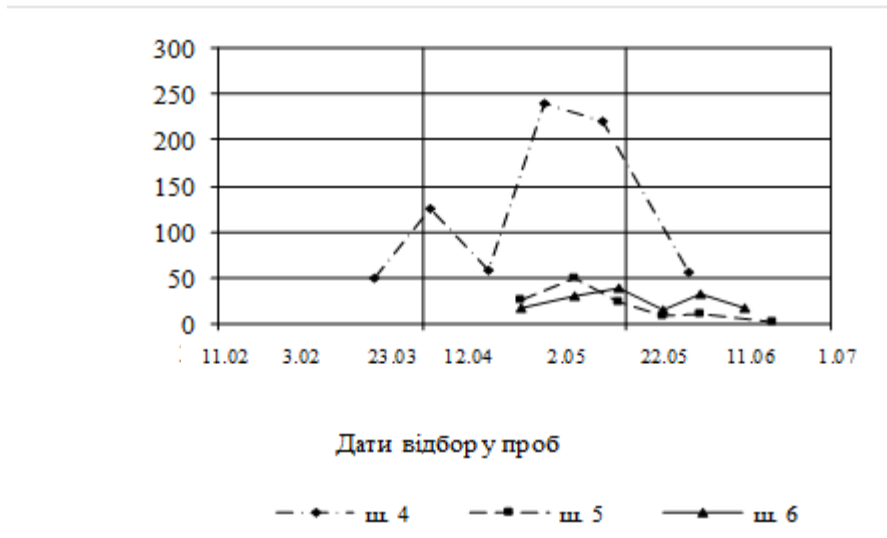


Рис. 2 – Динаміка концентрації сірководню в атмосфері підсклепінового простору на ділянці колектору

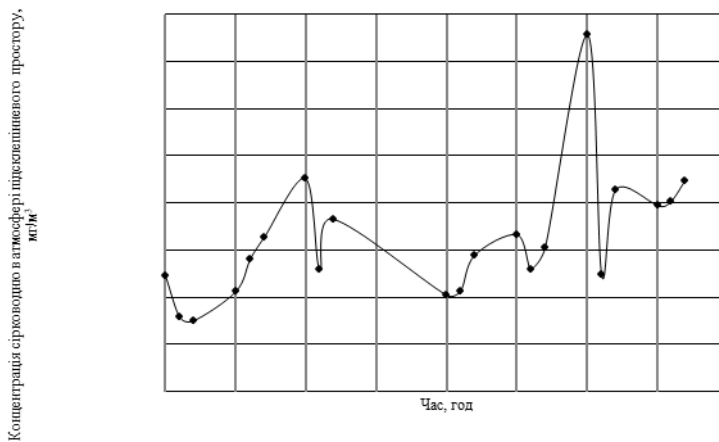


Рис. 3 – Добові зміни концентрації сірководню в атмосфері підсклепінового простору колектору

Як видно, в атмосфері підсклепінового простору шахти за період з березня по червень концентрація сірководню змінювалася від 47 до 240 мг/м³, тобто більш ніж на 400%. Протягом доби концентрація сірководню в атмосфері підсклепінового простору колектору змінювалася від 7,9 до 37,8 мг/м³, тобто практично на 400%. Можна спрогнозувати, що й концентрація сірководню у викидах з КМ також варіює в широкому діапазоні протягом навіть доби.

Таким чином, поодинокі вимірювання концентрації сірководню в атмосфері трубопроводів водовідведення не відображають реальної ситуації накопичення сірководню на окремих ділянках, а отже, і концентрації сірководню в газоподібних викидах з КМ.

Пропонований метод розрахунку очікуваної концентрації H_2S ($C_{A H_2S}$) в атмосфері підсклепіневого простору залізобетонних каналізаційних трубопроводів, осередненої за великий проміжок часу (рік), базується на наступних положеннях:

- виміри, проведені за допомогою корозиметра бетону на бетоні, який уражений біогенною сірчаноокислотною корозією, дозволяють визначити швидкість корозії ($V_{кор.}$) й об'єм прокородованого бетону ($V_{прокор.}$);
- маса прокородованого бетону пропорційна масі цементу ($m_{ц}$), а в ньому масі цементних гідратів (m_{CaO}), що прореагували з сірчаною кислотою, яка впливала на бетон протягом визначеного часу;
- весь сірководень (m_{H_2S}), що перейшов з атмосфери підсклепіневого простору в плівкову вологу на склепінні, окислюється у сірчану кислоту (частина якої реагує з цементними гідратами і дифундує в товщу бетону $m_{H_2S \text{ диф.}}$, а інша частина стікає склепінням в лоткову частину трубопроводу);
- потік сірководню на склепіння (Q_{H_2S}) пропорційний його концентрації в атмосфері підсклепіневого простору.

Алгоритм розрахунку очікуваної концентрації сірководню в атмосфері підсклепіневого простору залізобетонних каналізаційних трубопроводів, осередненої за великий проміжок часу, у вигляді схеми наведено на рис. 4.

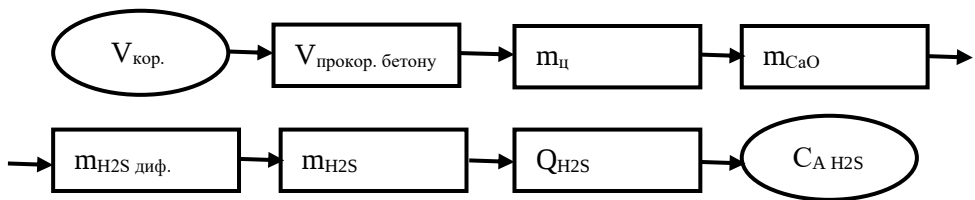


Рис. 4 – Алгоритм розрахунку очікуваної концентрації сірководню в атмосфері підсклепіневого простору

Очікувану середньорічну концентрацію сірководню в атмосфері підсклепіневого простору залізобетонних каналізаційних трубопроводів визначали за наступною підсумковою формулою:

$$C_{A H_2S} = \frac{V_{кор} \cdot S_{підск.пр.} \cdot M_{H_2S} m_{ц \text{ пнт}}}{M_{CaO} W_A \cdot \beta} \cdot \frac{p \cdot a \cdot b}{c \cdot k}, \quad (1)$$

де $V_{кор.}$ – швидкість корозії бетону, мм/рік; $S_{підск.пр.}$ – площа підсклепіневого простору колектору, m^2 ; M_{H_2S} і M_{CaO} – молекулярні маси H_2S і оксиду кальцію відповідно, кг; $m_{ц \text{ пнт.}}$ – маса цементу, що необхідна для приготування 1 m^3 бетону, кг; W_A – об'єм атмосфери підсклепіневого простору, m^3 ; β – коефіцієнт масопереносу H_2S , $дб^{-1}$; p – частка CaO в цементі, що вступила в реакцію з H_2SO_4 на конкретній ділянці каналізаційного трубопроводу, долі, 0,6;

a – перерахунковий коефіцієнт кг/мг , 10^6 ; b – коефіцієнт, який враховує стікання частини H_2SO_4 зі стін колектору в стічну воду, 1,2; c – перерахунковий коефіцієнт рік/дів , 365; k – перерахунковий коефіцієнт мм/м , 1000.

Результати розрахунку концентрації H_2S в атмосфері ділянок каналізаційної мережі за допомогою розробленого методу представлено в табл. 2. Для оцінки їх відповідності реальній концентрації сірководню в атмосфері підсклепіневого простору наведено середньорічні дані інструментального вимірювання цього показника (табл. 2).

Як видно, використання корозиметра бетону дозволяє достатньо точно оцінити середньорічну концентрацію сірководню в атмосфері підсклепіневого простору залізобетонних каналізаційних трубопроводів, не вимагаючи при цьому вимірювання великої кількості параметрів.

Для визначення рівня екологічної небезпеки, створюваної викидами сірководню з КМ для атмосферного повітря, необхідно встановити концентрацію сірководню на виході з каналізаційних шахт та колодязів. Службами експлуатації каналізаційних мереж м. Харкова при вибіркового обстеженні каналізаційних колекторів через шахти вимірюється тільки концентрація H_2S в підсклепіневому просторі колектора. Поодинокі виміри концентрації сірководню на виході з каналізаційних шахт свідчать, що зазвичай концентрація сірководню у викиді на виході з шахти є нижчою за ту, яка встановлюється в результаті обстеження трубопроводів.

Таблиця 2 – Результати розрахунків концентрації сірководню в атмосфері підсклепіневого простору каналізаційних трубопроводів за розробленим методом

Ділянка відбору проби	Дані хімічного аналізу експлуатаційних середовищ			Концентрація H_2S в атмосфері (мг/м^3), розрахована за розробленим методом на підставі даних вимірювання за допомогою корозиметра бетону	Відхилення від даних хімічного аналізу, %
	Середньорічна концентрація H_2S у воді, мг/дм^3	Середньорічна концентрація H_2S в атмосфері, мг/м^3	pH бетону		
к.ХТЗ, ш. №4	18,6	198,0	1,98	209,0	7,78
к.ХТЗ, ш. №5	12,0	20,0	3,7	17,5	1,77
к.ХТЗ, ш. №6	13,0	30,6	3,50	33,2	1,84
к.ХТЗ, ш. №8	6,6	10,5	4,10	12,5	1,41
к.ХТЗ, ш. №10	8,46	62,4	3,20	60,1	1,63
к.ХТЗ, ш. №12	31,0	239,7	1,93	251,0	7,99

Зниження концентрації H_2S залежить від аеродинамічних умов, що визначають тягу на певній ділянці шахти, температури всередині шахти та зовнішньої температури, глибини шахти (що розглядається як висота) і т.д. До того ж, як відмічалось вище, концентрація сірководню в атмосфері колекторів постійно змінюється. Отже, для визначення середньорічної концентрації сірководню не можна покладатись лише на поодинокі виміри, а необхідно проводити спеціальні розрахунки. При цьому перспективно використати

досвід визначення середньорічної концентрації сірководню в каналізаційних колекторах, викладений вище.

Оскільки службами експлуатації КМ досить регулярно вимірюється концентрація H_2S тільки в підсклепіневому просторі колектора, тобто на дні шахти, необхідно встановити кількісні показники зменшення цієї концентрації (за великий термін експлуатації – рік) на виході з шахт різної висоти. Беремо до уваги, що концентрація сірководню на кожній висоті шахти пропорційна концентрації H_2SO_4 , яка з нього утворюється та реагує з бетоном, отже – й швидкості його корозії, яку можливо виміряти за допомогою корозиметра бетону. Тому для визначення динаміки зниження концентрації сірководню на шляху від дна шахти до виходу (в % від концентрації сірководню на дні шахт) використовували дані вимірювання швидкості процесу корозії бетону (за допомогою корозиметра бетону) по висоті стінок деяких шахт на різних ділянках КМ. За допомогою отриманих даних було побудовано залежність (рис. 5), що

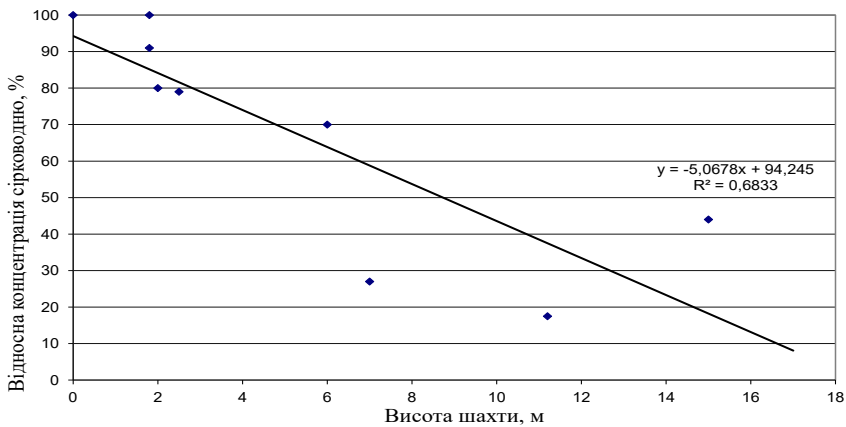


Рис. 5 – Залежність зниження відносної концентрації сірководню в газоповітряному середовищі від висоти шахти

кількісно відображує зниження концентрації сірководню в газоповітряному середовищі по висоті шахти – від склепіння каналізаційного колектора (точка 0) до кришки люка.

Як видно з наведених даних, зниження концентрації сірководню становить приблизно 5,0% на кожен метр висоти шахти і описується рівнянням:

$$L_H = -5,0678H + 94,245, \quad (2)$$

де L_H – відносна концентрація сірководню на виході з шахти порівняно з концентрацією на дні, %;

H – висота шахти (за висоту приймається глибина шахти), м.

$$C_{H_2S_{\text{вих.}}} = C_{H_2S_{\text{підсклепін.}}} \cdot L_H = C_{H_2S_{\text{підсклепін.}}} \cdot \frac{-5,0678H + 94,245}{100}, \quad (3)$$

де $C_{H_2S_{\text{вих.}}}$ – очікувана концентрація H_2S на виході з шахт каналізаційних трубопроводів, mg/m^3 ;

$C_{H_2S_{\text{підсклепін.}}}$ – концентрація H_2S в підсклепіновому просторі каналізаційних трубопроводів, mg/m^3 ;

H – висота шахти (висота шахти приймається за глибину), м.

Розраховано значення концентрації сірководню в газоподібних викидах з каналізаційних шахт на ділянках КМ м. Харкова (всього 62) відповідно до формули (2) на підставі усереднених даних вимірювань концентрацій цієї сполуки в підсклепіновому просторі трубопроводів за 3 роки експлуатації. За даними розрахунку найбільшу екологічну небезпеку для міської атмосфери за кратністю перевищення ГДК_{р.з.} по сірководню становлять 13 шахт. Розрахунки концентрації сірководню у викидах для 22 шахт представлено в табл. 3.

Таблиця 3 – Розрахунок концентрації сірководню в газоповітряному викиді на виході з каналізаційних шахт м. Харкова

№ з/п	Найменування шахти	Концентрація H_2S в підсклепіновому просторі каналізаційних трубопроводів, mg/m^3	Висота шахти, м	Очікувана концентрація H_2S на виході з шахти, mg/m^3	Кратність перевищення ГДК _{р.з.} , частки ГДК
1	2	3	4	5	6
Колектор 1					
1.	Шахта №4	99	15	32,61717269	3,2
2.	Шахта №6	10	13	3,789765569	–
3.	Шахта №7	12	12	4,877465494	–
4.	Шахта №8	12	12	4,877465494	–
5.	Шахта №10	16	11,7	6,641300424	–
6.	Шахта №11	25	8	13,44483334	1,3
7.	Шахта №12	120	6,8	70,19034822	7
8.	КНС 2	12	7	6,921453001	–
9.	Шахта №3	28	8	15,05821334	1,5
Колектор 2					
10.	Шахта №19	6	8,3	3,159704588	–
11.	Шахта №15	18	8,5	9,347330804	–
12.	Шахта №13	2	9	1,002870361	–
13.	Шахта №10	5	9,2	2,472320001	–
14.	Шахта №9	6	9,5	2,905131158	–
15.	Шахта №8	6	10	2,805210381	–
16.	Шахта №7	5	11	2,179634019	–
17.	Шахта №6	6	11,7	2,490487659	–
18.	Шахта №5	12	12	4,877465494	–
19.	Шахта №46	42	16	12,90208192	–
20.	Шахта №4а	75	16	23,039432	2,3
21.	Шахта №4	6	16	1,84315456	–
22.	Шахта №2	120	16	36,8630912	3,6

Для забезпечення ЕБ населених місць, що знаходяться в радіусі дії викидів з каналізаційних шахт, використовують різні методи, які спрямовані як на зменшення концентрації сірководню у викидах (за допомогою експлуатаційних заходів), так і на очистку цих викидів. У 2012–2014 рр. КП «Харківводоканал» було встановлено декілька дегазаторів на каналізаційних шахтах, які забезпечили 98–100% ефект очистки цих викидів від сірководню.

Висновки

1. Газоподібні викиди з КМ створюють екологічну напруженість в прилеглих міських регіонах та загрозу здоров'ю населення, оскільки концентрація в них ряду сполук перевищує ГДК середньодобове (ГДК_{с.д.}) та ГДК робочої зони (ГДК_{р.з.}). Найбільше перевищення ГДК створює сірководень – речовина 2-го класу небезпеки.
2. Сірководень в атмосфері самопливних колекторів КМ накопичується в результаті емісії зі стічних вод, де він утворюється в процесах мікробіологічної сульфатредукції.
3. Концентрація сірководню в атмосфері КМ протягом доби може коливатися приблизно на 400%.
4. На підставі даних експериментальних досліджень розроблено метод визначення середньорічної концентрації сірководню в атмосфері каналізаційних мереж та у викидах з них в атмосферне повітря населених місць.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Дрозд Г.Я. Повышение эксплуатационной долговечности и экологической безопасности канализационных сетей: дисс. докт. техн. наук: 21.00.08 / Дрозд Геннадий Яковлевич. Донб. гос. акад. строит. и архит. – Макеевка, 1998. – 320 с.
2. Дрозд Г.Я. Канализационные трубопроводы: надежность, диагностика, санация / Г.Я. Дрозд, Н.И. Зотов, В.Н. Маслак. – Донецк: ИЭП НАН Украины, 2008. – 260 с.
3. Greenhouse Gas (GHG) Emissions from Urban Wastewater System: Future Assessment Framework and Methodology / [A. A. Listowski, H. H. Ngo, W. S. Guo та ін.]. // Journal of Water Sustainability. – 2011. – №1. – С. 113–125.
4. Методы предотвращения распространения неприятных запахов от сооружений канализации / [А. Н. Пахомов, А. Р. Агевнин, Д. А. Данилович та ін.]. // Водоснабжение и санитарная техника. – 2006. – №11. – С. 40–47.
5. Юрченко В.А. Развитие научно-технологических основ эксплуатации сооружений канализации в условиях биохимического окисления неорганических соединений: дисс. докт. техн. наук: 05.23.04 / Юрченко Валентина Александровна. ХГТУСА. – Харьков, 2007. – 426 с.
6. Екологія міста. Колективна монографія / Ф.В. Стольберг, В.М. Ладженський, Ю.І. Вергелес та інш. – Харків: ХНАМГ, 2013. – 208 с. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://eprints.kname.edu.ua/27870/> (дата звернення 30.03.2014) – Назва з екрана.
7. Лебедева О.С. Захист атмосферного повітря від забруднення викидами сірководню з каналізаційних мереж: дис. кандидата техн. наук: 21.06.01/ Лебедева Олена Сергіївна. ХНУБА. – Харків, 2017. – 198 с.

8. Бригада Е.В. Мониторинг показателей эксплуатации водоотводящих сооружений из железобетона: дисс. кандидата техн. наук: 05.23.04 / Бригада Елена Владимировна. ХНУСА. – Харьков, 2013. – 168 с.
9. Данилович Д.А. Определение выброса загрязняющих веществ в атмосферу с поверхности очистных сооружений / Д.А. Данилович, В.И. Склад, В.А. Грачев // МГУП "Мосводоканал", Москва. – 2010. – 34 с.
10. Доповідь про стан навколишнього природного середовища в Харківській області у 2015 році. – Харків: Департамент екології та охорони навколишнього природного середовища ХОДА, 2016. – 216 с.

Стаття надійшла до редакції 04.09.2017

УДК 502.3

А.А. НЕСТЕР

ОЦІНКА ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ ТЕРИТОРІЙ ПІДПРИЄМСТВ ВИРОБНИЦТВА ПЛАТ ТА ГАЛЬВАНІКИ

Анотація. Стаття присвячена дослідженням стану території підприємства, яке виробляє друковані плати і володіє гальванічними цехами для забезпечення виробництва.

Коротко викладені основні аспекти негативного впливу відходів виробництва плат і гальваніки на навколишнє середовище. Виконано обчислення сумарного індексу небезпеки шламу виробництва плат та гальваніки, що дозволяє намічати шляхи для підвищення екологічної безпеки територій підприємств виробництва плат і гальваніки.

Ключові слова: індекс небезпеки, виробництво плат, утилізація відходів, екологічна безпека.

Вступ

Проблема утилізації відходів промислового і побутового походження набуває в даний час все більш гострого характеру у зв'язку з тим, що обсяги генерування відходів постійно зростають, тоді як темпи їх переробки незрівнянно малі. В результаті до теперішнього часу накопичені сотні мільйонів тонн різних твердих відходів, які необхідно переробляти і знешкоджувати. Масштаби щорічного продукування і накопичення твердих відходів вимагають створення потужних переробних установок продуктивністю, яка вимірюється мільйонами тонн на рік з їх промисловим освоєнням. Це доцільно здійснювати на базі вже наявних проєктів, освоєних передовими країнами. Специфіка твердих відходів виробництва полягає в тому, що в малих кількостях вони не чинять помітного впливу на навколишнє середовище, а у великих скупченнях стають екологічним лихом. Тому в даний час в усьому світі активно ведуться дослідження та розробки техніки і технологій для переробки та знешкодження [1]. Проблема полягає в тому, що доведення пропозицій до практичної реалізації в промисловості пов'язано з численними труднощами фінансового, соціального і технічного характеру.

Найбільшу небезпеку для навколишнього середовища становлять рухливі форми хімічних сполук, які визначають ступінь токсичності й шкідливості шламів-відходів виробництва плат та гальваніки. Речовини, що входять до складу відходів, можуть впливати на цитогенетичні характеристики ґрунтів, води та екосистеми [2]. Повна оцінка інтенсивності забруднення ґрунтів передбачає аналіз спільної дії факторів впливу при накопиченні та врахуванні міграційної здатності забруднюючих речовин. Основні напрямки впливу реагентів на ґрунт: фітотоксична дія аніонів, пряма фітотоксична дія водонерозчинних реагентів, зміни в складі поглинального комплексу ґрунту й руйнування структури ґрунту.

У місцях розміщення відходів існує сформована структура техногенних літохімічних ареалів, що проявляється в різному вмісті важких металів: цинку, нікелю, заліза й міді, залежно від особливостей технологічних процесів. На відстані до 0,3 км від місць розміщення шламів можливе перевищення фонові

концентрації цинку (в мг/кг сухого ґрунту), нікелю (в мг/кг сухого ґрунту) і міді (в мг/кг сухого ґрунту) у ґрунті, що призводить до забруднення ґрунтів, вод, погіршення якості життя населення. Найбільшим недоліком процесу нейтралізації є утворення шламів та практика складування їх у шламонакопичувачі. Істотний вплив на здоров'я людей має компонентний склад шламу.

Експериментальна частина

Аналіз шламів гальвановиробництва, виробництва друкованих плат і шламів з шламонакопичувачів показав високий вміст в них металів [2–3]. Велика обводненість території, пухкі водопроникні ґрунти ускладнюють вибір полігонів промислових відходів і обмежують їх площі, створюють умови для забруднення іонами важких металів не тільки прилеглих до місць складування ґрунтових покривів і поверхневих вод, а й підземних водних горизонтів [4]. При продуктивності лінії 12 м²/год кількість шламів за 8 год роботи досягне величини більше 96 кг, що при місячній однозмінній роботі складе 2100–2150 кг.

Сучасні підприємства, які в кращий для виробництва час виробляли приблизно 4·10³ м² плат, накопичили на своїй території по 20–30 тонн відходів за рік у вигляді солей, які зберігаються в ємкостях, поліетиленових мішках та потрапляють під дію атмосферних опадів [5]. У процесі дії на них атмосферних опадів солі вимиваються та переходять в ґрунти, поверхневі води, забруднюючи навколишнє середовище та підвищуючи рівень екологічної небезпеки [6].

При оцінці небезпеки для навколишнього середовища шламу-відходів виробництва плат та гальваніки враховують міграційну здатність хімічних речовин у поверхневі й підземні води, нагромадження в ґрунті й рослинах, що виражають через розчинність хімічних сполук у воді. Токсичність відходів характеризується гранично допустимою концентрацією (ГДК) речовин у ґрунті і їхньому вмісті в загальній масі шламу. Індекс небезпеки окремої хімічної речовини визначається за формулою:

$$K_i = \frac{ГДК_i}{(S + C_e)_i} \quad (1)$$

де, K_i – індекс небезпеки;

$ГДК_i$ – гранично допустима концентрація в ґрунті небезпечної хімічної речовини, що міститься у відходах, мг/кг ґрунту;

S – коефіцієнт розчинності хімічної речовини у воді;

C_e – вміст хімічної речовини в загальній масі відходів, мг/кг;

i – порядковий номер даної речовини.

За результатами проведеного в умовах реального виробництва друкованих плат та гальваніки на спектрометрі ElvaX Light SDD рентгенофлуоресцентного аналізу амонійноацетатної витяжки досліджуваного шламу підприємства з рН 4,5 серед рухливих форм важких металів були виявлені хром, залізо, нікель, мідь і цинк. Для визначення кількісного вмісту

даних сполук у шламів виробництва плат та гальваніки використовувався атомно-абсорбційний спектрофотометр С115-М1.

Коефіцієнти розчинності у воді небезпечних хімічних речовин, які містяться у відходах виробництва плат та гальваніки, знаходили за довідковими даними, а значення гранично допустимих концентрацій їх у ґрунті – відповідно до нормативного документа (ГН 2.1.7. 2041 - 06. Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в почве. Гигиенические нормативы).

Сумарний індекс безпеки визначали за формулою:

$$K = \frac{1}{n^2} \sum_{i=1}^n K_i \quad (2)$$

де, n – кількість небезпечних хімічних речовин, які містяться в шламів підприємства виробництва плат та гальваніки.

Вихідні дані для розрахунку сумарного індексу безпеки шламу виробництва плат та гальваніки одного з підприємств м. Хмельницького (до впровадження пропозицій) представлені в таблиці 1.

Для покращення екологічної ситуації та з метою розвитку сучасних технологій на підприємстві була впроваджена технологія відновлення травильних розчинів, основою якої стала регенерація розчину з виділенням міді у вигляді металу, що може використовуватись в якості вторинної сировини. А травильний розчин з відновленими характеристиками направляється для подальшого використання в технологічному процесі.

Таблиця 1 – Результати розрахунку сумарного індексу безпеки шламу виробництва плат та гальваніки

Група речовин	ПДК _i , мг/кг	(S + C _в) _i , мг/кг	K _i	K
Сполуки заліза	2,3	135,82	0,018	0,012 < 2
		70,5	0,034	
Сполуки міді	3	73,98	0,045	
		21,15	0,148	
Сполуки нікелю	4	63,82	0,065	
		37,58	0,108	
Сполуки хрому	6	33,95	0,175	
		63,22	0,098	
Сполуки цинку	23	357,15	0,065	
		54,25	0,418	

Після впровадження вказаних пропозицій щодо видалення міді з травильного розчину та подальшого його використання для операцій травлення різко падає кількість сполук міді, що виділялась у вигляді шламів (після впровадження в середньому менше 1 кг шламів в день).

Кількість виділених шламів, що буде створюватись на очисних спорудах підприємства, досягне мінімальних значень, величину яких можна обрахувати з таких положень:

– розчин буде працювати без змін 2–3 місяці і при заміні буде злито близько 300 літрів відпрацьованого розчину;

– розчин утримує 25–30 кг міді, що менш 0,5 кг/добу, а в масі шламів складе 1 кг, що при загальній кількості шламів може не прийматись в розрахунок.

Проведений розрахунок показав зростання сумарного індексу небезпеки, про що свідчить наведений нижче розрахунок. При цьому всі інші сполуки в шламах лишилися в тих же кількостях, що знаходились в шламах до впровадження нового технологічного процесу травлення плат.

Таблиця 2 – Результати розрахунку сумарного індексу небезпеки шламу виробництва плат та гальваніки після впровадження заходів з видалення міді з травильного розчину

Група речовин	ПДК _i , мг/кг	(S + C _b) _i , мг/кг	K _i	K
Сполуки хрому	6	33,95	0,175	
		63,22	0,098	
Сполуки заліза	2,3	135,82	0,018	
		70,5	0,034	
Сполуки міді	3	0,01	0,0	0,061 < 2
		0,03	0,0	
Сполуки нікелю	4	63,82	0,065	
		37,58	0,108	
Сполуки цинку	23	357,15	0,065	
		54,25	0,418	

Результати та їх обговорення

Проблема підвищення екологічної безпеки територій, які піддаються техногенному навантаженню в процесі виробництва плат та гальваніки, вимагає комплексного підходу для її вирішення, що полягає як у превентивному, так і в комплексі запобіжних ліквідаційних заходів.

До першої групи методів варто віднести технологічні й управлінські заходи. Їх завдання полягає в попередженні й зниженні забруднення навколишнього середовища шляхом застосування екологічно безпечних реагентів, готування розчинів, які дозволяють зменшити токсичність відходів. В технологічні процеси виробництва плат та гальваніки повинні включатися заходи щодо зменшення негативного впливу відходів виробництва плат та гальваніки на навколишнє середовище, а відходи, які можуть з'являтися в процесі виробництва, повинні тут же перероблятися на необхідні для промисловості, сільського господарства та населення товари.

Тобто підприємствами повинні розроблятися комплекси заходів щодо обігу відходів, серед яких можуть бути найбільш екологічно безпечними

і економічно ефективними використання шламів з одержанням будівельних матеріалів, удобрення сільськогосподарських угідь під суворим контролем відповідних екологічних служб підприємств та державних органів.

У випадку неконтрольованого скиду відпрацьованих травильних розчинів виробництва плат та гальваніки у навколишнє природне середовище можна виділити наступні показники небезпеки, які характеризують процес:

1. Хімічне забруднення середовища (повітря, водойми, ґрунт).
2. Підвищена захворюваність населення, особливо молодого покоління, пов'язана із забрудненням навколишнього природного середовища, а також можливість летальних випадків.
3. Руйнування житла населення, а також виробничих споруд, майна та будинків.

Висновки

Підсумовуючи визначене, можна рекомендувати на етапі визначення показників екологічної небезпеки технологічних процесів, обладнання, використовуваних матеріалів, реагентів додержуватися наступного порядку (алгоритму):

- визначення показників небезпеки (потенційно небезпечні матеріали, реагенти, відходи, стічні води);
- визначення можливих видів ризику;
- визначення хімічного складу шламів, матеріалів, реагентів та негативного впливу цих речовин на довкілля, здоров'я людини;
- визначення екологічного ризику, що може бути викликаний технологічними процесами.

Задачею подальших досліджень є оцінювання технологічних процесів з точки зору екологічної безпеки, тобто якісна оцінка екологічного ризику та визначення ступеня небезпеки технологічних процесів.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Сотрудничество для решения проблемы отходов // Материалы III Международной конференции. – Харьков, 2006. – 251 с.
2. Аблеева И.Ю. Оценка риска от аварийных ситуаций при бурении нефтяных скважин / И.Ю. Аблеева, Л.Д. Пляцук. Сборник тезисов докладов III Международной научно-практической конференции – С. 198–201.
3. Найдено, В.В. Очистка и утилизация промстоков гальванических производств / В.В. Найдено, Л.Н. Губанов; Нижегород. гос. архитектур.-строит. ун-т. – Н. Новгород: ДЕКОМ, 1999. – 368 с.
4. Инженерная защита окружающей среды: Очистка вод. Утилизация отходов / Под ред. Ю.А. Бирмана, Н.Г. Вурдовой. – М.: Изд-во АСВ, 2002. – 296 с.
5. Нестер А.А. Очистка стічних вод виробництва друкованих плат. Монографія. / А.А. Нестер м. Хмельницький, ХНУ, 2016. – 219 с.
6. Богдановский Г.А. Химическая экология: Учебное пособие / Г.А. Богдановский Москва: Изд-во МГУ, 1994. – 237 с.

Стаття надійшла до редакції 16.08.2017

УДК 504.067.2.001.18

В.Є. КРАСКЕВИЧ, А.В. СЕЛІВАНОВА, В.П. ШВАРЦ

ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДОЛОГІЇ ФІНАНСОВОГО ІНЖИНІРИНГУ ДЛЯ ОПТИМІЗАЦІЇ КОМПЛЕКСУ УТИЛІЗАЦІЇ ТВЕРДИХ ПОБУТОВИХ ВІДХОДІВ

***Анотація.** В роботі представлені результати оптимізації структури сміттєпереробного комплексу на основі розробленого алгоритмічного забезпечення для реалізації методології інвестиційного інжинірингу, що дозволяє запропонувати створену методологію та алгоритмічне забезпечення інноваційного інжинірингу для вдосконалення численних проектів сміттєпереробних підприємств та для інших комплексних програм.*
***Ключові слова:** інновація, інжиніринг, переробка відходів, технологія, методологія.*

Вступ

Проект, що розглядається, направлений на створення сучасного екологічно безпечного та комерційно рентабельного виробництва з переробки твердих побутових відходів (ТПВ) у Таврійському об'єднанні територіальних громад (Херсонська область), в нижній течії Дніпра, поблизу численних рекреаційних та туристичних об'єктів Чорноморського та Азовського узбережжя. З огляду на те, що Дніпро – найбільша водна артерія України, яка забезпечує до 75% потреб у прісній воді, проект, що розглядається як пілотний, надзвичайно важливий для країни в цілому.

Проект виконується командитним товариством «Львіворгсинтез» [1] спільно з місцевими радами міст Нова Каховка та Каховка Херсонської області із залученням ряду українських та іноземних інжинірингових компаній – фахівців з технологій переробки ТПВ. Техніко-економічний аналіз виконувався з використанням сучасних інформаційних технологій, зокрема методології інноваційного інжинірингу [2], розроблений на кафедрі інформаційних технологій в міжнародній торгівлі Київського національного торговельно-економічного університету¹.

В межах проекту розглядається проблема переробки побутових відходів регіону, до якого входять міста Нова Каховка, Каховка, Таврійськ, Берислав, Каховський та Бериславський райони Херсонської області (загалом близько 200 тисяч мешканців). Аналіз відходів окремо по житловому та нежитловому секторах дозволив зробити висновки про те, що, по-перше, загальний склад відходів збігається із середнім складом так званого «сімейного відра для сміття»; по-друге, наявна значна кількість компонентів у складі ТПВ, які підлягають окремій переробці, що не дозволяє зупинитись на одній основній технології їхнього рециклінгу, та, по-третє, загальна річна кількість кожного з компонентів недостатня для організації самоокупного виробництва, яке використовуватиме такий компонент як основну сировину.

¹ Автори висловлюють щирю подяку завідувачу відділом Інституту телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАНУ докторові фіз.-мат. наук С.К. Полум'янку за увагу до всіх етапів роботи – від стадії постановки завдань до тлумачення результатів.

Виходячи з необхідності забезпечення самоокупності виробництва з переробки ТПВ в умовах недостатності діючих муніципальних тарифів та відсутності державних дотацій на утилізацію відходів, використовується підхід, що передбачає організацію сукупності взаємопов'язаних підприємств-учасників індустріального парку, спільна діяльність яких приведе до сукупного синергетичного ефекту.

При підготовці проекту був проведений аналіз сучасних технологій переробки ТПВ. Головна увага приділялась компаніям – власникам авторських прав, що працюють на Європейському ринку, який характеризується спільними ознаками з ринком України – переважно середнім та малим розміром муніципальних громад. Обов'язковим при проведенні аналізу була наявність у компаній – володарів технологій успішних діючих рециклінгових підприємств.

Основна частина

З використанням методики ситуаційного моделювання була проаналізована вхідна та вихідна інформація, зовнішні збурення і обмеження, та, виходячи з еколого-економічних, виробничих та організаційних передумов, було обґрунтоване комплексне технологічне рішення, що забезпечує реальне зниження забруднення довкілля в регіоні. Передбачена переробка як пластику, який має тривалий термін деструкції в природних умовах на синтетичне паливо та/або електроенергію, так і харчових відходів, що найбільш небезпечні з точки зору впливу на навколишнє середовище, – отримання біогазу з подальшою генерацією енергії. Однак розрахунки показали, що висока вартість імпортного обладнання в умовах низьких тарифів на знешкодження відходів не дозволяють забезпечити пряму окупність проекту в розумні терміни.

На основі інформаційних технологій та власної методології інноваційного інжинірингу [2] з урахуванням особливостей регіонального господарства проведено структурування виробництва з переробки ТПВ; обґрунтовано включення до технологічного ланцюжку кількох передових технологій переробки для створення нових конкурентоспроможних продуктів (сучасний будівельний ізолятор «піноскло», енергія сонячної генерації, лікарські рослини в опалюваних теплицях тощо).

В таблиці представлені компоненти, що виділяються з загального потоку ТПВ, згруповані по видах їхньої подальшої переробки.

Результати проведених нами аналізу та вдосконалення структури сміттєпереробного комплексу наведені в табл. 1.

Технологічний комплекс I (сортування ТПВ) є окремим замкненим сортувально-пакувальним виробництвом, до якого входять склади сировини (для запобігання простою у випадках можливих затримок підвезення ТПВ) та готової продукції (вторинних ресурсів), а також технологічний транспорт.

Технологічний комплекс II (виробництво електроенергії з відходів пластику, а також формування піноскла), утворений на основі агрегатів для деполімеризації відходів пластику з установками попередньої сушки та подрібнення відходів. До складу комплексу входять також установи генерації та когенерації енергії, термічне обладнання для піноскла, складські приміщення для сировини та готової продукції, технологічний транспорт.

Таблиця 1 – Оптимізація переробки ТПВ і продажів енергії та інших матеріалів

	Компоненти	Обладнання	Використання по сезонах		Комплекс
			Холодний	Теплий	
	Папір, картон	Сортувальний комплекс	Продаж компонентів	Продаж компонентів	I
	Чорні метали				
	Кольорові метали				
	Текстиль				
	Каміння, кераміка				
	Скло				
	Пластмаса та полімерна плівка	Комплекс деполімеризації	Продаж електроенергії	Виготовлення та продаж піноскла	II
	Шкіра, гума				
	Органічні відходи	Біогазовий комплекс	Генерація електричної та теплової енергії для обігріву теплиць, вирощування і продажу лікарських рослин	Продаж електроенергії	III
0	Мулові опади стічних вод				
1	Деревина				
2	Кості				
3	Інше (хвости)				
4	Відходи агровиробництва				
5	Генерація сонячної енергії		Електроенергія на продаж	Електроенергія на продаж	IV

Технологічний комплекс III (виробництво електроенергії з біомаси, а також вирощування лікарських рослин в опалюваних теплицях) – біогазова станція, оснащена комплектом установок генерації та когенерації електроенергії та своїм технологічним транспортом.

Також передбачається створити не пов'язаний з переробкою ТПВ **Технологічний комплекс IV** для виробництва електроенергії сонячної генерації. Це є раціональним, оскільки генерацію енергії вже передбачено на **комплексах II та III**. З урахуванням клімату в регіоні – кількість годин сонячної активності коливається від 72 в січні до 203 в серпні, а річна сума годин сонячного сяйва складає 1977 [3] – виробництво сонячної енергії буде рентабельним. Сприяє рентабельності й те, що в Україні діє одна з найбільших в Європі величин «зеленого» тарифу (зараз 0,18 € проти середнього по ЄС значення близько 0,15 €).

Проведено аналіз окупності проекту. Згідно з розрахунками фінансування будівництва та закупівлі технологічного обладнання передбачається окремими траншами. Інвестиційні витрати відносяться до кредитних коштів. Розділення кредиту спрямоване на забезпечення окупності проекту та скорочення періоду виплати кредитних відсотків. Процентна ставка складає 5%, відтермінування по виплаті кредиту не передбачене. Згідно з угодами з постачальниками, при проведенні розрахунків прийнято, що основне технологічне обладнання буде встановлено та запущено в роботу за 18 місяців від початку проекту.

При зазначених умовах кредитування при проведенні аналізу, а також сумі виторгу, розрахований на основі песимістичного консервативного сценарію на підставі діючих тарифів на електроенергію, промислові продукти та вторинні ресурси, що будуть постачатися споживачам, одержано, що чистий дисконтований дохід NPV, розрахований на період 6 років є позитивним, що вказує на ефективність проекту (див. рис. 1).

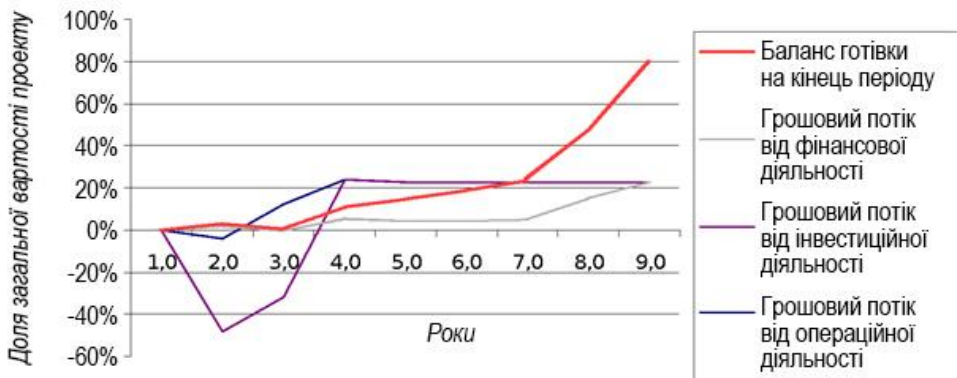


Рис. 1 – Рух грошових коштів при реалізації проекту

Оскільки проект спрямований в першу чергу на вирішення найважливіших екологічних проблем регіону і розглядається як пілотний для всієї України, в розрахунки свідомо закладені низький рівень доходів при максимальних витратах, що, природно, знижує фінансові показники проекту. Також при реалізації проекту будуть опрацьовуватися можливості його

додаткового фінансування за рахунок коштів державних екологічних програм, а також можливих надходжень у відповідності з Кіотсько-Паризькою угодою.

При виборі песимістичного сценарію з використанням методології фінансового інжинірингу та розроблених алгоритмів і обчислювальних програм досягнуто рентабельності проекту за рахунок оптимізації структури сміттєпереробного комплексу, що викликало до нього увагу іноземних постачальників технологічного обладнання. Досягнуто домовленості про кредитування проекту через створення спільного підприємства – оператора (основного виконавця проекту). Розроблена схема фінансування проекту (див. рис. 2), яка оптимізована з точки зору господарського та митного права і забезпечує мінімальні фінансові витрати при введенні та виведенні інвестицій, узгоджена з іноземними учасниками та прийнята до впровадження.

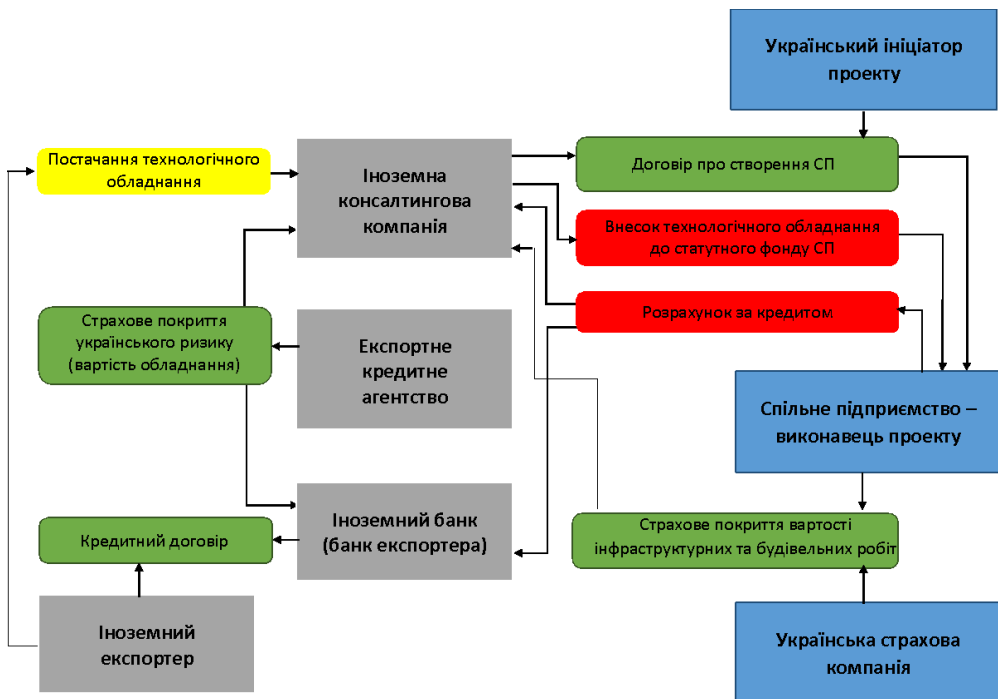


Рис. 2 – Схема фінансування проекту переробки ТПВ

З огляду на ряд об'єктивних та суб'єктивних факторів, створення сучасної інфраструктури в Україні сьогодні без забезпечення успішного трансферу західних технологій неможливе [4]. В той же час, як показав досвід виконання цієї роботи, прямий трансфер технологій не завжди є окупним в зв'язку з великою різницею засад функціонування української та розвинених зарубіжних економік (зокрема, не можна порівнювати промислові ціни на обладнання та матеріали, оплату праці, тарифну політику та розмір державної підтримки цільових програм тощо) [5]. Однак застосування систем підтримки прийняття рішень дозволяють оптимізувати умови трансферу технологій у кожному конкретному випадку.

Для успішного вирішення таких завдань необхідно створити програмно-апаратну систему, що включає в себе засоби збору, обробки та аналізу

інформації, методи багатоваріантного моделювання та дослідження не тільки поточного стану систем, об'єктів, явищ та процесів, а й виявити загрози та проаналізувати наслідки прийнятих рішень. Ключовою особливістю такої системи буде можливість комплексної оцінки проблемних ситуацій на основі застосування методів обробки великих обсягів інформації, оперативних засобів моделювання сценаріїв розвитку, де ситуація визначає стан системи і навколишнього середовища на певний момент або відрізок часу.

Висновки

На сьогодні авторами розроблене алгоритмічне забезпечення для реалізації методології інвестиційного інжинірингу такої програмно-апаратної системи, а також ряд обчислювальних програм.

В той же час представлені в роботі позитивні результати оптимізації структури сміттепереробного комплексу дозволяють запропонувати створену методологію та алгоритмічне забезпечення інноваційного інжинірингу [2] не тільки для вдосконалення численних проектів сміттепереробних підприємств, а й для інших комплексних програм, пряма рентабельність трансферу західних технологій для здійснення яких не є очевидною.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Офіційний веб-сайт Командатного товариства «Львіворгсинтез». [Електронний ресурс] // КТ «Львіворгсинтез». Режим доступу: <http://www.lorgs.com.ua/>
2. Фінансовий інжиніринг як інструмент інноваційної діяльності в інвестиційних проектах / В.Є. Краскевич, А.В. Селіванова // Математичні машини і системи. – 2016. – № 1. – С. 71–78.
3. Інформаційний портал meteoblue. [Електронний ресурс] // Meteoblue. Режим доступу: https://www.meteoblue.com/ru/%D0%BF%D0%BE%D0%B3%D0%BE%D0%B4%D0%B0/%D0%BF%D1%80%D0%BE%D0%B3%D0%BD%D0%BE%D0%B7/modelclimate/%D0%9D%D0%BE%D0%B2%D0%B0%D1%8F%D0%9A%D0%B0%D1%85%D0%BE%D0%B2%D0%BA%D0%B0_%D0%A3%D0%BA%D1%80%D0%B0%D0%B8%D0%BD%D0%B0_699839
4. Индустриальные парки Украины: старые грабли на свежую голову? [Електронний ресурс] // Ліга.net. Режим доступу: http://www.liga.net/projects/industrial_park/
5. Проект Закону про внесення змін до розділу XX "Перехідні положення" Податкового кодексу України щодо розвитку вітчизняного виробництва шляхом стимулювання залучення інвестицій в реальний сектор економіки через індустріальні парки [Електронний ресурс] // Верховна Рада України. Режим доступу: http://w1.c1.rada.gov.ua/pls/zweb2/webproc4_2?id=&pf3516=2554%D0%B0-%D0%B4&skl=9

Стаття надійшла до редакції 17.10.2017

ОСНОВИ ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ

УДК 049.3:574.4:581.526

С.І. АЗАРОВ, В.Л. СИДОРЕНКО, О.С. ЗАДУНАЙ

ВИЗНАЧЕННЯ НАДІЙНОСТІ ЕКОСИСТЕМ ДО ЧИННИКА АНТРОПОГЕННОГО ТИСКУ

***Анотація.** Розроблено методичні підходи до оцінки екологічної безпеки екосистем, які базуються на визначенні комплексного показника деградації компонентів природного середовища, що дозволить оцінювати ризики втрати, знищення екосистем під дією антропогенного впливу. Також розглянуто механізми забезпечення, принципи та методи оцінки надійності різних типів екосистем.*

***Ключові слова:** екосистема, безпека екосистем, стійкість, надійність, живучість, стабільність, антропогенні впливи.*

Вступ

В аспекті забезпечення переходу суспільства на засади сталого розвитку важливим завданням є оцінка ризиків втрати, знищення екосистем під дією антропогенного впливу, що тісно пов'язано з їхньою надійністю.

Антропогенний чинник, який викликає деградацію екосистеми, слід розглядати як флуктуацію, викликану популяційним вибухом, який за законами регулювання неминуче буде елімінований.

На сьогодні екосистема розглядається як здатність зберігати свою структуру і характер функціонування в просторі та часі за впливу змін умов зовнішнього середовища. Екосистеми здатні протистояти різним ушкоджувальним впливам і, в разі відновлення нормальних умов, повертатися в стан, близький до первісного. Щільність того чи іншого виду за несприятливих умов знижується, але в оптимальних умовах зростають плодючість, швидкість росту й розвитку, а щільність виду відновлюється. Однією з основних властивостей екосистем є їх надійність.

Важливою характеристикою надійності екосистеми є функціональне середовище. Надійність екосистем – це здатність екосистем зберігати свою структуру і характер функціонування в просторі та часі за впливу змін умов зовнішнього середовища, тобто їх здатність до реакції, пропорційної за

величиною силі негативного впливу. Це поняття визначається сукупністю законів, алгоритмів та параметрів стану екосистеми, відповідно до яких вона утворюється, існує, розвивається, а потім (рано чи пізно) гине.

Теоретичні основи надійності екосистеми знайшли обґрунтування в класичних працях Пуанкаре, Лагранже, Свіріжева, Логофета тощо, які ґрунтуються на оцінках засвоєння і трансформації енергії та інформації, тобто законах термодинаміки функціонування екосистем, синергетики, показниках ентропії, що застосовуються до відкритих екосистем [1–4]. Дослідниками надійності екосистем та їхніми послідовниками було доведено, що природний розвиток екосистем хоч і спрямований до рівноважного стану, але у такому стані вони існувати не можуть, а потребують додаткової енергії, що забезпечується за рахунок дисипативних процесів. У математичному відношенні зміни поведінки екосистем описуються нелінійними рівняннями. Ці процеси відбуваються як флуктуаційні зміни, що викликають турбулентність і можуть призвести до катастрофи, тобто руйнування екосистеми. Такі зміни характеризуються послідовністю фаз конфлікту-кризи і власне катастрофи [5]. Однак механізми забезпечення, принципи та методи оцінки надійності відносно різних типів екосистем ще недостатньо розроблені.

Поняття надійності в екології трактується неоднозначно, а відтак її оцінка проводиться за різними ознаками, проявами [6]:

- 1) відмінністю екосистеми одного стану відносно іншого;
- 2) допустимою величиною відмінності від базового стану, тобто її мінливості;
- 3) інтервалом часу, в межах якого відбуваються зміни чи оцінюється стійкість;
- 4) впливом зовнішнього фактора чи їх групи, відносно яких оцінюється стійкість.

Під надійністю екосистеми слід розуміти таку властивість, яка визначає ризик втрат її стійкості, стабільності й живучості (наведено на Рис.).



Рис. – Схема взаємозв'язків надійності екосистем

Стійкість екосистеми – це властивість, яка характеризує здатність екосистеми витримувати зміни, що виникають під впливом зовнішніх негативних факторів, чинити опір антропогенним чинникам та відновлюватися після їх впливу.

З іншого боку, стійкість екосистеми – це здатність адаптуватися до умов, що змінюються, не знижувати деякий життєво важливий допустимий екологічний рівень, протистояти зовнішнім антропогенним впливам або підтримувати існуючий режим функціонування під дією негативних ефектів.

Під стійкістю екосистем мається на увазі [7]:

- 1) опірність змінам параметрів навколишнього середовища;
- 2) здатність функціонувати у випадково варіюючих умовах середовища та в часі;
- 3) здатність до адаптації, виживання, збереження та відновлення основних функцій у мінливих умовах зовнішнього і внутрішнього середовища;
- 4) властивість екосистеми зберігати стан гомеостазу;
- 5) здатність екосистеми виконувати фізіологічну та біохімічну функції, що забезпечують її нормальну життєдіяльність протягом онтогенезу в певних екологічних умовах;
- 6) властивість зберігати свою функцію за різних умов середовища та різних внутрішніх станів протягом життя.

Адаптація екосистеми – це довготривале пристосування, яке виникає і змінюється протягом еволюції виду. На відміну від регулювання, адаптація екосистеми має незворотний характер.

Відновлення – здатність екосистеми повертатись за певний час до області станів після виходу з неї під впливом певного фактора.

Здатність екосистеми повернутися в колишню область стійкої рівноваги після тимчасового негативного впливу характеризує її стабільність.

На відміну від стійкості, стабільність – це здатність екосистеми повернутися в колишню область стійкої рівноваги після тимчасового впливу антропогенного чинника. Один з найбільш загальних механізмів збереження екосистемою стабільності пов'язаний з так званим принципом Ле Шательє Брауна [3], відповідно до якого будь-який зовнішній вплив зумовлює відповідну реакцію самоорганізації, спрямовану на ослаблення його ефекту. Знаходження екосистем у стабільному стані проявляється у відносній незмінності їх узагальненої структури та інтегральних показників.

Зміна або втрата певних станів екосистеми зазвичай супроводжується структурною перебудовою, яка відбувається стрибкоподібно, іноді пов'язана із заподіянням їй деякого збитку. Це викликано тим, що компенсаційні механізми екосистеми вже не здатні утримати її в колишньому стані, і вона втрачає свою стабільність через радикальну перебудову структури і стрибкоподібну зміну відповідних інтегральних показників.

Запропонуємо таку класифікацію видів стабільності екосистем [7]:

1. Рівновага – ситуація, за якої впливаючі на екосистему різноспрямовані сили взаємно гасяться і властивості екосистеми залишаються незмінними.
2. Гомеостаз – стійкий стан рівноваги відкритої екосистеми.
3. Стаціонарний режим – циклічне повторення однієї і тієї ж послідовності.
4. Резистентність – перехід з однієї області стійкої рівноваги в іншу зі збереженням внутрішніх зв'язків екосистеми.

5. Пластичність (мобільність) – здатність екосистеми після припинення дії антропогенного фактора протягом часу повертатися до вихідного стійкого положення.

Рівновага – це властивість екосистеми зберігати стабільність у певних межах під час антропогенних змін. Рівновага підрозділяється на статичну й динамічну, а також на стійку та нестійку.

Під гомеостазом екосистем маються на увазі певні визначення:

- прагнення організму підтримати в досить вузькому діапазоні коливань фізіолого-біохімічні константи, які визначають цілісність і функціональну дієздатність;
- процес підтримки стійкого стану організованих екосистем, включаючи живі організми;
- збереження сталості внутрішнього середовища організму (параметрів в процесі зміни внутрішніх і зовнішніх умов);
- відносна стабільність екосистеми в межах деякого діапазону мінливих умов середовища;
- підтримуване регуляторним відновленням екосистеми основних її компонентів і елементів під час постійної саморегуляції в усіх її ланках;
- здатність екосистеми та її окремих частин протистояти змінам та зберігати динамічну рівновагу (гомеостаз);
- здатність екосистеми протистояти зовнішнім і внутрішнім збуренням, включаючи будь-які антропогенні впливи;
- незмінність у часі будь-яких характеристик екосистем;
- сталість параметрів екосистеми протягом невизначено тривалого часу;
- здатність екосистеми підтримувати певну характеристику екосистеми в незмінному стані.

Резистентність (пружність, інертність) – це здатність екосистеми під впливом дії антропогенного фактора протягом часу не виходити за певні межі стабільності.

Резистентна стабільність – екосистема тримається до певної межі (певних значень) впливу негативного фактора, але коли ці значення перевищують певну межу – виходить зі стану рівноваги, до якого вже може не повернутися навіть після повного припинення збурюючого впливу.

Пружна стабільність – екосистема у відповідь на збурюючий вплив виходить зі стану рівноваги, але повертається до вихідного стану з припиненням дії цього чинника.

Отже, стабільність можна розглядати, з одного боку, як здатність екосистеми протидіяти впливу зовнішніх факторів, зберігати свою сутність і якісні характеристики у стані (бути резистентною, інертною), а з другого – відновлювати свої властивості, тобто бути пластичною. Тому резистентна і пластична стабільність – це зовсім різні властивості екосистем. Саме ці властивості необхідно враховувати під час визначення кількісних показників антропогенного впливу на екосистеми.

Живучість екосистеми – це властивість, що характеризує захисні сили екосистеми та виявляється у здатності біогеоценозів до самовідновлення.

Винятково важливим у житті екосистем, як будь-яких біологічних систем, є їх прагнення до самозбереження, яке неможливе без самовідновлення, саморегуляції, самовідтворення і самовдосконалення. Тому ці універсальні

характеристики всіх систем, що самоорганізуються, використовуються як ключові ознаки при визначенні живучості екосистем.

Самовідновлення екосистеми – це самостійне повернення екосистеми до стану динамічної рівноваги, з якого вона була виведена під впливом негативних чинників.

Саморегуляція екосистеми – це її здатність до самостійного відновлення балансу внутрішніх властивостей після негативного впливу за допомогою принципу зворотного зв'язку між її компонентами, тобто екосистема здатна зберігати свою структуру та функціонування в певному діапазоні зовнішніх умов.

Для кількісної оцінки безпеки екосистеми виділяють зв'язок діючих вражаючих чинників, що містять тип, інтенсивність, тривалість і кількість збурень, а також зв'язок екосистеми з визначенням основних параметрів, що відповідають за її стійкість, і областей (зон) стійкого стану, яких може бути від однієї до декількох.

Будемо виділяти такі стани екосистем [7]:

1) нестійка екосистема – малі збурення різко змінюють режим функціонування;

2) асимптотична, стійка екосистема – збурення гасяться екосистемою;

3) глобально стійка екосистема – властивість стійкості виконується для всіх траєкторій;

4) локально стійка екосистема – властивість стійкості виконується для траєкторій поблизу рівноважної.

Запропонуємо низку критеріїв надійності екосистем:

1) критичні значення негативного впливу, що викликають руйнування екосистеми або переведення її в необоротно нестійкий або інший стійкий стан;

2) параметри екосистеми (інваріант), що залишаються незмінними в процесі різних збурень екосистеми протягом значного часу;

3) параметри динаміки основних характеристик екосистеми;

4) критерії стійкості за Ляпуновим (орбітальної, асимптотичної та структурної стійкості) на основі математичних моделей досліджуваних екосистем;

5) критерії, засновані на відборі найчутливіших характеристик елементів екосистеми до даного виду негативного впливу;

6) критерії, засновані на відносній зміні будь-якої властивості або характеристики екосистеми.

Схильність екосистеми до деградації буде визначатися її буферною ємністю до впливу небезпечного фактора, фазою розвитку екосистеми та швидкістю процесів, що протікають.

Прогресивний або регресивний розвиток біогеоценозу визначається трансформацією і міграцією небезпечних речовин, енергії та інформації. Прогресивний розвиток характеризується накопиченням екосистемою внутрішньої енергії, збільшенням довговічності та надійності. Це супроводжується збільшенням адаптаційних можливостей екосистеми або ступенем її еластичності.

Зі збільшенням ступеня регресивного розвитку екосистем послідовно протікають такі стадії:

– порушення координації процесів, їх розбалансування, порушення біоритмів, зниження адекватності реакцій на стресові ситуації;

- порушення енергетичних балансів, зменшення використання сонячного світла та будь-яких джерел енергії;
- порушення складу речовин екосистем;
- порушення генетичного апарату живих компонентів екосистеми та процесів саморозвитку в екосистемах загалом.

Надійність екосистем до деградації залежить від таких параметрів:

- а) стійкості до дії кожного компонента екосистеми;
- б) виду негативного впливу;
- в) інтервалів негативного впливу;
- г) тривалості негативного впливу;
- д) уже досягнутої фази деградації екосистеми і кожного її компонента;
- е) поєднання стресових впливів і дії на екосистему інших фізичних полів;
- з) прояву процесів гістерезису (фізична величина, що характеризує стан тіла, неоднозначно залежить від фізичної величини, що характеризує зовнішні умови) і пам'яті.

Оцінюючи небезпечні чинники, що впливають на деградацію екосистеми, необхідно враховувати не тільки їх інтенсивність, але й тривалість впливу, градієнт і закономірну зміну в часі та в просторі.

У разі негативного впливу на екосистему декількох факторів відзначається їх взаємовплив, зумовлений не тільки ефектами адитивності, синергізму та антагонізму, але й більш складними взаємодіями. Інтегральну дію на екосистему сукупності небезпечних чинників ускладнено явищами багатодомінантності та провокаційності їх спільної дії. Багатодомінантність виникає, якщо один з небезпечних факторів, перебуваючи або в мінімумі, або в максимумі, утворює настільки сильний негативний вплив, що пригнічує вплив усіх інших небезпечних факторів. Провокативність характерна для поєднання стимулюючих впливів з летальними і полягає в тому, що негативні ефекти посилюються.

Виділимо такі групи механізмів надійності екосистем [7]:

- механізми стабілізації стану (інерція, обмеження обміну з навколишнім середовищем, проточність; негативні, позитивні і конкурентні зворотні зв'язки);
- механізми збереження структури (механізм включення резервних програм, тимчасового переходу в закритий стан, накопичення резервів, симбіоз, адаптаційна еволюція);
- механізми збереження траєкторії руху;
- механізми збереження типу функціонування (пружність, еластичність, розподілення по екологічних нішах).

За міру стабільності екосистем часто приймають їх видове різноманіття. Найстійкіші складні екосистеми, оскільки в них формуються розгалужені трофічні зв'язки. Екосистеми зі спрощеною структурою вкрай нестійкі, бо в них відбуваються різкі коливання чисельності окремих популяцій.

Методи математичного моделювання надійності екосистем можна класифікувати наступним чином [7, 8]:

- 1) теорія стійкості і біфуркацій диференціальних рівнянь → приблизні схеми перехресної регуляції → топологічні методи теорії катастроф;
- 2) термодинамічний підхід → імовірнісні критерії диференціальних рівнянь → теорія дисипативних структур;

- 3) теорія автоматів → механічні та графічні ігрові аналоги;
- 4) формальна символічна логіка → теорія паралельних алгоритмів;
- 5) застосування принципів оптимальності екології.

Використання лінійного аналізу надійності екосистем обмежено областю особливих точок, за межами яких можливі якісно нові режими функціонування, автоколивання, дисипативні структури. Математична теорія надійності, що вивчає поведінку екосистеми в межах і за межами особливих точок, в екології використовується вкрай рідко, хоча є чимало подібних досліджень у біофізиці та біології.

З позицій екологічної безпеки завдання дослідження надійності екосистем полягає в тому, щоб побачити, яким чином її складові елементи функціонують у взаємодії з іншими частинами і з яких причин можуть статися зворотні або незворотні зміни, що загрожують негативними наслідками для навколишнього природного середовища.

Вибір напрямку зміни станів екосистем здійснюється з урахуванням обмеженої кількості альтернатив, задля збереження стійкості й стабільності. Найчастіше необхідність вибору альтернативного стану виникає під час виходу екосистеми на так званий режим функціонування «із загостренням», який може завершуватися виникненням природних аварій, криз і катастроф.

Кризу в екосистемах слід розглядати як явище, яке свідчить про необхідність адаптації екосистеми до зовнішніх або внутрішніх умов, що помітно змінилися. Криза характеризується збереженням найважливіших характеристик екосистем і незначним збитком. Однак появу криз слід розцінювати як свідчення необхідності певного оновлення екосистеми.

На відміну від кризи, виникнення катастрофи в екосистемі зазвичай супроводжується значною і досить різкою зміною інтегральних показників екосистеми внаслідок перетворення й докорінної перебудови її морфології та структури.

Радикальніші зміни зазвичай призводять до руйнування екосистем, спостерігаються під час катаклізмів. Їх прояв рівносильний краху, тобто більшість екосистем припиняють існування.

Зміну станів екосистем можна розглядати на прикладі наслідків природних катаклізмів. Їх функціонування зазвичай характеризується такими показниками, як: гомеостаз або гомеокінезіс, що являють собою динамічну рівновагу; різного виду збурені стани, викликані появою несприятливих, небезпечних, критичних або катастрофічних станів.

Будь-якій екологічній системі притаманний стійкий стан, гомеостаз, що характеризується динамічною рівновагою між народжуваністю і смертністю, споживанням і розщепленням речовини й енергії.

Водночас будь-яка екосистема входить у ієрархію систем і тому підпадає під зовнішні впливи, що прагнуть вивести її з рівноваги. Якщо цей вплив не надто сильний, то порушені зв'язки замінюються іншими, а процес передачі речовини та енергії продовжується. Таке явище можна називати екологічним дублюванням.

Екологічне дублювання – процес заміни зниклого з будь-яких причин виду іншим видом, який займає його екологічну нішу. Так екосистеми чинять опір впливам, що порушують їх стабільність.

Екосистема тим безпечніша, чим більше видове різноманіття вона має. Це забезпечує широкі можливості для екологічного дублювання. Під впливом

зовнішніх і внутрішніх чинників в екосистемах можуть відбуватися постійні зміни. Деякі види екосистем, відчуваючи негативні впливи, знижують свою чисельність, а іноді зовсім зникають. Інші види можуть від цього виграти, і їх чисельність зростатиме, тобто відбуватиметься витіснення одних видів іншими. Процеси послідовних змін стану екосистем у просторі або в часі, що супроводжуються зміною станів і властивостей всіх її компонентів, називають сукцесією.

Здатність екосистеми до повного самовідновлення і саморегулювання протягом сукцесійного або еволюційного часу її існування називають екологічною надійністю. Найпростішим механізмом підтримки екологічної надійності екосистеми є заміна виду, який зник з будь-яких причин, іншим екологічно близьким. При глибшому порушенні заміни відбуватимуться на рівні угруповань різного рівня аж до біогеоценозів.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Молчанов А.М. Об устойчивости экосистем / А.М. Молчанов // Всесторонний анализ окружающей природной среды. – Л.: Гидрометеониздат, 1976. – С. 212–229.
2. Ракита С.А. Устойчивость геосистем: подходы к практически реализуемой оценке / С.А. Ракита // География и природные ресурсы. – 1980. – № 1. – С. 136–142.
3. Оценка состояния и устойчивости экосистем. – М. Институт охраны природы и заповедного дела, 1992. – 125 с.
4. Заика В.Е. Устойчивость экосистем / В.Е. Заика // Морський екологічний журнал. – 2007. – Т. 6, № 3. – С. 27–32.
5. Экосистемы в критических состояниях / Под ред. Ю.Г. Пузаченко. – М.: Наука, 1989. – 214 с.
6. Гродзинський М.Д. Стійкість геосистем до антропогенних навантажень / М.Д. Гродзинський. – К.: Лікей, 1995. – 233 с.
7. Матвеева І.В. Стійкість екосистем до радіаційних навантажень / І.В. Матвеева, С.І. Азаров, Ю.О. Кутлахмедов, О.В. Харламова. – К.: НАУ, 2016. – 396 с.
8. Светлосанов В.А. Экосистемы: устойчивость, риск, хаос / В.А. Светлосанов, В.Н. Кудин, А.Н. Куликов // Изменение природной среды на рубеже тысячелетий : тр. Международной электронной конференции. – Тбилиси–Москва, 2006. – С. 161–164.

Стаття надійшла до редакції 03.10.2017

УДК 69.05:699.8

Д.О. ЧЕРНИШЕВ

СУЧАСНІ ЗАСОБИ ПРОСТОРОВО-ТЕРИТОРІАЛЬНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ЕКОСИСТЕМ ІНЖЕНЕРНОГО ЗАХИСТУ

Анотація. *Стаття присвячена розв'язанню актуального науково-прикладного проблемного питання – пошуку організаційно-технологічних рішень біосферосумісного будівництва на прикладі інженерного захисту територій морського та річкового узбережжя в Україні.*

Захист берегів від розмиву і пов'язаного з ним зсувного руйнування берегових територій – найгостріша соціально-економічна та екологічна проблема, що стримує освоєння рекреаційних та інших ресурсів прибережної смуги.

Основними причинами недосконалості діяльності в галузі захисту прибережних територій є: здійснення робіт щодо захисту морського та річкового узбережжя без достатнього наукового обґрунтування; недостатнє врахування закономірностей природних процесів у прибережній смузі моря, водосховищ та річок при формуванні складу проектних рішень; некомплексність ведення робіт та незавершеність формування берегозахисних та берегорегулюючих споруд у локальні комплекси, що повністю охоплюють берегові природні системи, в яких існує високий рівень взаємозв'язків природних процесів, що не забезпечувало їх проектну ефективність.

При розгляді геодинамічних процесів з мінливими в часі вірогідними змінами станів (для вирішення задачі зі стабілізації ділянки зсувонебезпечної території із складним рельєфом) були використані програмні комплекси. В основу розрахунку цих програмних комплексів покладений метод скінченних елементів. Цей метод орієнтований на дослідження ортогональних функціональних базисів у просторах функцій з обмеженою енергією, що відповідає фізичності одержуваних результатів з одного боку і сприяє появі спеціального виразу, що описує геологічні явища на кінцевому проміжку часу.

Ключові слова: технологічні процеси, біосферосумісність, організаційно-технологічні рішення, будівельне виробництво.

Вступ

Морське узбережжя Чорного і Азовського морів займає значну частину південного кордону України. Воно охоплює п'ять адміністративних одиниць – Донецьку, Запорізьку, Херсонську, Миколаївську та Одеську області, а також Автономну Республіку Крим. Загальна довжина берегової лінії перевищує 3000 км. Окрім цього, значну частину території займають береги штучних морів: Київського, Канівського, Кременчуцького, Дніпродзержинського, Каховського водосховищ.

Одним з основних природних факторів, що формують берегову зону, є дія хвиль. Результатом такого впливу є абразія берегів (механічне руйнування берегів в результаті дії хвиль і прибою), що призводить до поширення небезпечних геологічних процесів уздовж усього узбережжя. Слід додати значний вплив наносів і виносів сезонними течіями, що призводить до тотального зменшення пляжів і, таким чином, підсилює дію хвиль на стабільність прибережних територій. Таким чином, понад 100 га землі

втрачається для різного використання щороку. Це призводить до зменшення територій для містобудування і розвитку туризму, має згубний вплив на берегову екосистему.

Аналіз вітчизняних та закордонних літературних джерел показує, що на сучасному етапі розвитку науки і техніки недостатньо мати лише кількісну оцінку процесу деформування (напружено-деформованого стану) ґрунтового масиву, а треба ще мати якісний прогноз розвитку небезпечних геодинамічних процесів. Крім цього, особлива увага приділяється застосуванню екологічних систем інженерного захисту прибережних територій шляхом використання конструкцій та превентивних заходів із забезпечення стабільності узбережжя.

Аналіз останніх джерел досліджень і публікацій

Останнім часом з'явилися спроби, в яких фігурує нове поняття – біосферосумісності будівництва. Автори науково-технічних розробок і реальних проєктів, а саме О.А. Тугай [1], Д.А. Крамер [2], Д.Б. Одліс [3], Т.Ю. Бистрова [4], О.В. Демідова [5], В.В. Савйовський [6], І.П. Бойко [7] та інші під біосферосумісністю розуміють локальне ліквідування наслідків попередніх забруднень з одночасною зміною призначення об'єктів – реконструкцію або глибоку модернізацію наявних об'єктів промислового та цивільного призначення, міської забудови. У таких умовах особливої актуальності набувають інноваційні механізми управління будівельними проєктами та програмами, які базуються на модернізації інвестиційно-будівельного циклу та системи організації будівництва на принципах біосферної сумісності.

Виділення не розв'язаних раніше частин загальної проблеми

Впровадження вимог міжнародного стандарту версії ISO 14001:2015 на основі структурованих і саморегульованих процесів системи екологічного менеджменту сприяє забезпеченню превентивного попередження негативних наслідків техногенного впливу на навколишнє середовище. На відміну від підходу щодо ліквідування наслідків попередніх забруднень з одночасною зміною призначення об'єктів, у даному дослідженні під застосуванням принципів біосферосумісного будівництва розуміється цілеспрямоване оздоровлення будівельного виробництва, що виключає причини його негативного впливу на навколишнє середовище в проєктах інженерного захисту прибережних територій та ґрунтується на використанні екологічних систем інженерного захисту із застосуванням природних матеріалів та врахуванням закономірностей природних процесів у прибережній смузі при формуванні складу проєктних рішень.

Мета статті – розробка інноваційної платформи застосування екосистем інженерного захисту територій морського та річкового узбережжя (як взаємодії конструкцій захисту від дії геодинамічних процесів з ґрунтовим масивом) на принципах біосферосумісності.

Досягнення даної мети потребує пошуку організаційно-технологічного рішення, що ґрунтується на використанні екологічних систем інженерного захисту із застосуванням природних матеріалів, заглиблених підводних споруд, які гасять енергію хвиль, захищають прибережну смугу та довкілля.

Виклад основного матеріалу

З позиції біосферосумісності будівництва екосистем інженерного захисту територій основна увага в таких проектах повинна приділятися глобальному впливу будівельної продукції на навколишнє середовище. В якості основної техногенної одиниці приймається готовий будівельний об'єкт, для якого визначається кінцева безліч факторів, що мають істотний вплив на екосистему.

Берегозахисні споруди включаються до комплексу заходів щодо раціонального використання і охорони берегів, які об'єднуються терміном „заходи щодо інженерного захисту берегів і прибережних територій від шкідливої дії вод водосховищ”. Реалізація цього комплексу заходів на територіях населених пунктів і господарських об'єктів відноситься до „інженерної підготовки території”. Вона мінімізує прояви берегового процесу (транзитні течії води і потоки наносів, стоячі хвилі, розмив дна на відмілинах і акумуляцію наносів) або сприяє перетворенню абразійного чи ерозійного берега в аналог денудаційного берега в скельних породах.

Поза межами населених пунктів і господарських об'єктів берегозахисні заходи на водосховищах обмежуються, як правило, адміністративно-організаційними (регулювання режиму використання прибережних територій) і агро-лісотехнічними (залуження і заліснення прибережних територій, біологічне кріплення схилів і відмілин). Інженерний захист берегів і прибережних територій при цьому виконується лише в особливих випадках (захист цінних лісових і земельних угідь, пам'яток природи, рекреаційних об'єктів тощо).

Зсувні процеси можливо прогнозувати. Для цього необхідні ретельні інженерні, геологічні і гідрологічні дослідження. Для прогнозу виникнення зсувів необхідно враховувати наступні умови: наявність схилу та достатньої маси порід, яка має тангенціальний напрямок до поверхні.

На сьогодні існує декілька методів прогнозу зсувів:

- довгостроковий (на роки),
- короткостроковий (на місяці, тижні),
- терміновий (на години).

Для здійснення довгострокового прогнозу використовується метод ритмічності, який базується на врахуванні випадання опадів та інших метеорологічних елементів.

Короткостроковий і терміновий прогнози базуються на використанні геодинамічних вимірів і побудові на їх основі прогнозної моделі зсувного процесу методом регресивного аналізу, при цьому враховується стійкість схилу, яка визначається відношенням сил удержання і сил зсуву.

Більшій частині потенційних зсувів можна запобігти, якщо своєчасно вжити заходів у початковій стадії їхнього розвитку.

Так, підвищення урізу води в р. Дніпро у верхніх б'єфах кожного з водосховищ призвело до різкого і значного підняття відповідних місцевих базисів ерозії. Утворилась нова берегова лінія загальною протяжністю близько 3,5 тис. км. Третина периметру нового урізу води у водосховищах зазнає активного руйнування денудаційними, особливо абразійними і ерозійними процесами, і потребує захисту [8].

Населені пункти і господарські об'єкти, розташовані вздовж берегової лінії водосховищ, після наповнення кожного з них потрапляють в зони активізації

негативних процесів і явищ. Ці зони відносяться до територій з особливим режимом користування. В юридичній і технічній літературі вони отримали назву «зон заборони чи обмеження нового капітального будівництва», «зон виносу будівель і обов'язкового переселення населення». Користування такими територіями можливе лише за умови ліквідації або обмеження несприятливих процесів у береговій зоні водосховищ чи планового управління ними. Особливо актуальні ці питання в межах населених пунктів [9, с. 26].

Берегові зони водосховищ в межах міст захищають від шкідливої дії вод (затоплення, підтоплення, руйнування прибережних земель). Найбільш капітальними (а отже, і найдорожчими) берегозахисними спорудами є укріплення типу вертикальних укисних і ступінчатих набережних, причальних і підпірних стінок, дамб обвалування з дренажами тощо.

Сучасний рівень розгляду таких проблем передбачає комп'ютерне моделювання процесів взаємодії у системі «основа – конструкції інженерного захисту» узбережжя морів та берегів річок. Значні успіхи, досягнуті останнім часом в гідродинаміці, пов'язані в першу чергу з розвитком методів математичного моделювання. Сучасне математичне моделювання кожного фізичного процесу передбачає вирішення кількох завдань:

- 1) формулювання математичної моделі конкретного фізичного процесу (або групи процесів);
- 2) формулювання алгоритму вирішення цього завдання;
- 3) відображення чисельного алгоритму на архітектуру обчислювальної системи, що використовується для розрахунків.

Всі зазначені завдання тісно пов'язані між собою. Перш ніж досліджувати математичними методами будь-які природні процеси, необхідно виділити ті основні принципи і визначальні моменти, які дозволяють досить задовільно і просто описати в кількісному і якісному відношеннях їх перебіг, тобто створити модель. Дійсна будова ґрунтової основи набагато складніша, ніж ті прості об'єкти, які доступні для дослідження методами сучасної теорії. Гідродинамічні явища описуються рівняннями, заснованими на законах збереження маси і кількості руху, рівняннями стану та законами термодинаміки. Всі ці рівняння є наближеними.

Вирішення низки завдань для випадкових процесів будь-якого виду представляє великі труднощі. При розгляді геодинамічних процесів з мінливими в часі вірогідними змінами станів можна вказати конкретний метод дослідження – прямий динамічний метод. Цей метод орієнтований на дослідження ортогональних функціональних базисів у просторах функцій з обмеженою енергією, що відповідає фізичності одержуваних результатів з одного боку і сприяє появі спеціального виразу, що описує геологічні явища на кінцевому проміжку часу. Природа одержуваних співвідношень така, що в якості носіїв інформації про процеси використовуються матричні представлення лінійних операторів. У цих випадках стає можливим залучення процедур чисельного моделювання, що допускають реалізацію на рівні сучасних комп'ютерних програм. Особливий інтерес викликає той ряд обставин, який пов'язаний з ослабленням часових залежностей моделей, які в області операторних уявлень зводяться до параметричних зв'язків. Таким чином досягається не тільки можливість вирішення завдань з більш великого класу, але і можливість накопичення інформації, що особливо важливо для геологічних додатків.

Для вирішення задачі зі стабілізації ділянки зсувонебезпечної території із складним рельєфом були використані програмні комплекси. В основу розрахунку цих програмних комплексів покладений метод скінченних елементів. Усі розрахунки були виконані в плоскій постановці.

При виконанні чисельного моделювання в плоскій постановці дуже важливим є коректне введення жорсткості ряду паль підірної стіни, так як програма не враховує наявності паль та проміжки між ними, а сприймає конструкцію підірної стіни як суцільну.

Жорсткість кожного ряду паль приведена до жорсткості суцільної залізобетонної конструкції прямокутного перерізу з постійною приведеною шириною b^* . Приведена на 1 п.м. підірної стінки площа паль складає:

$$A^* = A / k ,$$

де: A – площа однієї палі, k – крок паль в ряду.

Приведений модуль деформації ґрунтобетонного масиву:

$$E^* = \frac{E \cdot \pi \cdot d}{\sqrt{12} \cdot k} . \quad (1)$$

Тут: E – модуль деформації бетону, d – діаметр палі.

Вираз для визначення приведенного модуля ґрунтобетонного масиву визначений за умови, що модуль деформації ґрунту, в якому розташовані палі, дорівнює 0. Тобто, у зв'язку з відносно незначним значенням модуля деформації ґрунту, у порівнянні з модулем бетону, його значенням нехтується в запас міцності. Із врахуванням значення приведенного модуля деформації та приведенної площі, після всіх математичних перетворень приведена ширина перерізу $b^* = \sqrt[3]{(3/4 \cdot d)}$.

Звідси приведена жорсткість на згин, що вводиться у програмний комплекс, складає:

$$EI = \frac{E^* \cdot b^{*3}}{12} . \quad (2)$$

Та приведена жорсткість на осьовий стиск:

$$EA = E^* \cdot b^* \cdot 1 . \quad (3)$$

Значення, отримані у виразах (2) та (3), використовуються в якості жорсткісних характеристик самої конструкції підірних стін, і, як наслідок, від них значною мірою залежить величина переміщення голови палі.

Для отримання коректних результатів при розрахунку підірних стін обов'язковим є врахування поетапності зведення споруди.

Задача була поставлена в нелінійній постановці. Розрахунок проводився з врахуванням як фізичної, так і конструктивної нелінійності. Конструктивна нелінійність реалізована за рахунок моделювання поетапного зведення утримуючих конструкцій та поступової розробки та планування ґрунту. На

першому етапі введення розрахункової схеми у програмний комплекс змодельовано ґрунтовий масив з врахуванням похилого нашарування ґрунтів.

Ділянка являє собою майданчик у підніжжі схилу із абсолютними відмітками поверхні землі, що коливаються від 110,00 до 132,50 м. На даній ділянці будівництва планується спорудження житлово-офісного комплексу з центром дозвілля та торгівлі, спортивно-оздоровчими приміщеннями та паркінгом. З метою збільшення площі житлово-офісного комплексу для нового будівництва необхідно виконати підрізку зсувонебезпечного схилу та забезпечити його стійкість. При проектуванні передбачено рішення двох'ярусної підпірної стіни та буде влаштоване заглиблене приміщення підземного паркінгу.

Для зменшення вартості робіт та скорочення терміну будівництва захисних утримуючих конструкцій розроблено та проаналізовано два варіанти конструкцій підпірних стін.

В першому варіанті було запроєктоване рішення двох'ярусної підпірної стіни, що складається з верхньої та нижньої підпірних стін. Верхня підпірна стінка ПС-1 виконана з бурунабивних паль діаметром 820 мм, що розташовані у 2 ряди в шаховому порядку та жорстко з'єднані між собою залізобетонним ростверком. Таким чином, на розрахунковій схемі отримуємо рамну конструкцію. Крок паль в ряді – 1 м, крок між рядами паль – 1,2 м, довжина паль складає 30 м. Висота ростверку складає 1200 мм. Розробка котловану здійснюється з відмітки 129,80 до відмітки 115,80, що створює перепад 14,0 м.

Нижня підпірна стіна ПС-2 також виконана з бурунабивних паль діаметром 820 мм, що розташовані в 1 ряд та жорстко з'єднані між собою залізобетонним ростверком. Крок паль в ряді – 1,0 м, довжина паль складає 22,5 м відповідно до рисунку 1. Палі з'єднані між собою залізобетонним ростверком висотою 800 мм. Позначка верху паль 115,33, позначка низу – 92,83. Розробка котловану на 6,85 м до позначки 109,20 (скінченно-елементна схема наведена на рис. 1).

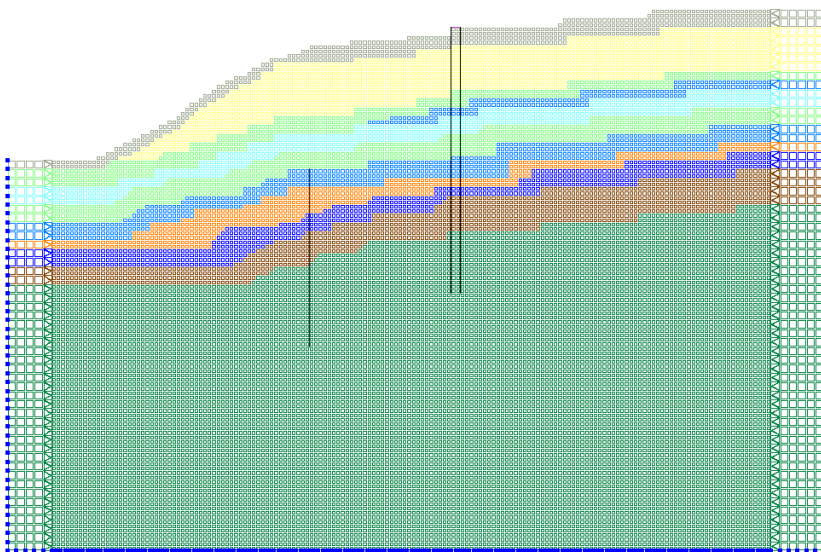


Рис. 1 – Скінченно-елементна схема утримуючих конструкцій за першим варіантом

В другому варіанті було запроєктоване рішення двох'ярусної підпірної стіни, що складається з верхньої та нижньої підпірних стін. Верхня підпірна стінка ПС-1 виконана з буронабивних паль діаметром 820 мм, що розташовані у 2 ряди в шаховому порядку із контрфорсами з паль та жорстко з'єднані між собою залізобетонним ростверком. Таким чином, на розрахунковій схемі отримаємо рамну конструкцію. Крок паль в ряді – 1 м, крок між рядами паль – 1,2 м, крок контрфорсів – 6,2 м, довжина паль складає 30 м. Висота ростверку складає 1200 мм. Розробка котловану здійснюється з відмітки 129,80 до відмітки 115,80, що створює перепад 14,0 м.

Нижня підпірна стіна ПС-2 також виконана з буронабивних паль діаметром 820 мм, що розташовані в 1 ряд із контрфорсами з паль та жорстко з'єднані між собою залізобетонним ростверком. Крок паль в ряді – 1,0 м, крок контрфорсів – 6,2 м, довжина паль складає 22,5 м відповідно до рисунку 2. Палі з'єднані між собою залізобетонним ростверком висотою 800 мм. Позначка верху паль 115,33, позначка низу – 92,83. Розробка котловану на 6,85 м до позначки 109,20 (скінченно-елементна схема наведена на рис. 2).

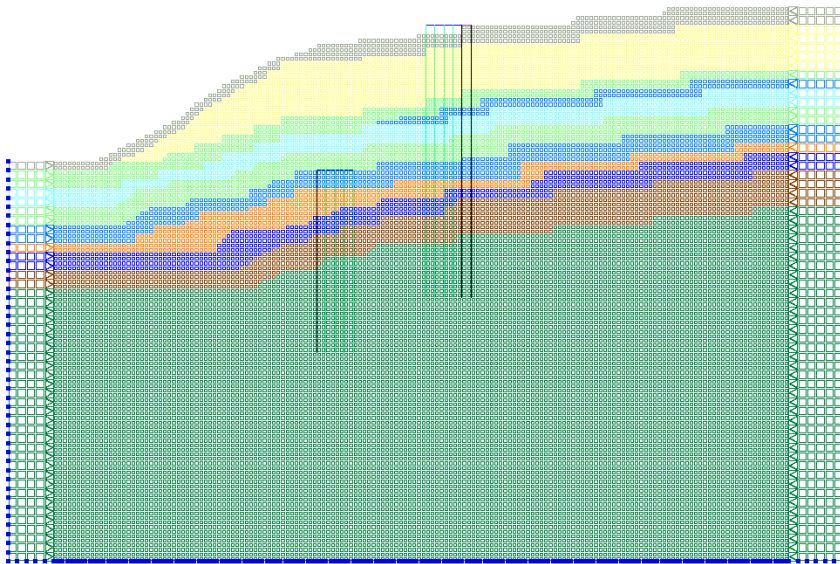


Рис. 2 – Скінченно-елементна схема утримуючих конструкцій за другим варіантом

Підпірна стіна ПС-0, що запроєктована в верхній частині схилу, не буде сприймати вертикального навантаження від підземного паркінгу, що знаходиться між підпірними стінами ПС-1 та ПС-2, а в процесі експлуатації комплексу буде виконувати функцію огороження стилізованої частини будинку.

Конструкція підпірної стіни ПС-0 виконана з буронабивних паль діаметром 420 мм, що розташовані в 1 ряд та жорстко з'єднані між собою залізобетонним ростверком. Крок паль в ряді – 0,8 м, довжина паль складає 10,0 м. Палі з'єднані між собою залізобетонним ростверком висотою 800 мм. Позначка верху паль 132,08, позначка низу – 122,08. Розробка котловану на 3,8 м до позначки 129,80.

Послідовність влаштування підпірних стін ПС-0, ПС-1, ПС-2 виконується зверху вниз з поетапним відкопуванням та плануванням схилу. Після влаштування підпірних стін влаштовуються несучі конструкції підземного паркінгу, що знаходяться між підпірними стінами ПС-1 та ПС-2. Особливістю цього інженерного рішення є те, що перекриття підземного паркінгу, з одного боку, передають навантаження через закладні деталі, які встановлені в арматурному каркасі паль підпірної стіни ПС-1, а з іншого боку, на монолітні стіни, які опираються на ростверк підпірної стіни ПС-2. Таким чином, підземний паркінг працює в складі підпірних стін та дає додаткову жорсткість конструкціям підпірних стін для забезпечення стійкості та надійності утримуючих конструкцій.

Висновки

З метою підвищення надійності захисту екосистем на узбережжях морів і річок подальші дослідження слід орієнтувати на отримання інформації про напружено-деформований стан ґрунтового масиву під дією геодинамічних процесів та технологічних впливів, яку можна отримати шляхом чисельного моделювання таких систем з використанням сучасних розрахунково-програмних комплексів (наприклад АСНД VESNA). Для реалізації поставленої мети необхідно насамперед провести ряд досліджень з виявлення впливу абразії моря на стабільність території, складеної переважно лесовими ґрунтами, які внаслідок зволоження, з одного боку, та дії моря, з іншого боку, зумовлюють деформаційні процеси у вигляді зсувів та обвалів, що свідчить про необхідність вживання превентивних заходів з метою забезпечення стабільності території.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Тугай О.А. Передумови вдосконалення організаційно-технологічних рішень ревіталізації технологічних процесів будівельного виробництва [Текст] / О.А. Тугай, А.О. Осипова // Управління розвитком складних систем. – 2017. – № 29. – С. 200–204.
2. Крамер Д.А. Европейский опыт ревитализации малых рек / Д.А. Крамер, М. Неруда, И.О. Тихонова. // Научный диалог. – 2012. – №2. – С. 112–128.
3. Быстрова Т.Ю. Парк Эмшер: принципы и приемы реабилитации промышленных территорий / Татьяна Юрьевна Быстрова. // Академический вестник УралНИИпроект РААСН. – 2014. – №2. – С. 9–14.
4. Быстрова Т.Ю. Реабилитация промышленных территорий городов: теоретические предпосылки, проектные направления (Ч. 1) / Т.Ю. Быстрова // Академический вестник УралНИИпроект РААСН. – 2013. – №3. – С. 21–24.
5. Демидова Е.В. Реабилитация промышленных территорий как части городского пространства / Е.В. Демидова // Академический вестник УралНИИпроект РААСН. – 2013. – №1. – С. 8–13.
6. Савйовський В.В. Ревіталізація – екологічна реконструкція міської забудови / В.В. Савйовський, А.П. Броневицький, О.Г. Каржинерова // Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури. – 2014. – № 8. – С. 47–52. – Режим доступу до ресурсу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vpabia_2014_8_10.
7. Бойко І.П., Арешкович О.О. Аналіз причин зсувних процесів та розробка інженерних захисних заходів з їх стабілізації // Будівельні конструкції: Міжвідомчий науково-технічний збірник. – Київ: НДІБК, 2004. – Вип. 61, том 2. – С. 279–282.

8. Дубняк С.С., Коробка А.А. Динаміка вод як абіотичний фактор функціонування прибережних зон дніпровських водоймищ та засіб управління їх станом // Тези доповідей Другого з'їзду гідроекологічного товариства України. – Київ, 2017. – Том 2. – С. 202–203.
9. Дубняк С.С. Методологія дослідження структурно-функціональних особливостей рівнинних водосховищ // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. – 2006. – Т. 10. – С. 20–35.
10. ДБН В.І.І-3-97 Інженерний захист територій, будинків і споруд від зсувів та обвалів. Основні положення / Держбуд України – К., 1998. – 40 с.

Стаття надійшла до редакції 11.09.2017

УДК 543.32/.34

В.М. ЛОБОЙЧЕНКО

ЭКСПРЕСС-ИДЕНТИФИКАЦИЯ ПРИРОДНОЙ ВОДЫ СО СТАБИЛЬНЫМ СОЛЕВЫМ СОСТАВОМ

***Аннотация.** Отмечается, что для идентификации природных вод применяются сложные и дорогие процедуры. Предложенный подход к экспресс-идентификации природных вод с постоянным солевым составом позволяет значительно упростить процесс идентификации и сократить время анализа. Получен набор характеристических параметров (K_{Id}) для ряда исследованных вод.*

***Ключевые слова:** природная вода, идентификация, электропроводность, коэффициент идентификации, стабильный солевой состав.*

Введение

Увеличение количества людей, населяющих планету, постоянно возрастающее антропогенное воздействие на окружающую среду обуславливают пристальное внимание человечества к качеству и количеству природных ресурсов, в том числе и воды.

Контроль качества природной воды предполагает использование значительного количества методов и методик [1]. Для их реализации необходимым является наличие значительного количества дорогостоящего оборудования и реактивов, что не всегда возможно в условиях стандартной лаборатории.

Для подтверждения качества воды или же ее идентификации часто используют меньшее количество показателей – pH, минерализацию, содержание анионов и катионов, ХПК, БПК и т.п., в зависимости от поставленных задач.

Известны разные подходы к идентификации воды, т.е. проверке заявленных характеристик фактическим с отнесением к определенному типу, виду, классу воды или торговой марке. Непосредственно показатели могут определяться химическими (титриметрия, гравиметрия), физико-химическими (хроматография, электрохимия, спектрофотометрия и пр.), физическими методами (ЯМР, хромато-масс-спектрометрия и пр.) [2, 3]. Критерием идентификации может выступать один из этих параметров, их совокупность, какой-либо расчетный характеристический показатель или зависимость. Экспрессность идентификации во многом определяется скоростью определения критериев идентификации, т.е. лимитируется используемыми методами и методиками и может занимать время от нескольких секунд до нескольких дней [2, 3].

Как критерии идентификации могут выступать различия в хемилуминисцентных свойствах воды поверхностной и подземной [4], в температурной зависимости коэффициента преломления [5]. Применяют хеометрические подходы [6] или анализируют большой массив данных [7] для идентификации природных вод. Предложенные варианты требуют

специальных дорогостоящих приборов [4, 5, 7] и реактивов [4, 7], сбор данных может быть продолжителен во времени [7].

Известен также достаточно простой вариант идентификации воды с определением электропроводности и коэффициента идентификации K_{Id} [8, 9], но он требует большого количества посуды и достаточно затратен по времени.

Таким образом, можно констатировать, что на сегодня нерешенной остается проблема быстрой и недорогой достоверной идентификации природной воды (ее вида, типа, торговой марки), и актуальным вопросом является поиск путей ее решения.

Цель данной работы – разработать вариант быстрой и достоверной экспресс-идентификации природной воды на примере вод со стабильным солевым составом.

Основная часть

Методы и оборудование

В работе использовали метод прямой кондуктометрии. Электропроводность анализируемых вод и разбавленных растворов на их основе измеряли кондуктометром с погрешностью измерения 1,5%. Для каждой исследуемой воды проводили серию разбавлений. Количество параллельных измерений равно трем, все расчеты проводились при доверительной вероятности $P = 95\%$.

Обсуждение результатов

Солевой состав воды является ее индивидуальной характеристикой, обуславливающей ее лечебные свойства и пригодность к использованию в качестве питьевой. Подготовленные, обработанные, искусственные минеральные воды также имеют постоянный электролитный состав. Сложные индивидуальные геохимические и геофизические условия формирования природных вод обуславливают их уникальный анионный и катионный состав [10]. Именно на этом основаны лечебные свойства ряда природных минеральных вод и возможность использования их в качестве питьевых вод. Очищенные, обработанные или искусственно изготовленные воды также характеризуются индивидуальным содержанием растворенных веществ.

Один или ряд параметров воды (электропроводность, pH, минерализация, содержание анионов и катионов и т.д.) позволяют отнести воду, например, к тому или иному виду [10, 11], типу [4], классу [12] или по торговому названию [8, 9, 13].

В последнем случае [8, 9, 13] приготовление серии растворов при идентификации водного раствора для построения зависимости в координатах «обратная электропроводность – степень разбавления» требует определенного времени (до 3 часов). Для получения метрологических характеристик определения (погрешность, среднеквадратичное отклонение и т.п.) эту операцию необходимо проводить 2–3 раза [14].

Для сокращения времени идентификации предложено реализовывать разбавление исходного раствора в одной емкости с последующим измерением электропроводности и построением зависимости «обратная электропроводность – степень разбавления» [15, 16].

Суть предложенного подхода состоит в последовательном выполнении таких операций: измерении электропроводности исходной анализируемой воды с учетом температурного коэффициента [17], последовательном разбавлении анализируемого раствора с измерением электропроводности раствора после каждого разбавления, построении зависимости в координатах «степень разведения – обратная электропроводность раствора» и расчете коэффициента идентификации как тангенса угла наклона данной зависимости. Идентификация образца воды выполняется по значению электропроводности исходного раствора и K_{Id} . Полное время проведения исследования – до 30 мин.

Пример реализации подобного подхода представлен на рис. 1. Поскольку минимизация погрешности определения K_{Id} предполагает наличие линейной зависимости в координатах «степень разведения – обратная электропроводность раствора», то для вод с небольшим содержанием солей разбавление выполняли в $n' = 1-2$ раза.

Результаты расчета K_{Id} для этих вод приведены в табл. 1.

Как видно из представленных результатов, соблюдается линейность в исследуемом диапазоне (рис. 1) и при близких значениях минерализации, т.е. суммарного солесодержания, K_{Id} значительно отличаются для исследуемых образцов воды. Во всех случаях относительное среднеквадратичное стандартное отклонение не превышает 1%.

При исследовании природных вод с более высокими значениями минерализации определение K_{Id} осложняется нелинейностью зависимости степени разведения раствора от его обратной электропроводности при небольшом разбавлении (например, в 1–2 раза).

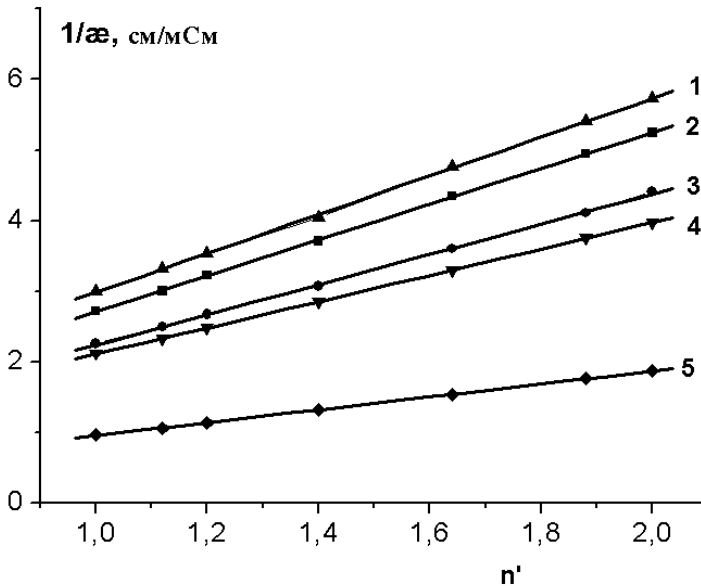


Рис. 1 – Зависимость обратной электропроводности ($1/\kappa$) от степени разбавления (n') исследуемых вод: 1 – вода «Малютко», 2 – вода «Прозрачная от природы», 3 – вода Биоло «Знаменовская», 4 – вода «Калипсо», 5 – вода «Тонус-кислород, насыщенная кислородом»

Таблица 1 – Результаты определения K_{Id} исследуемых вод с низким солесодержанием

№ п/п	Название воды	Тип воды	Общая минерализация, г/дм ³	K_{Id}	S_{KId}
1	Вода питьевая детская «Малютко»	Не указано на этикетке	0,15–0,4	2,751	0,020
2	Вода питьевая обработанная «Прозрачная от природы»	Не указано на этикетке	0,2–0,45	2,539	0,011
3	Вода минеральная природная, лечебно-столовая Биола «Знаменовская»	гидрокарбонатно-хлоридная, хлоридно-гидрокарбонатная натриевая, кремниевая натуральная	0,2–0,6	2,142	0,018
4	Вода минеральная природная столовая «Калипсо»	Гидрокарбонатная сложного катионного состава	0,3–0,8	1,865	0,009
5	Вода минеральная столовая «Тонус-кислород, насыщенная кислородом»	Не указано на этикетке	0,1–1,0	0,914	0,002

На рис. 2 представлена зависимость обратной электропроводности ($1/\kappa$) от степени разбавления (n') исследуемых вод при $n' = 2-100$. Для простоты выполнения исследования разбавление исследуемой воды выполняли путем внесения ее порций в некоторый объем растворителя (дистиллированной воды).

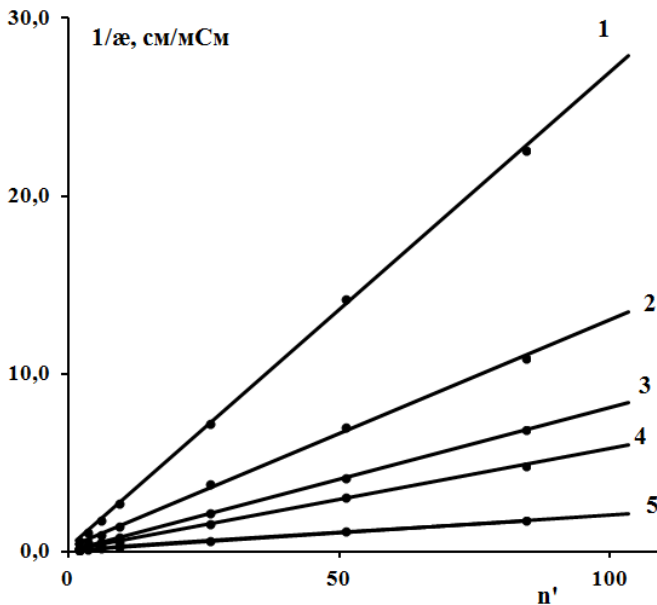


Рис. 2 – Зависимость обратной электропроводности ($1/\kappa$) от степени разбавления (n') исследуемых вод: 1 – «Нарзан», 2 – «Куяльник», 3 – «Поляна Квасова», 4 – «Ессентуки №17», 5 – «Хуныди Янош»

В исследуемом диапазоне соблюдается линейность. Результаты расчета K_{Id} для этих вод приведены в табл. 2.

Таблица 2 – Результаты определения K_{Id} исследуемых вод с повышенным солесодержанием

№ п/п	Название воды	Тип воды	Общая минерализация, г/дм ³	K_{Id}	S_{KId}
1	Нарзан	Сульфатно-гидрокарбонатная	2,0–3,0	0,268	0,003
2	Куяльник	Хлоридная	3,0–4,0	0,129	0,003
3	Поляна Квасова	Гидрокарбонатная, борная	6,5–12,0	0,080	0,0003
4	Ессентуки №17	Хлоридно-гидрокарбонатная, борная	10,0–14,0	0,057	0,0008
5	Хуныди Янош	Сульфатная	27,5	0,020	0,0004

Согласно данным табл. 2 относительное среднеквадратичное стандартное отклонение не превышает 2,5%, при этом K_{Id} значимо отличаются между собой для разных типов вод и для вод с близкими значениями минерализации.

Вышесказанное позволяет проводить идентификацию образцов природных вод со стабильным солевым составом с целью выявления фальсифицированной продукции или подтверждения ее качества. Идентификация не требует дорогостоящего оборудования, проста в исполнении и является экологически чистой.

Выводы

Для идентификации природных вод и выявления фальсификатов природной воды применяются громоздкие и дорогие процедуры.

Использование коэффициента идентификации со значением электропроводности исходного раствора позволяет идентифицировать образцы воды с постоянным солевым составом, что является научной новизной работы.

Предложенная экспресс-идентификация природных вод со стабильным солевым составом позволяет значительно упростить процесс идентификации и сократить время анализа, являясь при этом экологически чистой и информативной.

Выполнено определение K_{Id} для серии образцов природных вод, что является практической ценностью работы. Относительное среднеквадратичное стандартное отклонение во всех случаях не превышает 2,5%.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Державні санітарні норми та правила «Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною» (ДСанПін 2.2.4-171-10). Наказ Міністерства охорони здоров'я України від 12.05.2010 № 400. Режим доступу: <http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/z0452-10/print1453960711642355>.

2. Мильман Б.Л. Введение в химическую идентификацию / Б.Л. Мильман. – СПб.: ВВМ., 2008. – 180 с.
3. Основы аналитической химии. Кн. 2 : Методы химического анализа: учеб. для вузов / Ю.А. Золотов, Е.Н. Дорохова, В.И. Фадеева и др.; под ред. Ю.А. Золотова. – 3-е изд., перераб. и доп. – М: Высшая школа, 2004. – 503 с.
4. Патент на изобретение RU 2567733. Способ экспресс-определения источника и загрязненности воды / Акайзина А.Э., Акайзин Э. С., Миленина И.В., Акайзина М.А.; патентообладатель(и): Государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Ивановская государственная медицинская академия" Министерства здравоохранения Российской Федерации. Дата публикации заявки: 20.08.2015 Опубликовано: 10.11.2015 Бюл. № 31. С. 7.
5. А.Я. Кириченко. Идентификация питьевой воды природных источников Харьковского региона с использованием температурной зависимости их коэффициента преломления / А.Я. Кириченко, Г.В. Голубничая // Радіофізика та електроніка. – 2011. – Т. 2(16), №. 1. – С. 81–84.
6. F. Zhou. Chemometrics data analysis of marine water quality and source identification in Southern Hong Kong / F. Zhou, H. Guo, Y. Liu, Y.i Jiang // Marine Pollution Bulletin. – 2007. – Vol. 54, no. 6. – Pp. 745–756.
7. Ya. N. Pushkarova. Identification of water samples from different springs and rivers of Kharkiv. Comparison of methods for multivariate data analysis / Ya. N. Pushkarova, A.B. Sledzevskaya, A.V. Panteleimonov et. al. / Moscow University Chemistry Bulletin. 2013. – Vol. 68, no. 1. – Pp. 60–66.
8. Пат. 103096 Україна. МПК (2013.01) G 01 N 27/00, G 01 N 15/00, G 01 N 33/18 (2006.01). Спосіб ідентифікації водного розчину середньої та високої мінералізації / О.Є. Васюков, В.А. Андронов, В.М. Лобойченко, А.В. Дрозд, С.Ю. Шекера; заявник та патентовласник Національний університет цивільного захисту України. – № а 201200566; заявл. 18.01.2012; опубл. 10.09.2013, Бюл. № 17.
9. Пат. 89251 Україна. МПК (2014.01) G 01 N 27/00, G 01 N 15/00. Спосіб ідентифікації водного розчину / О.Є. Васюков, В.М. Лобойченко, А.І. Лозовий, С.В. Белан, А.А. Карлюк; заявник та патентовласник Національний університет цивільного захисту України. – № у 201313968; заявл. 02.12.2013; опубл. 10.04.2014, Бюл. № 7.
10. Е.В. Посохов. Формирование химического состава подземных вод (основные факторы) / Е.В. Посохов. – Издание 2-е дополненное и переработанное. Гидрометеорологическое издательство, Ленинград, 1969. – 305 с.
11. Воробьев И.И. Применение измерения электропроводности для характеристики химического состава природных вод / Воробьев И.И. – М., Изд-во АН СССР, 1963. – 141 с.
12. Методика вимірювання електропровідності водних розчинів для визначення хімічного класу фасованих мінеральних вод: звіт про НДР (підсумковий) / Харківський науково-дослідний інститут судових експертиз ім. Засл. проф. М.С. Бокаріуса; кер.: О.Є. Васюков, відпов. вик.: В.В. Сабадаш, Н.А. Решетнікова, В.М. Лобойченко. – Х., 2016. – 193 с. - Библиогр.: с. 79-85. - № держреєстрації 0115U000584. - Инв. № - 207е.
13. Екологічна оцінка мінерального складу питних вод курорту Березівські мінеральні води: звіт про НДР (підсумковий) / Національний університет цивільного захисту України; кер.: О.Є. Васюков, відпов. вик.: В.М. Лобойченко, вик.: А.А. Карлюк, М.В. Зарченко, О.О. Ляховий. – Х., 2015. – 100 с. - Библиогр.: с. 96-100. - № держреєстрації 0114U002244. - Инв. № - 319.
14. Дворкин В.И. Метрология и обеспечение качества количественного химического анализа / Дворкин В.И. – М.: Химия, 2001 г. – 263 с.
15. Пат. 101700 Україна. МПК (2015.01) G 01 N 27/00, G 01 N 15/00. Спосіб експрес-ідентифікації водних розчинів / О.Є. Васюков, В.М. Лобойченко, А.І. Лозовий, І.В. Іванов, А.А. Карлюк; заявник та патентовласник Національний університет цивільного захисту України. – № у 201503182; заявл. 06.04.2015; опубл. 25.09.2015, Бюл. № 18, 6 с.

16. Пат. 111077 Україна. МПК (2016.01) G 01 N 27/00, G 01 N 33/18 (2006.01). Спосіб експрес-ідентифікації водних розчинів середньої та високої мінералізації / В.М. Лобойченко, О.Є. Васюков, І.В. Іванов, В.В. Сабадаш; заявник та патентовласник Національний університет цивільного захисту України. – № u 201605614; заявл. 24.05.2016; опубл. 25.10.2016, Бюл. № 20. 6 с.
17. Руководство по химическому анализу поверхностных вод суши / под ред. А.Д. Семенова. — Л.: Гидрометеониздат, 1977. — 542 с.

Стаття надійшла до редакції 07.08.2017

УДК 552.517 (477.63)

А.І. СТЕЦЕНКО, С.К. КОШАРНА, В.В. ІВАНЧЕНКО

ФОРМУВАННЯ КАРБОНАТНИХ ВІДКЛАДІВ ПІД ВПЛИВОМ ІНФІЛЬТРАЦІЙ З ХВОСТОСХОВИЩА ЦГЗК (КРИВИЙ РІГ)

Анотація. Досліджені сучасні травертини Криворізького залізорудного басейну. Порооди утворюють горизонтальні верстви та лінзи потужністю від кількох сантиметрів до 0,5 м. Колір травертину білий, світло-сірий, рідше зеленкуватий, блідо-рожевий. Текстура шарувата пориста. Структура дрібнозерниста, приховано кристалічна. Головним породоутворюючим мінералом є кальцит (арагоніт). Другорядне значення мають кварц, біотит, гетит (лимоніт). Карбонат утворює натічні сфероїдальні агрегати, кірки, плівки. Хімічний склад травертину: CaO (48,73%), SiO₂ (4,44%), MgO (0,56%), FeO (1,07%), Fe₂O₃ (0,96%), MnO (0,5%). Втрати при прожарюванні 43,24%. Емісійним спектральним аналізом встановлено незначний вміст (2–10 мг/кг) Ni, Cr, Cu, Pb і V. Досліджені травертини приурочені до джерел у фундаменті дамби хвостосховища гірничо-збагачувального комбінату. У їх утворенні беруть участь і природні, і техногенні процеси. Зміна обстановки в місцях розвантаження води подібна до умов утворення природного травертину. Техногенно-природні травертини Криворіжжя мають високі тепло- та звукоізоляційні властивості, задовільний декоративний вигляд та дуже низький, до повної відсутності, вміст важких металів. Вони можуть знайти використання у будівництві та виробництві екологічно чистих матеріалів іншого призначення.

Ключові слова: травертини, мінеральний і хімічний склад, природні та техногенні процеси утворення, можливості використання.

Вступ

На території Криворізького басейну розташована велика кількість гірничих підприємств, з діяльністю яких пов'язані значні зміни довкілля. Особливо навантаженими є ділянки геологічного середовища, наближені до хвостосховищ, відстійників, шламосховищ та інших накопичувачів подрібнених та зволжених промислових відходів. З них у водоносні горизонти та поверхневі природні водотоки інфільтрується технологічна вода, насичена легкорозчинними солями. Дослідження пов'язаних з ними мінеральних новоутворень мають важливе значення, оскільки дозволяють прогнозувати розвиток природно-техногенних процесів у навколишньому середовищі.

Одним з новоутворених об'єктів гірничої промисловості є хвостосховище ПРАТ «Центральний гірничо-збагачувальний комбінат» (ЦГЗК). Воно розташоване у тальвегах балок Велика та Мала Лозуватка, в центрально-західній частині Кривого Рогу на відмітках 95–115 м над рівнем моря. До хвостосховища скидаються відходи збагачення магнетитових кварцитів ЦГЗК у вигляді пісків та високомінералізованих стічних вод. Щорічні надходження пісків становлять 7,8 млн тонн із вмістом магнітного заліза близько 7,0% [13]. Важка фракція відходів накопичується у картах наміву хвостосховища, а відносно очищена вода частково повертається до ставка оборотної води

шламосховища, звідки знову забирається для потреб збагачувальної фабрики. Повернення води забезпечується шляхом стікання її до дренажних систем, розташованих по периметру хвостосховища (рис. 1).

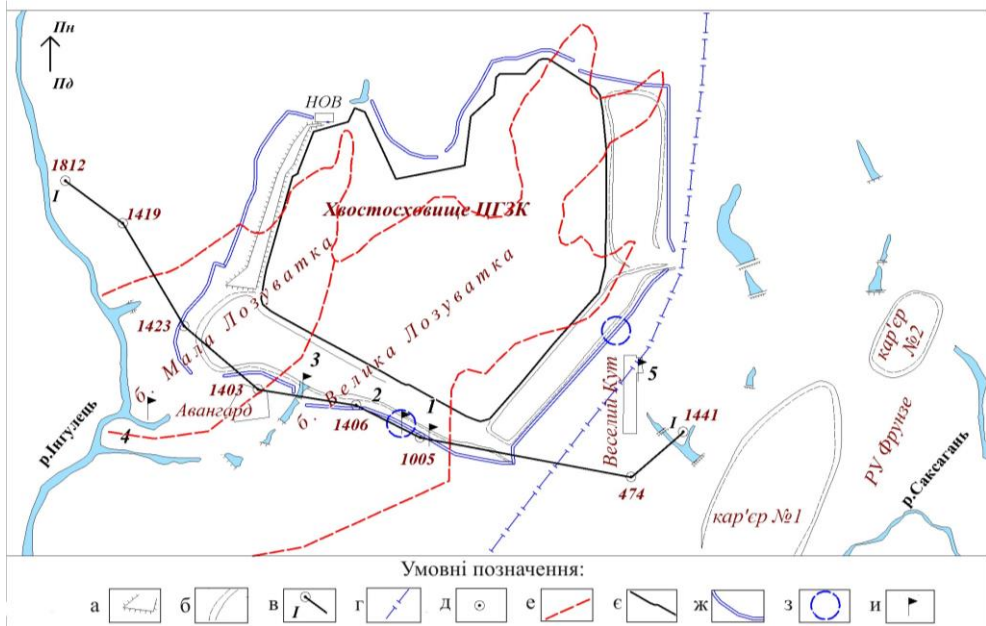


Рис. 1 – Карта-схема району досліджень: а – дамба хвостосховища ПРАТ «ЦГЗК»; б – контури упорних призм; в – лінія геологічного розрізу I-I (рис. 2); г – лінія водорозділу; д – гідроспостережні свердловини; е – контури балок; є – контур хвостосховища; ж – дренажна система хвостосховища; з – місця виходу джерел високомінералізованої води; и – місця відбору проб, 1-5 – номери проб

Втрата води внаслідок випаровування з поверхні дзеркала хвостосховища, дренажу через упорні призми (дамби) і до водоносних горизонтів змушує підприємство постійно поповнювати запаси води із річки Інгулець, біля с. Авангард. По периметру хвостосховища утворилися штучні джерела, через які високомінералізована вода дренає з-під дамби хвостосховища у напрямку річки Інгулець, промислових об'єктів та населених пунктів Криворізького району (рис. 1). Насичені штучні розчини-водотоки поширюються у навколишньому середовищі, дренають товщу палеоген-неогенових осадових порід і змінюють їх природний стан [7]. Безпосередньо у місцях витoku їх із-під дамби хвостосховища автори встановили поклади травертину. Нижче наведена характеристика даних утворень техногенно-природного походження.

Мета роботи: визначити мінералого-літологічні та генетичні особливості травертину, утвореного внаслідок витoku високомінералізованої води з хвостосховищ гірничо-збагачувальних комбінатів.

Завдання: встановити мінеральний склад, генетичні ознаки та морфологічні особливості проявів гіпергенного мінерало- та літогенезу, на прикладі хвостосховища ЦГЗК, дослідити вплив техногенних водойм на сучасне геологічне середовище.

Об'єкти: природно-техногенні травертини, пов'язані з джерелами виходу високомінералізованої води у навколишнє середовище в районі хвостосховища ЦГЗК.

Методи дослідження: польові роботи, оптична і растрова електронна мікроскопія (РЕМ), мікрозондовий аналіз (МА), хімічні та спектральні аналізи.

Геологічний нарис району досліджень

Криворізький басейн є складною структурою, що простягнулася в близькому до меридіонального напрямку більш ніж на 100 км. Максимальна ширина смуги метаморфічних порід на широті Первомайського родовища залізистих кварцитів складає 11 км, мінімальна – в центральній частині Лихманівської залізородної смуги – близько 200 м [1].

Вік метаморфічних порід Криворізького басейну ранньо-середньо протерозойський – 2700–2100 млн років [2]. Смугу метаморфічних порід із заходу та сходу обрамляють масиви гранітів, гнейсів та мігматитів архейського віку (близько 3000 млн років) [8].

Докембрійські утворення перекриті осадовими породами кайнозойського віку. Залягання їх верств близьке до горизонтального. Потужність осадового чохла в різних районах Кривбасу змінюється від декількох метрів до 120 метрів [3]. У районі досліджень осадовий чохол представлений відкладами палеогенової, неогенової та четвертинної систем від верхнього міоцену (N_{12b}) до голоцену (Q_2) (рис. 2, табл. 1) [4].

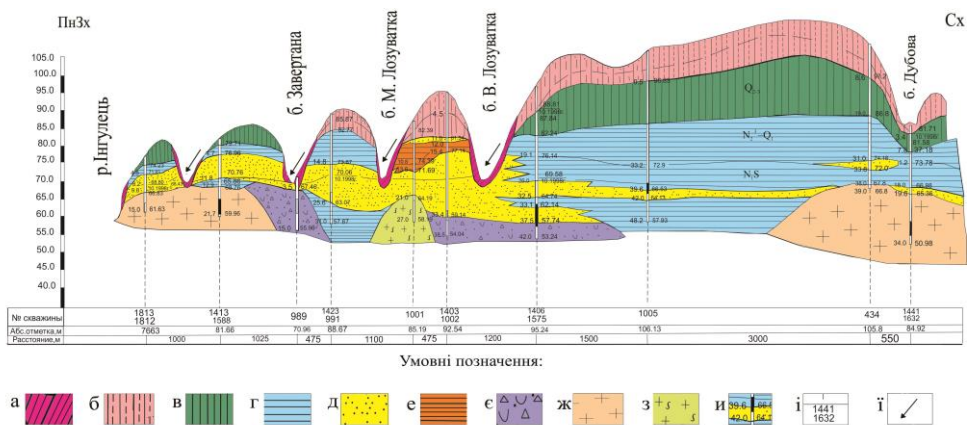


Рис. 2 – Геологічний розріз осадового чохла по лінії I-I (рис. 1) (за Є.І. Варьохом, з доповненнями); а – ґрунтово-рослинний шар; б – суглинки лесоподібні жовто-бурі, палеві з прошарками реліктових ґрунтів; в – суглинки червоно-бурі; г – глини сірі, зеленувато- та блакитно-сірі; д – піски; е – глини червоно-бурі; є – кора вивітрювання кристалічних порід докембрію; ж – жильні апліто-пегматоїдні граніти; з – плагіограніт-мігматити; и – свердловини; і – номери свердловин; ї – місця утворення техногенно-природного травертину

Результати і обговорення

На вивченій території встановлені джерела виходу техногенної води із-під упорних призм хвостосховища ЦГЗК. Прориви води мають періодичний характер і пов’язані з перенасиченням хвостів збагачення ЦГЗК водою під впливом атмосферних опадів. Під час водонасичення в даних ділянках утворюються водні потоки з підвищеною гідрокарбонатною мінералізацією.

В тальвегах балок навколо хвостосховища ЦГЗК автори виявили поклади травертину, що залягають на розмитій поверхні четвертинних лесоподібних суглинків з прошарками чорнозему. Вапняки утворюють субгоризонтальні верстви та лінзи потужністю від кількох сантиметрів до 0,5 м (рис. 3). Вони суттєво відрізняються від карбонатних осадових порід сарматського віку у відслоненнях балок Велика та Мала Лозуватка і не пов’язані з їх перевідкладенням.

Таблиця 1 – Стратиграфічна колонка до розрізу І-І (рис. 2)
(за В.А. Захаровим, з доповненнями)

Загальна стратиграфічна шкала						Регіональна стратиграфічна шкала			Стратиграфічні підрозділи				
Епоха	Ера	Система	Відділ	Підвідділ	Ярус	Регіони (горизонти)	Підрегіони	Висхідні індекси	Літологічний склад	Потужність, м	Характеристика стратиграфічних підрозділів		
ФАНЕРОЗОЙСЬКА	КАЙНОЗОЙСЬКА	ЧЕТВЕРТИНА	ГОЛОЦЕН							0,5	Травертини білі, жовто-сірі		
										1	Грунтово-рослинний шар		
										10	Суглинки лесо-подібні жовто-бурі, палеві з прошарками реліктових ґрунтів		
										10	Суглинки червоно-бурі		
										30	Товща червоно-бурих глин		
		НЕОГЕНОВА	ПЛЕЙСТОЦЕН	Верхній				Сарматський				9	Товща алувіальних пісків. Піски цегляно-червоні з лінзами і прошарками мулистих глин
												20	Гелісові верстви. Мергелі і вапняки, рідко піски, глини. В основі розрізу з прошарками та лінзами пісків різнозернистих.
												15	Товща вапняків і мергелів. В основі розрізу розвинуті піски глинисті і глини.
												15	Збручські верстви. Перешарування пісків і глин, рідко зустрічаються мергелі, дегритові вапняки.
МІОЦЕНОВИЙ	ВЕРХНІЙ			Нижній									
Середньопридніпровський район УЩ													
Криворізько-Кременчуцький УФЗ													
Протерозой		Pr	gl		0-700	Глеюватська світа. Сланці біотитові, гранат-біотитові, актиноліт-біотитові, інколи з графітом. Прошарки металевролітів, метапісковиків та метаконгломератів.							

Поверхня верств травертину має вигляд субгоризонтальних площадок, терас та напливів, що спускаються каскадом в напрямку гирла балок. Мінерали, з яких складається порода, утворюють лускоподібні, таблитчасті агрегати, щітки, кірки і вицвіти на поверхні порід, з яких побудована дамба. Відклади травертину в ділянках максимального розвитку (на відстані 5–15 м від джерел мінералізованої води) сягають в ширину близько 4–4,5 м. Далі вони простежуються по водотоках і затухають через 30–50 м, де потужність шару зменшується до 2–3 см (рис. 3).



а



б

Рис. 3 – Субгоризонтальні відклади природно-техногенного травертину у тальвезі балки Велика Лозуватка (а) та сформовані ними ступінчаті форми мікрорельєфу (б)

Макроскопічно порода біла, світло-сіра, рідше зеленкувата та блідо-рожева. Текстура грубо-шарувата, лускувата, пориста. Структура дрібнозерниста, прихованокристалічна (рис. 4а). Місцями травертин утворює пухку землисту або грудкувату масу незцементованих часточок всередині пачок щільної будови або на їх поверхні. У формуванні відслонень беруть участь різновеликі уламки залізистих кварцитів зі схилів упорної призми хвостосховища та велика кількість рослинних залишків, покритих кірками, щітками та вицвітами хемотронних карбонатів (рис. 4б). Карбонатний склад агрегатів підтверджує бурхлива реакція з розчином HCl.



а



б

Рис. 4 – Техногенно-природні карбонатні новоутворення: а – малопотужні верстви травертину, частково забарвлені гідроксидами заліза, без збільшення; (б) – кірка карбонатів на глибі залізистого кварциту. Тальвезь балки у підніжжі упорної призми хвостосховища ПРАТ ЦГЗК

Під мікроскопом порода має білий з коричневим відтінком колір, шарувата, місцями плямиста з великою кількістю пустот (рис. 5). Шаруватість зумовлена тонким чергуванням мікроверств прихованокристалічного карбонату, глинистих мінералів та гетиту. Ділянками породоутворюючі мінерали утворюють концентрично-зональні натічні агрегати.

Мінеральний склад: головним породоутворюючим мінералом травертину являється кальцит (можливо арагоніт), вторинні мінерали – кварц, біотит, гетит, акцесорні – рутит, магнетит, мартит, хлорит. Реліктові уламки

вміщуючих порід представлені зернами залізистих кварцитів, жильного кварцу, гранітів тощо.



Рис. 5 – Травертин під мікроскопом: а – мікросаруватий; б – концентрично-зональний з великою кількістю пустот. Прозорий шліф, ніколі паралельні, збільшення $25^{\times}$

Карбонати молочно-білі, рожеві, жовто-коричневі від домішків гетиту, зустрічаються незабарвлені виділення. Кристали спостерігаються рідко. Основна форма агрегатів – сфероїд. Скупчення сфероїдів утворюють натічні форми (рис. 6а) та кірки, щітки і плівки (рис. 6б).

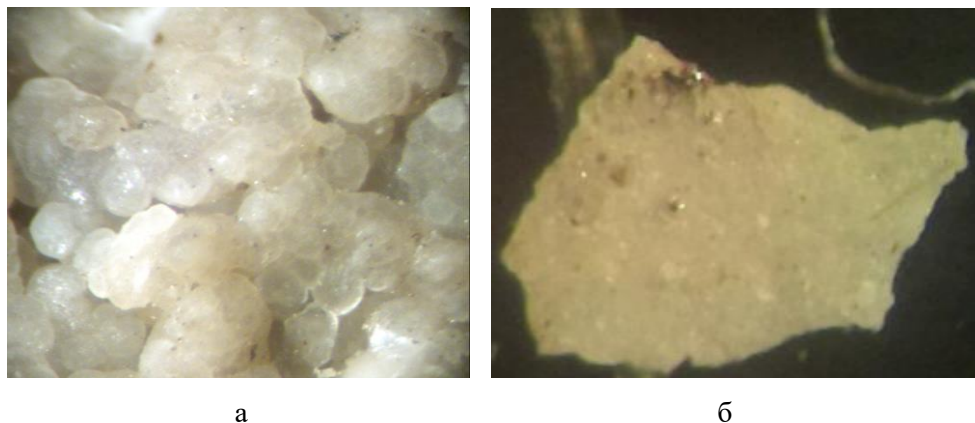
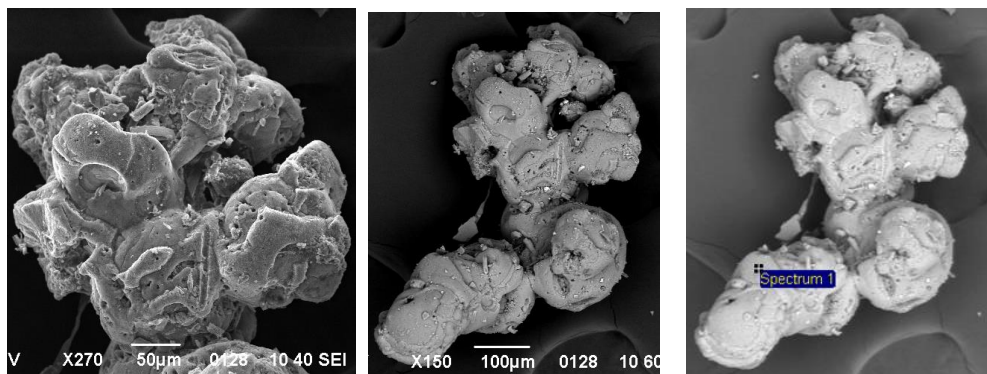


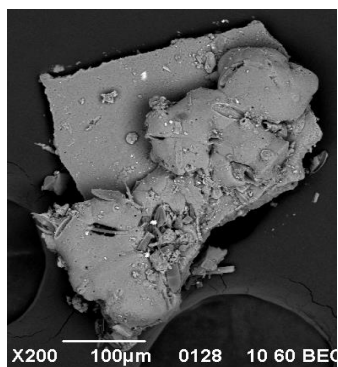
Рис. 6 – Форми виділення карбонатів: а – сфероїдальні натічні агрегати; б – кірки, щітки і плівки. Бінокуляр, збільшення: а – $300^{\times}$; б – $200^{\times}$

Під *електронним мікроскопом* натічні форми карбонатів мають вигляд грудкуватих агрегатів, напливів, стяжін, сфероїдальних утворень прихованокристалічної внутрішньої будови (рис. 7). За даними мікрозондового аналізу, їх склад відповідає кальциту. Можливі домішки опалу, гіпсу, галогенідів. Уламкові зерна гематиту (мартиту) з матеріалу дамби хвостосховища покриті зональною оторочкою гіпергенного гетиту (лімоніту) (рис. 8, б).



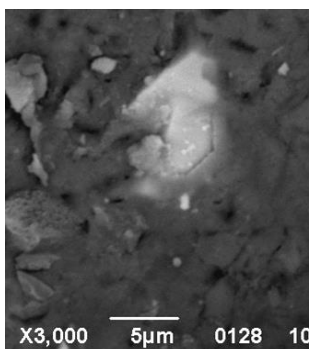
Element	Weight %	Atomic %	Compd %	Formula
C	21.50	29.15	78.77	CO ₂
Si	0.38	0.22	0.81	SiO ₂
S	0.20	0.10	0.50	SO ₃
Cl	0.82	0.38	0.00	
Ca	13.66	5.55	19.11	CaO
O	63.45	64.60		
Totals	100.00			

Рис. 7 – Натічні агрегати природно-техногенного кальциту. РЕМ, МЗ



Element	Weight %	Atomic %
C	17.14	25.41
S	0.34	0.19
Cl	0.30	0.15
Ca	25.75	11.43
O	56.46	62.82
Totals	100.00	

а



Element	Weight %	Atomic %	Compd %	Formula
Fe	69.94	40.00	100.00	Fe ₂ O ₃
O	30.06	60.00		
Totals	100.00			

б

Рис. 8 – Кірки і грудкуваті натічні агрегати карбонатів (а) з уламковими зернами гематиту в «сорочці» гіпергенного гетиту (б). РЕМ, МЗ

У хімічному складі травертину домінує CaO (48,73%), на другому місці – SiO₂ (4,44%), незначна кількість MgO (0,56%). Відмічається незначний вміст заліза: FeO (1,07%) та Fe₂O₃ (0,96%). Втрати при прожарюванні склали 43,24%. Результати хімічного аналізу свідчать, що травертин майже повністю складається з карбонату кальцію.

Результати спектрального аналізу карбонатних новоутворень та інших осадів у тальвезі балки Велика Лозуватка наведені в табл. 2.

Таблиця 2 – Елементи-домішки у складі донного осаду балки Велика Лозуватка, за даними спектрального аналізу, (мг/кг)

№ пр.	H, м	Ni	Cr	Cu	Pb	Sc	Ba	Y	Mn	Co	Ti	V	Zr	Nb	Ga	Be	Yb
1	87	20	20	20	10	10	100	30	400	3	1000	40	80	1	4	2	2
2	81	3	2	5	2	0	0	0	400	0	10	5	0	0	0	0	0
3	77	20	40	20	10	20	300	40	400	3	2000	40	200	2	4	2	3

Примітки: 1. Аналізом не встановлені хімічні елементи: P, Ag, H_d, Bi. 2. Н – висота над рівнем моря. Відстань місць відбору проб від упорної призми хвостосховища: пр. 1 – 3 м; пр. 2 – 20 м; пр. 3 – 200 м. Матеріал проб: пр. 1 – суглинки зі значною домішкою чорнозему; пр. 2 – травертин; пр. 3 – записочені суглинки з чорноземом.

З наведених даних видно, що досліджений травертин має суттєві геохімічні особливості, що відрізняють його від природних осадових порід у районі досліджень. Порода збагачена лише CaO і тільки за вмістом Mn схожа з іншими осадками району досліджень. Вміст останніх хімічних елементів значно нижчий, а Sc, Ba, Y, Co, Zr, Nb, Ga, Be, Yb взагалі не визначені спектральним аналізом. Таким чином, карбонатні новоутворення виявилися значно «чистішими» за рівнем як важких металів (Ni, Cr, Cu, Pb, Ti, V, Co), так і рідкоземельних елементів (Sc, Y, Zr, Nb, Ga, Be, Yb).

Наведені дані свідчать про чистоту хімічних процесів в умовах сучасного осадконакопичення без участі у них домішок важких металів. У процесі формування травертину бере участь суто гідрокарбонат кальцію, який під впливом зміни термодинамічних умов розкладається на нерозчинний карбонат кальцію, чисту воду та вуглекислий газ [14]:



Утворення травертину відбувається звичайно з падінням тиску, пов'язаного з виходом підземних вод на поверхню. Воно супроводжується асиміляцією виділеного CO₂ рослинами або дифузією в атмосферу внаслідок інтенсивного руху води. У результаті відбувається хімічна реакція, в якій виділяється нерозчинний у воді карбонат кальцію [6].

З таблиці також видно, що вміст важких металів у пробах змінюється від вершини до гирла балки. На ділянках сучасного формування травертинових новоутворень вміст майже усіх важких металів різко падає і навіть досягає нуля, а в напрямку до гирла балки знову зростає. Це може свідчити про розчинення та вимивання з осаду окремих хімічних елементів водою, що депонує з виявлених джерел. Розчинення мало вибіркового характеру, оскільки вміст Ni, Cu, Pb, Mn, Co, V, Ga і Be в осадах не змінився.

Висновки

Технологічна вода, що циркулює в оборотному циклі ГЗК, збагачена різноманітними розчинними солями, у тому числі гідрокарбонатом кальцію $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$. Значні обсяги депонування її з об'єму хвостосховищ у геологічне середовище призводять до активізації процесів сучасного осадкоутворення. Розвантаження техногенних та змішаних природно-техногенних вод на денну поверхню супроводжується осадженням розчинених солей. Йому сприяє зміна температур, рН середовища та підвищення концентрації внаслідок випарювання води. Карбонатна порода, утворена з вуглекислих джерел, може бути віднесена до *травертину*. Досліджені травертини приурочені до джерел у фундаменті дамби хвостосховища ГЗК і за походженням є техногенно-природними. Вони локалізовані на денній поверхні виключно в зоні витоку та випаровування високомінералізованої технологічної води ГЗК. Зміна умов в місцях розвантаження подібна до умов утворення природного травертину [9, 11, 12].

У стратиграфічному відношенні, охарактеризовані породи відносяться до голоценового відділу четвертинної системи. На геологічному розрізі ділянки їх поширення обмежуються мережею балок, де вони локально перекривають суглинки лесоподібні жовто-бурі, палеві з прошарками реліктових ґрунтів. Разом з перлами арагоніту [5], рудними грауваками [10], травертини доповнюють перелік техногенно-природних осадових порід, що в сучасну геологічну епоху утворюються в межах Криворізького басейну.

Техногенно-природні травертини Криворіжжя мають високі тепло- та звукоізоляційні властивості, задовільний декоративний вигляд та дуже низький, до повної відсутності, вміст важких металів. Вони можуть знайти використання у житлово-комунальному будівництві та виробництві екологічно чистих матеріалів іншого призначення.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Акименко Н. М., Белевцев Я. Н., Горошников Б. И. и др. Геологическое строение и железные руды Криворожского бассейна // Москва: Госгеолтехиздат, 1957. – 280 с.
2. Белевцев Я.Н., Белевцев Р.Я. Геологическое строение и железные руды Криворожского бассейна // Киев: Наукова думка, 1981. – 48 с.
3. Белевцев Я.Н., Тохтуев Г.В., Стрыгин А.И. и др. Геология криворожских железорудных месторождений // Киев: Изд. АН УССР, 1962. – Т. 1 – 484 с., т. 2 – 567 с.
4. Євтехов В.Д. Етапи формування комплексної мінерально-сировинної бази залізорудних родовищ Криворізько-Кременчуцького лінеamentу // Відомості Академії гірничих наук України. – 1997. – №4. – С. 111–114.
5. Євтехов В.Д. «Шахтні перли» Криворізького басейну. Геолого-мінералогічний вісник. – 2002. – №2.
6. Свинко Й. Травертини (вапнякові туфи) // Тернопільський енциклопедичний словник: у 4 т. / редкол.: Г. Яворський та ін. – Тернопіль: Видавничо-поліграфічний комбінат «Збруч», 2008. – Т. 3 : П – Я. – 708 с. – ISBN 978-966-528-279-2. – С. 463–464.
7. Стеценко А.І., Іванченко В.В. Основні джерела та чинники техногенного впливу на осадові породи центральної частини Кривбасу. East European Scientific Journal, 2016, №12, part 1, p. 39–46.
8. Щербак Н.П., Бартницький Е.Н., Луговая И.П. / Изотопная геология Украины: [монография]. – К.: Наукова думка, 1981. 247 с.

9. Harper E.M., Palmer, T.J. and Alphey, J.R. (1997) Evolutionary response by bivalves to changing Phanerozoic sea-water chemistry. *Geological Magazine* 134: 403–407.
10. Ivanchenko V.V., Belitskaya M.V., Smirnov Y.Y., and Ilyina A.S. Changes in river sedimentation caused by the influence of the modern system of Ukraine. Third Plenary Conference and Field Trip From the Caspian to Mediterranean: Environmental Change and Human Response during the Quaternary. Astrakhan, Russia. 22–30 September 2015. *Proceedings*. P. 91–96.
11. Palmer, T.J. and Wilson, M.A. (2004) Calcite precipitation and dissolution of biogenic aragonite in shallow Ordovician calcite seas. *Lethaia* 37: 417–427.
12. Schmittner Karl-Erich and Giresse Pierre (1999) "Micro-environmental controls on biomineralization: superficial processes of apatite and calcite precipitation in Quaternary soils", Roussillon, France. *Sedimentology* 46/3: 463–476.
13. <https://cgok.metinvestholding.com/ru/about/structure>
14. <https://ru.wikipedia.org/wiki/>

Стаття надійшла до редакції 07.09.2017

УДК: 618.177:616.697

Е.А. ЛЕВКОВА, С.З. САВИН

МЕДИКО-ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ РЕПРОДУКТИВНЫХ ПОТЕРЬ В ХАБАРОВСКОМ КРАЕ РФ

Аннотация. Статья посвящена системному анализу медико-экологических факторов репродуктивных потерь населения Хабаровского края Российской Федерации. Цель исследования — на основе многолетнего исследования младенческой смертности на территории Хабаровского края определить роль и значение медико-экологических факторов в структуре репродуктивных потерь на примере инфекционных и паразитарных болезней, сформировать основные направления в системе профилактики, диагностики и лечения инфекционной патологии в службе родовспоможения и детства. Обоснован вывод о том, что младенческая смертность является одним из наиболее важных и объективных индикаторов, отражающих медико-экологическую ситуацию в регионе и социально-экономическое состояние общества, качество и доступность медицинской помощи. Поиск резервов снижения репродуктивных потерь от инфекционных и паразитарных болезней является одной из ключевых задач системы здравоохранения и путей укрепления демографической ситуации на территории Хабаровского края.

Ключевые слова: медицинская экология, репродуктивные потери, младенческая смертность (МС), инфекционная патология, рубрики МКБ-10, агрегированная младенческая смертность от инфекционных болезней, внутриутробные инфекции, снижение инфекционного агента в популяции беременных и новорожденных.

Введение

Младенческая смертность — один из основных демографических показателей здоровья популяции, определяющий репродуктивный и трудовой потенциал будущих поколений страны, являющийся в то же время важным индикатором социально-экономических условий жизни общества и качества медицинской помощи женщинам и детям. Последние 17 лет показатель младенческой смертности в России официально имеет устойчивую тенденцию к снижению, что объясняется властями как следствие повышения уровня жизни населения и качества медицинской помощи женщинам и детям. В течение постсоветского периода младенческая смертность в России снизилась с 17,8 в 1991 г. до 9,4 на 1000 родившихся в 2007 г. (при повышении показателя в годы кризиса в стране в 1993 г. — на 10,5% и в 1999 г. — на 2,4%) [1, 35, 36, 42]. При этом именно снижение младенческой смертности в значительной степени обусловило уменьшение показателя детской смертности. Максимальные темпы снижения показателя младенческой смертности отмечены с 1999 по 2007 гг. (с 16,9 до 9,4‰), при том, что за период 1991–1999 гг. этот показатель уменьшился лишь на 5,1% [4, 32, 43]. Необходимо учитывать, что показатель младенческих потерь в значительной степени зависит от полноты и корректности регистрации умерших новорожденных, число которых более чем наполовину определяет показатель младенческой смертности. Например, снижение младенческой смертности в России (на 47,2% за 1991–2007 гг.) произошло преимущественно за счет уменьшения неонатальной смертности (на 50,9% —

с 11,0 в 1991 г. до 5,4‰ – в 2007 г.), и прежде всего за счет снижения ранних неонатальных потерь (на 57,3% – с 8,9 до 3,8‰ за те же годы) [4, 13, 30, 42].

В соответствии с опережающими темпами снижения ранних неонатальных потерь, удельный вес смертности детей на первой неделе жизни в младенческой уменьшился с 50,0 до 40,8%, а в неонатальной смертности – с 80,9 до 70,4% [31, 42]. Показатель смертности детей в постнеонатальном периоде снизился в значительно меньшей степени: лишь на 42,6% за 17-летний период (с 6,8 до 3,9‰). При этом доля постнеонатальных потерь (в возрасте 28–36 недель) в структуре умерших детей до года увеличилась с 38,2% в 1991 г. до 40,3% в 2007 г., с закономерным сокращением числа умерших по числу прожитых месяцев (11,0 – 7,2 – 5,2% и далее по убывающей до 1,0% на 11-м месяце жизни) [33, 43]. В 2007 г. в сравнении с 2006 г. в максимальной степени снизилась смертность новорожденных (с 6,1 до 5,4‰, или на 11,5%), прежде всего, за счет детей 7–27 дней жизни (с 1,9 до 1,6‰, или на 15,8%) при снижении числа умерших на первой неделе жизни на 9,5% (с 4,2 до 3,8‰). Всего в 2007 г. на первом году жизни умерло 14 858 детей, из них до 1 месяца – 8875 (59,7%), в том числе на первой неделе жизни – 6060 (40,8% от числа умерших в возрасте до 1 года и 68,3% от числа умерших на 1-м месяце жизни). В акушерских стационарах умерло 4779 новорожденных или 78,9% от числа умерших на первой неделе жизни [14, 23, 42]. Этот факт определяет важный медико-организационный момент: в связи с тем, что подавляющее число детей погибает в родильных домах, чрезвычайно важно обеспечение необходимого уровня неонатальной реанимационной помощи именно в родовспомогательных стационарах, где ребенок находится в течение первых наиболее опасных суток жизни. В стационарах второго этапа выхаживания недоношенных и больных новорожденных соответственно умирает около 20% от числа умерших на первой неделе жизни. Нередко для скрытия подлинных темпов роста МС руководители прежде всего крупных перинатальных центров и роддомов используют махинации со сроками беременности. Анализ динамики темпов младенческой смертности в России по составляющим показывает, что снижение ее уровня в течение последних лет достигнуто в основном за счет новорожденных, доля которых среди всех умерших младенцев имеет устойчивую тенденцию к сокращению при одновременном увеличении удельного веса постнеонатальных потерь (табл. 1).

Таблица 1 – Динамика темпов младенческой смертности в РФ
(% к новорожденным)

	Уровень младенческой смертности в России							
годы	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
%	8,5	8,1	7,5	7,4	8,6	8,2	7,4	7,2

Проблема репродуктивных потерь становится весьма актуальной во всем мире не только для современного акушерства, но и медицинской демографии и экологии человека. В зарубежной литературе репродуктивные потери обобщают нередко «синдром потери плода» — fetal loss (wastage) syndrome [47, 50, 55]. Разделяют материнские, плацентарные, плодные и средовые факторы репродуктивных утрат [20, 22, 44]. За последние десятилетия в РФ одним из последствий неблагоприятных изменений в окружающей среде и

различных сферах жизнедеятельности общества стало ухудшение здоровья как матери, так и ребенка, в том числе рост хронических форм соматической патологии и психических расстройств, повышение частоты врождённых пороков развития, «возрождение» старых инфекций (туберкулёз, болезни, передаваемые половым путём и т.п.) и актуализация новых (ВИЧ, гепатит С) [7, 10, 13, 20, 27, 48, 51, 52]. Среди важнейших причин репродуктивных потерь также распространение алкоголизма, наркомании, снижение показателей физического развития и т.д. [1, 2, 5, 7, 13, 24, 33, 36, 39, 40]. Вышеуказанные процессы явились предметом медико-демографических, медико-социальных, медико-организационных и других научных исследований, направленных на решение современных проблем детства [5, 6, 15, 16, 34, 48, 49, 54, 56]. За последние годы, несмотря на победные реляции руководства Минздрава РФ, уровень рождаемости в России стал на треть ниже необходимого для простого численного замещения поколения родителей их детьми [3, 14, 43]. Продолжается рост заболеваемости новорожденных, который связан с ухудшением качества здоровья рожденных детей и обусловлен ухудшающимся здоровьем женщин [2, 5, 7, 13, 35, 38, 44]. Суммарный показатель рождаемости (число родившихся на одну женщину в течение жизни) не превышает 1,3, тогда как необходимые его значения для нормального воспроизводства населения – 2,14–2,15 [37]. Резко сокращается число нормальных родов, удельный вес которых составляет в Москве около 30%, а по России – не более 25% [24]. Каждый третий рожденный имеет отклонения в состоянии здоровья, сохраняется высокий уровень младенческой смертности (17‰) [9, 36, 40]. В России ежегодно появляются на свет более 50 тыс. детей с врожденными пороками развития (ВПР), а число больных с ВПР достигает 1,5 млн [14, 31]. Кризисная ситуация в социальной, экономической, экологической и других сферах нашей жизни оказывает негативное влияние на женщин репродуктивного возраста. Показатели репродуктивного здоровья российских женщин в настоящее время характеризуются высоким уровнем материнской смертности, заболеваниями органов малого таза, в том числе заболеваниями, передаваемыми половым путем, увеличением частоты бесплодия, расстройствами менструального цикла, причем нарушения репродуктивного здоровья отмечаются уже в детском и подростковом возрасте [5, 12, 15, 35, 36, 37, 39]. Разработанные меры позволили решить некоторые научные и прикладные вопросы совершенствования охраны здоровья детей, однако в течение последних лет динамика ряда важных показателей состояния здоровья детского населения не имеет тенденций к улучшению [2, 5, 8, 15, 32]. В целом по стране, несмотря на снижение перинатальной смертности, в структуре причин последней внутриутробные инфекции (ВУИ) с 2007 г. стабильно продолжают занимать 3–4 место, уступая первенство гипоксии, дыхательным нарушениям и врожденным порокам развития [24, 43]. На настоящее время продолжают изучаться пути передачи, вопросы трансмиссии возбудителей различной этиологии и другие аспекты ВУИ, однако многие факты и положения, касающиеся данной проблемы, базируются на недостаточных уровнях доказательности [30, 40, 46]. Дальневосточные территории России имеют еще более негативные тренды в развитии медико-демографической ситуации [17, 18, 21, 26, 31, 41].

Для жителей Дальнего Востока характерны негативные медико-экологические особенности в виде гемато-иммунологических субнормальных

величин, соответствующих нижней границе нормы [4, 8, 11, 13, 17, 19, 21, 25, 41]. В случае заболевания наблюдаются изменения иммунного ответа, отличающиеся от таковых на европейской территории России [18]. Климатические особенности Дальнего Востока формируются под воздействием как океанических, так и континентальных факторов, поэтому отличаются чертами континентальности и, в то же время, имеют муссонный характер. Приамурье Хабаровского края относится по климатогеографической классификации к 3-й зоне, сосредоточенной на переувлажненных поймах и долинах крупных рек с отдельными остандовыми горными образованиями и предгорьями, находящимися в зоне выраженного муссонного влияния [17, 19]. Описанные особенности Дальнего Востока особо остро поднимают проблему адаптации человека, когда индивидум на протяжении определенного времени подвергается воздействию экстремальных условий. Под экстремальными условиями в медицинской экологии принято понимать условия, ставящие человека на грань переносимости. К числу таковых относятся, в частности, климатические условия Приамурья Дальневосточного региона. Степень экстремальности этих условий усугубляется экологической обстановкой [18]. Существенную роль в высоком риске патологий матери и плода играют традиционная и неполноценная диета населения, проживающего в Приамурье [17, 19, 23, 29]. Описанные факторы негативного влияния на иммунную систему дальневосточников приводят к увеличению частоты инфицированности инфекциями семейства герпес [20]. Наибольшее значение из которых имеют герпес простой 1, 2-го типов, цитомегаловирусная инфекция (5-й тип герпеса) и вирус Эпштейн–Барр (4-й тип герпеса). Считается, что именно инфекции данной группы способствуют более раннему развитию акцидентальной трансформации тимуса (вилочковой железы), что изменяет адаптацию, способствуют реализации большого разнообразия патологических состояний [18, 28, 30].

За годы советского периода предпринимались беспрецедентные меры по повышению уровня рождаемости и снижению младенческой смертности. В 50–60 гг. младенческая смертность в стране неуклонно снижалась, прежде всего, за счет уменьшения смертности от инфекционных и желудочно-кишечных заболеваний [4, 8, 23]. В итоге с 1951 по 1971 гг. младенческая смертность снизилась в 3,7 раза. Основными причинами снижения младенческой смертности, в том числе и от инфекционных причин, были в первую очередь: рост социального благополучия общества; внедрение новых медицинских технологий, широкое применение антибиотиков для борьбы с инфекционными заболеваниями и пневмониями; рост материальной базы службы детства и родовспоможения; внедрение новых организационных технологий, основанных на системе врачебного и сестринского патронажей за беременными женщинами, новорожденными и детьми первого года жизни [4, 13, 28, 46].

По данным Росстата, максимальный уровень МС стабильно сохраняется именно в Дальневосточном ФО, на втором месте в течение последних четырех лет – Южный ФО [31, 35]. В структуре причин МС в России, по данным Росстата, первые три места стабильно принадлежат внутриутробной гипоксии, респираторным нарушениям и врожденным аномалиям. Однако важно отметить, что перинатальные инфекции, занимавшие до 2004 г. четвертое место в структуре причин МС, в течение трех последующих лет уступили

место преходящим эндокринным нарушениям и нарушениям обмена веществ, составившим в 2007 г. 54,1 на 100 000 родившихся (или 6,0%) при частоте инфекции как причины МПС 42,4 (4,7%). Затем с 2010-х гг. в структуре причин ранней неонатальной смертности эндокринные и метаболические нарушения вышли на третье место (после респираторных расстройств и врожденных аномалий), превысив частоту внутриутробной гипоксии и асфиксии при рождении. Возможно, такая трансформация причин перинатальной и ранней неонатальной смертности связана с изменением структуры патологии беременных, например, ростом частоты сахарного диабета у женщин [2, 7, 9, 18, 24].

Основная часть

Цель исследования – на основании многолетних наблюдений за динамикой младенческой смертности на территории Хабаровского края определить роль и значение инфекционных и паразитарных болезней в структуре репродуктивных потерь, сформировать основные направления в системе профилактики, диагностики и лечения инфекционной патологии в службе родовспоможения и детства.

Материалы и методы

Было проведено исследование динамики смерти детей до 1 года от инфекционных и паразитарных болезней с 1960 по 2012 гг., углубленный анализ показателя младенческой смертности от инфекционных и паразитарных болезней, специфичных для перинатального периода, в Хабаровском крае за период 2004–2012 гг. по данным ГУЗ «Перинатальный центр» и МИАЦ [25, 26, 41]. Инфекционные причины младенческой смертности в соответствии с Десятым пересмотром Международной классификации болезней и проблемами, связанными со здоровьем (МКБ-10), разделены на некоторые инфекционные и паразитарные болезни (A00-B99) и инфекционные болезни, специфичные для перинатального периода (P35-P39). Таким образом, трудности в оценке частоты инфицированности новорожденных определяются тем фактом, что в МКБ-10 классификации ВУИ встречаются в двух томах, в котором ее основные формы представлены в 16 классе (инфекционные болезни, специфичные для перинатального периода). При этом классификация ВУИ в МКБ подразумевает не только определение органной принадлежности инфекции, но и градацию по этиологии. Поэтому различные формы инфекции (например, остеомиелит, энтероколит, поражение ЦНС) представлены в разных рубриках [28]. При этом наблюдается волнообразная кривая с максимумами в точках, соответствующих периодам 1960 и 1976–1985 годов, минимумами в 1966–1970 и 1991–1995 гг. [14, 34]. В период 1991–2007 гг. показатель достоверно не изменяется, составляя 0,9–1,1 умерших в возрасте до 1 года на 1000 родившихся живыми [31]. Показатели 2009–2015 гг. существенно отличаются в разных источниках, а данные Росстата и Минздрава вызывают подозрения в определенной «заданности» и подгонке под готовый ответ при частой смене самих индикаторов. Поэтому корректный анализ стал возможен только по данным 2004–2008 гг.

Результаты собственных исследований и их обсуждение

Проведенный нами анализ младенческой смертности от инфекционных и паразитарных болезней в крае за период с 2004 по 2015 гг. колебался на уровне

от 0,7 до 1,4 умерших в возрасте до 1 года на 1000 родившихся живыми ($t < 2,0$). Доля этого класса в младенческой смертности составляла от 5,6% до 11,9% (табл. 2).

Таблица 2 – Суммированная младенческая смертность от инфекционных и паразитарных заболеваний за период с 2004 по 2008 гг.

Годы	2004	2005	2006	2007	2008	2004-2008
Умерло до 1 года	230	200	189	193	189	1001
Младенческая смертность (умершие в возрасте до года на 1000 родившихся живыми) $P \pm 2m$	14,6 $\pm 1,9$	13,0 $\pm 1,9$	12,3 $\pm 1,8$	11,9 $\pm 1,7$	11,8 $\pm 1,6$	12,6 $\pm 0,8$
Инфекционные и паразитарные болезни (случаев смерти детей до 1 года)	13	15	11	23	14	76
Младенческая смертность от инфекционных и паразитарных болезней (умерших в возрасте до 1 года на 1000 родившихся живыми) $P \pm 2m$	0,8 $\pm 0,5$	1,0 $\pm 0,5$	0,7 $\pm 0,4$	1,4 $\pm 0,6$	0,8 $\pm 0,4$	1,0 $\pm 0,2$
Доля инфекционных и паразитарных болезней в младенческой смертности, %	5,6	7,7	5,7	11,9	6,9	7,6
Инфекционные болезни, специфичные для перинатального периода (случаев смерти детей до 1 года)	36	29	38	40	35	178
Младенческая смертность от инфекционных болезней, специфичных для перинатального периода (умерших в возрасте до 1 года на 1000 родившихся живыми) $P \pm 2m$	2,3 $\pm 0,8$	1,9 $\pm 0,7$	2,4 $\pm 0,8$	2,5 $\pm 0,8$	2,0 $\pm 0,7$	2,2 $\pm 0,3$
Доля инфекционных болезней, специфичных для перинатального периода в младенческой смертности, %	15,6	14,9	19,9	20,8	17,3	17,8
Итого случаев смерти детей до 1 года от инфекционной патологии	49	44	49	63	49	254
Младенческая смертность от инфекционных болезней суммарно (умерших в возрасте до 1 года на 1000 родившихся живыми) $P \pm 2m$	3,1 $\pm 0,9$	2,9 $\pm 0,9$	3,1 $\pm 0,9$	3,9 $\pm 1,0$	2,9 $\pm 0,8$	3,2 $\pm 0,4$
Доля инфекционных и паразитарных болезней, специфичных для перинатального периода в младенческой смертности, %	21,2	22,6	25,6	32,7	24,3	25,4
Родилось всего	15825	15002	15558	16186	17100	79671

Суммированный (агрегированный) за этот период уровень младенческой смертности от инфекционных и паразитарных болезней составил 1,0 умерших в возрасте до 1 года на 1000 родившихся живыми ($t < 2,0$); доля в структуре младенческой смертности составила 7,6%. Количество случаев смерти детей до 1 года от инфекционных болезней, специфичных для перинатального периода (P35-P39), за период 2004–2015 гг. в Хабаровском крае стабильно в 2–3 раза превышает количество младенческих смертей от инфекционных и паразитарных болезней. Младенческая смертность от инфекционных болезней, специфичных для перинатального периода, составила 1,9–2,5 умерших в возрасте до 1 года на 1000 родившихся живыми ($t < 2,0$), доля этих причин в структуре младенческой смертности колебалась от 14,9 до 20,8%. Агрегированный за этот период уровень младенческой смертности от инфекционных болезней, специфичных для перинатального периода составил 2,2 умерших в возрасте до 1 года на 1000 родившихся живыми ($t < 2,0$); доля в структуре младенческой смертности составила 17,8%. Аппроксимационная кривая суммарной младенческой смертности от инфекционных болезней (A00-B99 и P35-P39) имеет слабо восходящий характер [11, 21, 26].

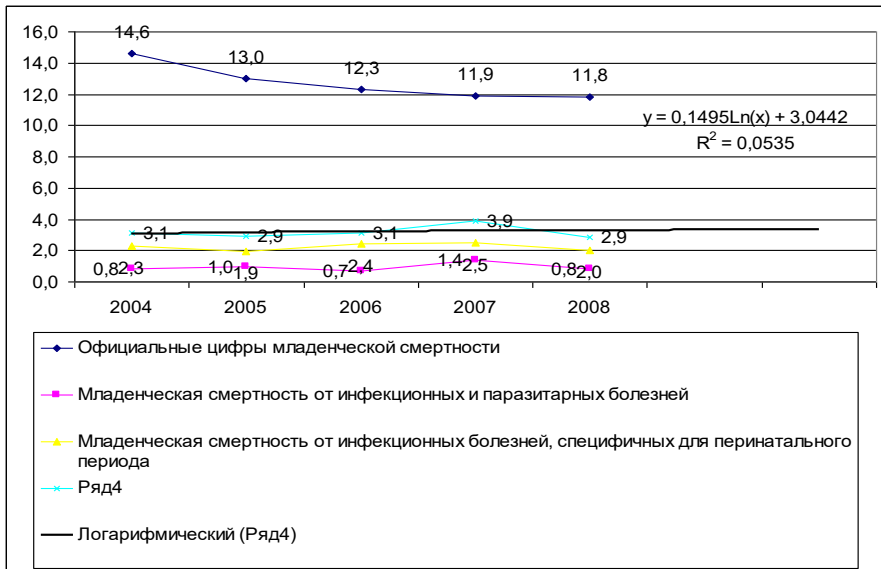


Рис. 1 – Суммарная младенческая смертность от инфекционных и паразитарных заболеваний за период с 2004 по 2008 гг.

Таким образом, суммарная младенческая смертность от инфекционных болезней (A00-B99 и P35-P39) в Хабаровском крае в 2004–2009 гг. находилась на уровне 2,9–3,9 умерших в возрасте до 1 года на 1000 родившихся живыми ($t < 2,0$), что составило от 21 до 33% всей младенческой смертности за этот период. Агрегированный показатель суммарной младенческой смертности в 2004–2008 гг. от инфекционных болезней (A00-B99 и P35-P39) составил 3,2 умерших в возрасте до 1 года на 1000 родившихся живыми ($t < 2,0$), а доля её в структуре младенческой смертности составила более четверти – 25,4%, что подчеркивает актуальность обсуждаемой проблемы.

Необходимо отметить, что критический анализ данных за 2008–2015 гг. ГУЗ «Перинатальный центр» [25, 26] показал, что большинство диагнозов младенческой смерти от инфекционных болезней (A00-B99 и P35-P39) являются неуточненными (рис. 2). Это такие диагнозы, как бактериальная кишечная инфекция неуточненная (A04.9), бактериальная инфекция неуточненная (A49.9), хронический вирусный гепатит неуточненный (B18.9) – по 1 случаю; диарея и гастроэнтерит предположительно инфекционного происхождения (A09) и другие и неуточненные инфекционные болезни (B99) – по 2 случая; вирусная инфекция неуточненной локализации (B34) – 46 случаев; инфекция, специфичная для перинатального периода, неуточненная (P39.9) – 58 случаев, врожденная инфекционная и паразитарная болезнь неуточненная (P37.9) – 77 случаев.

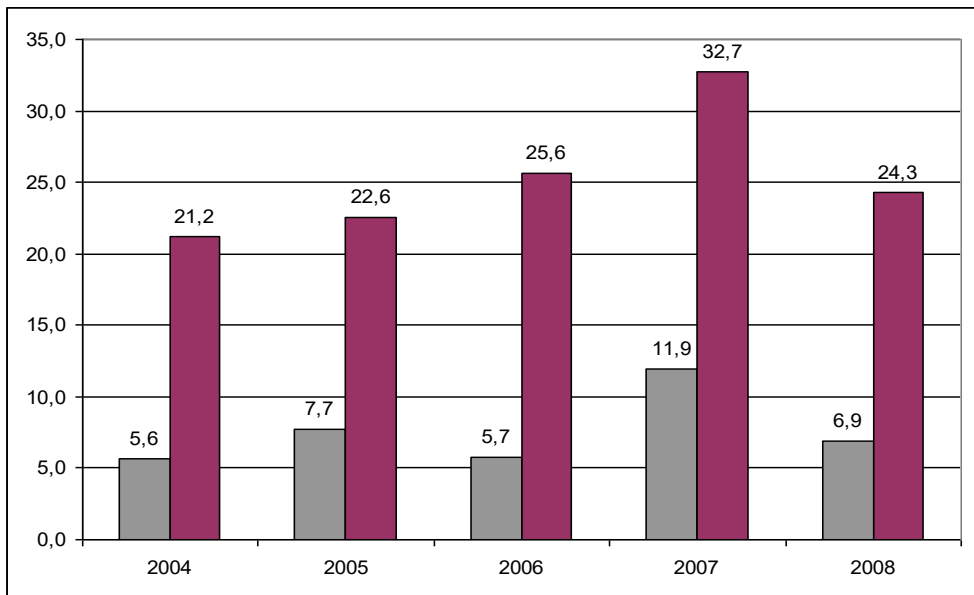


Рис. 2 – Доля в структуре младенческой смертности инфекционной патологии в % за период 2004–2008 гг.

За период 2004–2008 гг. из 76 случаев смерти детей до одного года от инфекционных и паразитарных болезней (A00-B99) неуточненные диагнозы выставлены в 52 случаях, что составило 68%. За тот же период из 178 случаев смерти детей до 1 года от инфекционных болезней, специфичных для перинатального периода, 135 случаев имеют неуточненные диагнозы. В данном случае доля неуточненных диагнозов ещё более велика – 76%. Суммарное количество таких диагнозов младенческой смерти от инфекционных болезней (A00-B99 и P35-P39) за период 2004–2008 гг. составляет 187 случаев или 74%. В общей структуре младенческой смертности в Хабаровском крае доля случаев смерти от инфекционных болезней (A00-B99 и P35-P39) с неуточненными диагнозами достигает 19% (рис. 3). Подобная картина должна была сохраниться и в 2010–2015 гг.

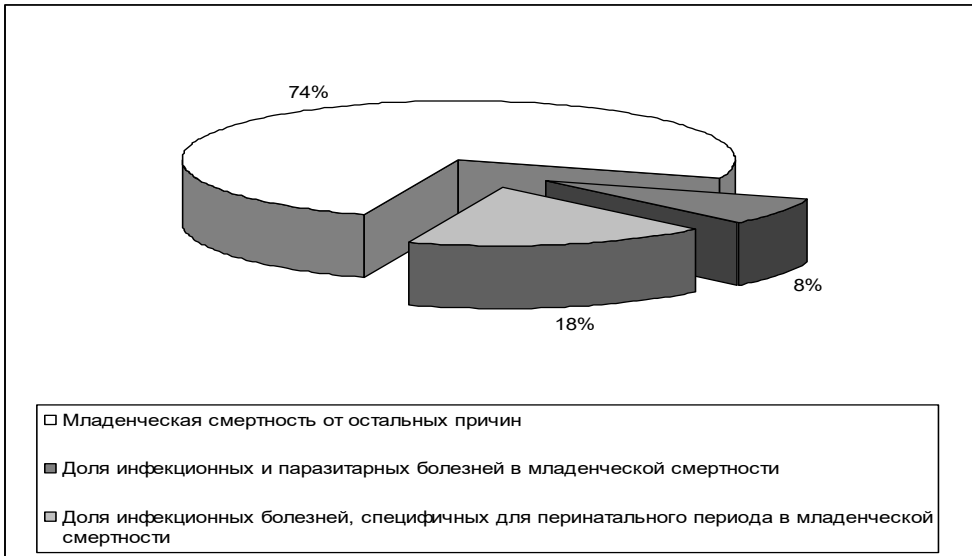


Рис. 3 – Доля инфекционных и паразитарных болезней и инфекционных болезней, специфичных для перинатального периода, в структуре младенческой смертности в Хабаровском крае, агрегированной за период 2004–2015 гг.

Вместе с тем, по данным литературы [10, 22, 39, 46, 56], роль инфекционной патологии остается актуальной в развитии перинатальной заболеваемости и смертности детей первого года жизни. Так, для антенатального инфицирования наиболее значима роль патогенов вирусной этиологии (СМВ, HSV, Enterovirus B19, Hepatitis B virus, HIV, Rubella), микробных агентов (*Treponema pallidum*) и паразитов (*Toxoplasma gondii*). Интранатальную трансмиссию осуществляют, как правило, бактериальные агенты (*Strept. pyogenes* = group A *Streptococcus*, *Strept. agalactiae* = group B *Streptococcus*, *Enterococcus* spp. = group D *Streptococcus*, *Escherichia coli*, *Chlamydia trachomatis*, *Listeria monocytogenes*, *Neisseria gonorrhoeae*). Не исключена также роль патогенов вирусной и грибковой (*Candida albicans*) этиологии [22, 27, 30, 44, 51]. Тем не менее, все инфекционные агенты могут являться причиной внутриутробной инфекции, приводя к гибели эмбриона, нарушению развития плода или различным формам реализации инфекционного процесса в периоде новорожденности.

Выводы

Таким образом, проведенные исследования показывают, что роль инфекционного фактора в причинах младенческой смертности в настоящее время принижена, что не дает возможности своевременно проводить профилактику, диагностику и лечение инфекционной патологии.

На наш взгляд существует необходимость в постоянном проведении медико-демографических и медико-экологических исследований относительно того или иного инфекционного агента в популяции беременных женщин и новорожденных. Остается перспективным решение вопроса по

организации скрининга новорожденных на выявление инфекционной патологии и эпидемиологические исследования ее частоты. Требуется разработка и внедрение на всех этапах службы родовспоможения алгоритмов по диагностике внутриутробной инфекции.

Важнейшим условием улучшения репродуктивной ситуации и повышения уровня родовспоможения является также совершенствование оценки качества медицинской помощи женщинам на всех этапах реализации репродуктивной функции (беременность, роды, послеродовой период) и их потомству (период внутриутробного развития, постнатальный период). Система оценки качества медицинской помощи должна быть динамичной, учитывать, прежде всего, конечный результат оказываемой помощи, каковым является уровень здоровья женщины и ребенка. Если конечный итог репродуктивного процесса для матери и ее ребенка неблагоприятный, то при оценке качества медицинской помощи необходим анализ уровня, на котором произошли нарушения технологических процессов, приведшие к такому исходу (недооценка риска возникновения патологии, несоблюдение технологии обследования, ведения, выбора адекватного учреждения, сроков госпитализации и родоразрешения, применения превентивных мер и лечения), а затем и причин этих нарушений (низкая квалификация медицинских работников, недостаточное оснащение, затруднения транспортировки больной, неадекватные действия самого пациента и др.). Одна из возможностей повышения эффективности и качества медицинского обслуживания населения заложена в сфере управления системой здравоохранения региона.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Альбицкий В.Ю. Социальная педиатрия: наукометрический анализ / В.Ю. Альбицкий, Н.В. Устинова // Казанский медицинский журнал. Т. 95. – 2014. – № 1. – С. 103–107.
2. Альбицкий В.Ю. Социальная педиатрия как стратегия охраны здоровья детей / В.Ю. Альбицкий, Н.В. Устинова // Российский педиатрический журнал. Т. 18 – 2015. – № 1. – С. 29–30.
3. Байбарина Е.Н. Перинатальная медицина: от теории к практике / Е.Н. Байбарина, Д.Н. Дектярев // Российский вестник перинатологии и педиатрии. Т. 58 – 2013. – № 5. – С. 4.
4. Баранов А.А. Смертность детского населения России (тенденции, причины и пути снижения) / А.А. Баранов, В.Ю. Альбицкий. – Серия "Социальная педиатрия". М.: Литтерра, 2006, 280 с.
5. Баранов А.А. Современные подходы в изучении заболеваемости детского населения / А.А. Баранов, В.Ю. Альбицкий, Е.В. Антонов // Российский педиатрический журнал. – 2008. – №5. – С. 4–7.
6. Баранов А.А. Состояние, проблемы и перспективы организации медико-социальной помощи детям / А.А. Баранов, В.Ю. Альбицкий, Н.В. Устинова // Российский педиатрический журнал. – 2013. – № 3. – С. 4–6.
7. Баранов А.А. Социальные и организационные проблемы педиатрии / А.А. Баранов, В.Ю. Альбицкий // Избранные очерки. – М.: Издательский Дом Династия, – 2003. – 512 с.
8. Баранов А.А. Нормативно-правовое обеспечение охраны здоровья детей в период российских реформ / А.А. Баранов, Ю.Е. Лапин // Права ребёнка. – 2007. – №1. – С. 3–22.

9. Башмакова Н.В. Связь исходов беременности с метаболизмом аминокислот у плода и ожирением у матери / Н.В. Башмакова, П.Б. Цывьян, Л.А. Пестряева // *Акушерство и гинекология*. – 2016. – №6. – С. 46–51.
10. Врожденные, перинатальные и неонатальные инфекции / Под ред. А. Гриноу, Дж. Осборна: пер. с англ. – М.: Медицина, 2000. – 288 с.
11. Десятов А.Ю. Математическое моделирование влияния геохимических факторов на медико-экологическую ситуацию в Приамурье / А.Ю. Десятов, Н.Э. Косых, С.К. Пинаев, С.З. Савин – Хабаровск: ВЦ ДВО РАН, – 2006. – 33 с.
12. Десятов А.Ю. Исследование социально-демографических потерь от последствий лесных пожаров в Хабаровском крае / А.Ю. Десятов, Н.Э. Косых, Н.С. Овсянников, С.З. Савин // *Мат-лы Международной конференции «Сопряженные задачи механики, реагирующих сред, информатики и экологии»*, Томск, 25–28 июня 2007 г. – Томск: Изд-во Томского ун-та, – 2007. – С. 70–71.
13. Дьяченко В.Г. Охрана здоровья матери и ребенка в условиях социально-экономических реформ / В.Г. Дьяченко, В.О. Щепин, Н.А. Капитоненко – Владивосток: Дальпресс, 2000. – 309 с.
14. Естественное движение населения Российской Федерации 2008-2017 гг. – Росстат. Официальная статистика. [Электронный ресурс]. – URL: http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_main/rosstat/ru/statistics/publications/catalog/doc_1140096846203
15. Калачикова О.Н. Анализ упущенной экономической выгоды от репродуктивных потерь / О.Н. Калачикова, А.А. Шабунова // *Вестник Московского университета. Серия 6. Экономика*. – 2012. – №5. – С. 88–99.
16. Калачикова О.Н. Репродуктивное поведение как фактор воспроизводства населения: тенденции и перспективы / О.Н. Калачикова, А.А. Шабунова – Вологда: ИСЭРТ РАН, – 2015. – 172 с.
17. Козлов В.К. Здоровье детей и подростков на Дальнем Востоке. – Новосибирск: СО РАМН, – 2003. – 288 с.
18. Козлов В.К. Эколого-физиологическое обоснование адаптационных процессов у подростков Дальневосточного региона / В.К. Козлов, Р.В. Учакина, Е.В. Ракицкая. – Хабаровск: ДВГМУ, 2011. – 234 с.
19. Косых Н.Э. Геоинформационные системы в задачах медицинской экологии / Н.Э. Косых, О.Ю. Новикова, А.С. Лопатин, С.З. Савин – Владивосток: Дальнаука. 2008. – 153 с.
20. Левкова Е.А. Взаимосвязь между иммунными нарушениями при патологии беременности и изменениями в тимусе новорожденного / Е.А. Левкова, О.А. Гребеняк, С.З. Савин // *Медицинская иммунология*. Т.2. – 2015. – №3. – С. 182–183.
21. Мотрич Е.Л. Медико-демографическая ситуация в Приамурье / Е.Л. Мотрич, Н.Э. Косых, С.З. Савин // *Ученые записки ТОГУ*. [Электронное научное издание]. Том 5. – 2014. – №3. – С. 26–41. – URL: http://ejournal/articles-2014/TGU_5_112.pdf (Дата проверки ссылки: 26.06.2017).
22. Ньюэлл М.-Л. Врожденные и перинатальные инфекции: предупреждение, диагностика и лечение. / М.-Л. Ньюэлл, Д. Мак-Интайр – СПб.; Петрополис, 2004. 442 с.
23. О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Российской Федерации в 2013 году. Государственный доклад. – М.: Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, 2014. – 191 с.
24. Основные показатели деятельности акушерско-гинекологической службы Российской Федерации в разрезе федеральных округов (стат. Материалы). – М.: Минздрав РФ, 2014.
25. Официальный сайт медико-аналитического центра Минздрава Хабаровского края. [Электронный ресурс]. – Динамика заболеваемости отдельными инфекционными болезнями 2016. – URL: <http://miac.medkhv.ru/НОЗ.htm> (Дата проверки ссылки: 15.06.2017).

26. Официальный сайт медико-аналитического центра Минздрава Хабаровского края. [Электронный ресурс]. URL: Ежедневный мониторинг/ статистические/ Показатели_младенческой_смертности. – <https://miac.medkhv.ru/ПМС.htm> (Дата проверки ссылки: 25.06.2017).
27. Перинатальные инфекции: Практическое пособие / под ред. А.Я. Сенчука, З.М. Дубосарской. – М.: Мед. информ. агентство (МИА), (ОАО Тип. Новости, 2005. 317 с.
28. Подзолкова Н.М. Внутриутробная инфекция / Н.М. Подзолкова, М.Ю. Скорцова, Н.И. Мельникова, И.Ф. Острекров // Акушерство и гинекология. – 2009. – №3. – С. 27–32.
29. Полумиенко С.К. Информационные модели и методы принятия решений в региональных эколого-экономических системах / С.К. Полумиенко, С.З. Савин, С.Л. Турков – Владивосток: Дальнаука. 2007. – 376 с.
30. Протоколы диагностики, лечения и профилактики внутриутробных инфекций у новорожденных детей / Под ред. Н.Н. Володина. – М.: ГОУВУНМЦМЗ РФ, 2002. – 100 с.
31. Российский статистический ежегодник. 2016: Стат. сб. – М.: Росстат, 2017. – 725 с. – URL: http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_main/rosstat/ru/statistics/publications/catalog/doc1135087342078
32. Россия в цифрах. 2016: Крат. сб. стат. – М.: Росстат, 2016. – 543 с.
33. Семенова М.В. Перинатальные исходы преждевременных родов / М.В. Семенова, О.В. Загребина // Вопросы практической педиатрии. Т. 5. – 2010. – С. 73–74.
34. Сергейко И.В. Анализ репродуктивных потерь на современном этапе / И.В. Сергейко // Здоровье, демография, экология финно-угорских народов. – 2014. – №1. – С. 27–30.
35. Социальное положение и уровень жизни населения России. Стат.сб. / 2015. – М.: Росстат, 2015. – 311 с.
36. Социально-экономические индикаторы бедности в 2011–2014 гг. – М.: Росстат, 2015. – 111 с.
37. Стародубов В.И. Репродуктивные проблемы в демографическом развитии России / В.И. Стародубов, Л.П. Суханова – М.: Менеджер здравоохранения, – 2012. – 320 с.
38. Супрун С.В. Анемические состояния у беременных женщин / С.В. Супрун, В.К. Козлов – Хабаровск: ООО Издательский дом «АРНО», 2013. – 305 с.
39. Сухих Г.Т. Иммунные факторы в этиологии и патогенезе осложнений беременности / Г.Т. Сухих, Л.В. Ванько // Акушерство и гинекология. – 2012. – № 1. – С. 128–136.
40. Сухих Г.Т. Охрана репродуктивного здоровья – важный раздел модернизации здравоохранения / Г.Т. Сухих, Л.В. Адамян // Проблемы репродукции: спец. выпуск. – 2012. – С. 5–10.
41. Топалов К.П. Воспроизводство населения Хабаровского края: оценка и тенденции / К.П. Топалов, О.В. Лобастова // Здравоохранение Дальнего Востока – 2016. – №2 (68). – С. 6–18.
42. Федеральная служба государственной статистики. – URL: http://www.gks.ru/free_doc/new_site/population/generation/ur1-1.doc (дата обращения: 26.06.2017)
43. Федеральная служба государственной статистики: [сайт]. – URL: http://www.gks.ru/free_doc/new_site/population/urov/urov_31g.htm (дата обращения: 21.06.2017)
44. Цахилова С.Г. Влияние иммунного статуса матери на развитие плода и здоровье новорожденного / С.Г. Цахилова, В.П. Кузнецов, А.В. Хмельницкая, Н.Г. Зайнабекова, А.Б. Полетаев // Проблемы репродукции. Т. 22. – 2016. – №6. – С. 38–43.

45. Шабунова А.А. Особенности репродуктивного поведения населения / А.А. Шабунова, О.Н. Калачикова // СОЦИС: ежемес. науч. и обществ.-полит. журн. – 2012. – №8. – С. 78–84.
46. Щитинин В.В. Антенатальная патология плода: Руководство для врачей / В.В. Щитинин, Г.И. Кольпинский, Т.А. Камаева – М.: изд-во Киселева Н.В., – 2008.
47. Ananth C.V. Epidemiology of preterm birth and its clinical subtypes / C.V. Ananth, A.M. Vintzileos // J. Matern. Fetal Neonatal Med. – 2006. – Vol. 19. – P. 773–782.
48. Beer A. E. Reproductive Medicine program / A.E. Beer, J.Y.H. Kwak // Finch University of health Science. – 1999. – Vol. 41, – № 1. – P. 5–22.
49. Blondel B. Mortalite foeto-infantile. Evolution, causes et methods d'analyse / B. Blondel, G. Breart // Encycl. Med. Chir. (pris-France), Pediatrie. – 1990. – P. 12.
50. Caucheteux S.M. At the innate frontiers between mother and fetus: linking abortion with complement activation / S.M. Caucheteux, C. Kanellopoulos-Langevin, D.M. Ojcius // Immunity. – V.18. – 2003. – P. 169–172.
51. Desselberger U. Herpes simplex virus infection in pregnancy: diagnosis and significance / U. Desselberger // Intervirology. Vol. 41. – 1998. – № 4–5. – P. 185–190.
52. Dodd J.M. Prenatal administration of progesterone for preventing preterm birth in women considered to be at risk of preterm birth / J.M. Dodd, V. Flenady, R. Cincotta, C.A. Crowther // The Cochrane Database of Systematic Reviews. 2013, Jul 31; (7): CD004947 — URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/23903965>.
53. Loginov I.P. The aborigenos people of the North of Russia: psychosocial and somatic problem / I.P. Loginov, S.S. Suleimanov // Pr. of V Congress of World association for psychosocial rehabilitation. Rotterdam, – 1996. – P. 207.
54. Loke Y.W. Immunological aspects of human implantation / Y.W. Loke, A. King // J. Reprod. Fertil. Supplement. – 2000. – Vol. 55. – P. 83–90.
55. Murthy V. Antenatal infection: inflammation and fetal tissue injury / V. Murthy, N.L. Kennea // Clin. Obstet. Gynaecol. Vol. 21. – 2007. – N 3. – P. 479–489.
56. Sawyer M.G. A two-year prospective study of the health-related quality of life of children with chronic illness – the parents' perspective / M.G. Sawyer, K.E. Reynolds, J.J. Couper // Quality Life Research. – 2005. – №14. – P. 395–105.

Стаття надійшла до редакції 16.08.2017

УДК 57.043:576.311.347:577.334

С.В. ХИЖНЯК, С.В. СИСОЛЯТИН, С.В. МІДИК, В.М. ВОЙЦІЦЬКИЙ

МОДИФІКАЦІЯ СТРУКТУРНОГО СТАНУ КЛІТИННИХ МЕМБРАН ОРГАНІВ ТВАРИН ЗА ЕКЗОГЕННОГО ВПЛИВУ

***Анотація.** Представлені результати експериментальних досліджень структурних модифікацій внутрішньоклітинних мембран печінки і міокарда щурів за дії гіпокси-гіперкапнічного середовища поряд зі зниженням температури тіла (стан штучного гіпобіозу). Виявлені конформаційні перебудови білкових молекул і зниження структурної впорядкованості аннулярних ліпідів, що свідчить про зміни білок-ліпідних взаємодій в мембранах, а також зростання в клітинних мембранах печінки та міокарда вмісту загальних ліпідів, холестеролу і фосфоліпідів спрямовано на адаптацію до впливу чинників гіпоксії, гіперкапнії та гіпотермії.*

***Ключові слова:** клітинні мембрани, структурні перебудови, ліпіди, печінка, міокард, гіпоксія, гіперкапнія.*

Вступ

Однією з центральних проблем біології є дослідження адаптації організму до стрес-факторів довкілля завдяки діяльності комплексу біохімічних механізмів, що беруть участь у розвитку компенсаторних реакцій організму. Стан пригнічення життєдіяльності організмів, який настає за дії екзогенних чинників, поділяють на природний та штучний гіпометаболічні стани, механізми формування якого знаходиться в полі зору нового напрямку біологічної науки – гіпобіології [1].

Стан природної пониженої життєдіяльності організму тварин характерний для багатьох представників живого, природними чинниками розвитку та підтримання якого виступають різкі зміни температури навколишнього середовища та добового світлового режиму, дефіцит води, корму, зміни концентрації вуглекислого газу і кисню в атмосфері тощо [2]. Адаптаційні пристосування до дії екзогенних чинників середовища закладені в анатомо-фізіологічній, молекулярно-генетичній і біохімічній особливостях будови організму [3].

Сьогодні проблема створення повноцінних аналогів природної сплячки – штучного гіпобіозу – вирішена простими і абсолютно безпечними способами. Зокрема формування у тварин гіпобіотичного стану в умовах гіпотермії, гіперкапнії та гіпоксії [4]. Введення теплокровних організмів у стан глибокого гіпобіозу не вимагає будь-яких додаткових функціональних перебудов організму. За короткочасної дії гіпокси-гіперкапнії при зниженні температури організм використовує існуючі метаболічні резерви, які закладені в ньому в процесі тривалої еволюції [5]. Аналіз цих резервів – задача непроста, оскільки потребує використання різнобічних методичних та діагностичних підходів. Проте не викликає сумніву важливість досліджень у цьому напрямку, оскільки вони сприяють виявленню механізмів життєстійкості організму та можливих шляхів її збільшення.

У пристосуванні живих систем до екстремальних умов довкілля, зокрема дії іонізуючої радіації та важких металів [6, 7], важливу роль відіграє

структурно-функціональна модифікація клітинних мембран [8]. Ліпідний склад біологічних мембран забезпечує збереження ультраструктури, вибірково проникність, регуляцію ферментативної активності, стабільність мембрани, транспорт іонів та молекул. Порушення регуляції активності мембранозв'язаних ферментів та сигнальних білків, можуть бути обумовлені модифікацією характеру молекулярних взаємодій білкових молекул та аннулярних ліпідів, а зміни структурної впорядкованості ліпідної компоненти впливають на організацію функціонально-активної конформації білкових молекул в мембрані [9].

У зв'язку з цим метою даної роботи є дослідження структурного стану клітинних мембран печінки та міокарда щурів за штучно створеного гіпобіозу (вплив гіпоксії та гіперкапнії в умовах гіпотермії).

Матеріали і методи дослідження

Дослідження були проведені на безпородних щурах-самцях масою тіла 170–180 г, яких утримували на стандартному раціоні віварію. При експерименті дотримувались усі біоетичні норми, згідно з Європейською конвенцією «Про захист хребетних тварин, які використовуються для експериментальних і наукових цілей» (Страсбург, 1986 р.) і «Загальними етичними принципами експериментів на тваринах», ухваленими Першим Національним конгресом з біоетики (Київ, 2001).

Стан штучного гіпобіозу створювали за методикою Бахметьєва-Джайя-Анжуса, яка детально описана в роботах [10]. Тварин поміщали в герметично закриту камеру, об'єм якої складав 3 дм³, а температура в ній становить 3–4°C. Протягом подальших 3,5 год у камері змінюється склад газового середовища: зростає вміст вуглекислого газу та зменшується рівень кисню – у тварин розвивається гіперкапнія та гіпоксія, а температура тіла знижується до 16.5°C. Тварин при досягненні стану штучного гіпобіозу, а також тварин контрольної групи піддавали декапітації.

Отримання препаратів внутрішньоклітинних мембран (післямітохондріальна фракція) печінки та міокарда проводили із застосуванням методу диференційного центрифугування [11]. Концентрацію білка вимірювали методом Грінберга [12]. Структурно-динамічний стан ліпідної та білкової компонент клітинних мембран оцінювали, як детально описано в роботі [13]. Мікров'язкість ліпідної компоненти мембран визначали за ступенем ексимеризації пірену N ($N = Fe/F_m$, де Fe – інтенсивність флуоресценції ексимерів пірену, а F_m – мономерів) для загальної ліпідної фази при $\lambda_{36} = 335\text{ нм}$ (N_{335}) і аннулярних ліпідів при $\lambda_{36} = 280\text{ нм}$ (N_{280}) [14]. Конформаційний стан білкових молекул у мембранах оцінювали за ефективністю гасіння акриламідом триптофанової флуоресценції згідно з [15]. Інтенсивність флуоресценції триптофанових залишків білків мембран реєстрували при 338 нм, довжина хвилі збудження – 296 нм. Флуоресцентні дослідження проводили на спектрофлуориметрі Shimadzu-RF510 (Японія).

Екстракцію ліпідів проводили за методом Фолча [16] з модифікаціями. Кількість загальних ліпідів (ЗЛ) у тканинах визначали ваговим методом після відгонки екстрагуючої суміші [17]. Кількісне визначення загальних фосфоліпідів (ФЛ) проводили за використання гідроксаматного методу, а холестеролу – колориметричного методу за використання феруму хлориду [18].

Результати експериментальних досліджень обробляли загальноприйнятими методами варіаційної статистики. Зміни показників вважали вірогідними при $P < 0,05$.

Результати досліджень

Структурний стан мембранних білків оцінювали при визначенні власної флуоресценції мембран, яка в значній мірі обумовлена наявністю білкових триптофанів. Емісійний спектр триптофанової флуоресценції мембранних препаратів печінки та міокарда подібний з $\lambda_{\text{макс}} = 340$ нм (рис. 1).

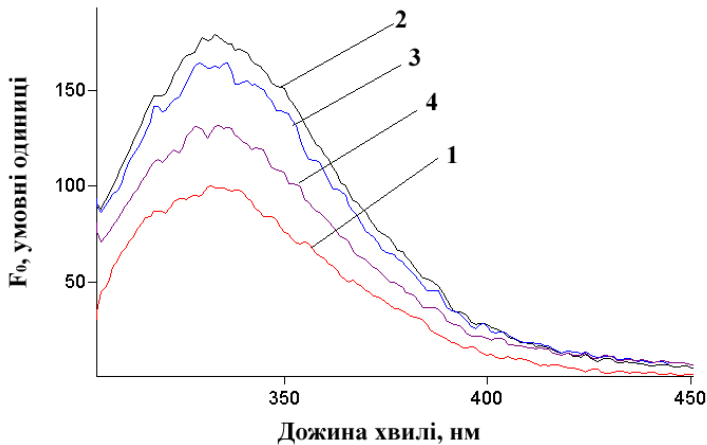


Рис. 1 – Емісійний спектр флуоресценції білків мембранних препаратів печінки (1,4) та міокарда (2,3) у контролі (3,4) та за гіпобіозу (1,2). По осі ординат (F , ум.од.), по осі абсцис (довжина хвилі, нм) ($\lambda_{\text{зб.}} = 295$ нм). Типовий експеримент

Відомо, що триптофан – найбільш інтенсивний природний флуорофор в білках, флуоресценція якого дуже чутлива до полярності оточуючого середовища. Максимум флуоресценції білків відображає середню доступність їх триптофанових залишків до водної фази [14, 15]. В наших дослідженнях величина спектрального (стоксівського) зсуву (при $\lambda_{\text{зб.}} = 295$ нм, $\lambda_{\text{фл. макс.}} = 340$ нм) відповідає поверхневій білковій локалізації триптофанових залишків, що знаходяться на межі розподілу ліпідна фаза – водна фаза та помірно полярному оточенню флуорофорів. Згідно з емпіричною моделлю Бурштейна [19] – це поверхневі залишки в оточенні зв'язаних, малорухомих диполів води.

Визначення власної флуоресценції мембран показало, що за штучного гіпобіозу її інтенсивність для міокарда збільшується на 12%, а печінки – знижується на 20% (табл. 1). Це може бути обумовлено структурними перебудовами в мембрані, оскільки інші спектральні характеристики триптофанової флуоресценції (положення максимуму спектру та ширина спектру флуоресценції) залишаються незмінними. Крім того, виявлені зміни флуоресценції триптофанових залишків білкових молекул в мембранах можуть бути обумовлені як конформаційними перебудовами білкової молекули, так і внутрішньо-молекулярною динамікою білків та характером

взаємодії їх триптофанових залишків з сусідніми групами, оскільки флуоресценція триптофанілів чутлива до рухомості сусідніх груп [14, 15].

Таблиця 1 – Показники структурно-динамічного стану клітинних мембран печінки та міокарда щурів за штучного гіпобіозу ($M \pm m$, $n = 6$)

Умови досліджу		Печінка		Міокард	
		Контроль	Гіпобіоз	Контроль	Гіпобіоз
Інтенсивність триптофанової флуоресценції F_0 , відн.од.		$1,00 \pm 0,02$	$0,80 \pm 0,04^*$	$1,00 \pm 0,03$	$1,12 \pm 0,06^*$
Частка доступних гасінню триптофанових залишків, f_a		$0,64 \pm 0,04$	$0,65 \pm 0,03$	$0,76 \pm 0,03$	$0,78 \pm 0,04$
Константа Штерна-Фольмера (K_{sv}), M^{-1}		$7,31 \pm 0,38$	$5,14 \pm 0,16^*$	$10,51 \pm 0,04$	$8,79 \pm 0,04^*$
Ступінь ексімеризації пірену відн. од.	N_{280}	$0,150 \pm 0,04$	$0,134 \pm 0,05$	$0,161 \pm 0,03$	$0,194 \pm 0,03^*$
	N_{335}	$0,234 \pm 0,04$	$0,212 \pm 0,05$	$0,265 \pm 0,03$	$0,280 \pm 0,03$

Примітка: K_{sv} – константа Штерна-Фольмера; F_0 – інтенсивність флуоресценції за відсутності гасника, $\lambda_{36} = 295$ нм, $\lambda_{fl} = 340$ нм, f_a – частка флуоресценції, яка зазнає гасіння. N – ступінь ексімеризації пірену в області аннулярних ліпідів ($\lambda_{36} = 280$ нм) та загальної ліпідної фази ($\lambda_{36} = 335$ нм).

* - $P < 0,05$ щодо контролю.

Для оцінки конформаційних змін мембранних білків досліджували гасіння триптофанової флуоресценції акриламідом – типовим нейтральним дифузійним гасником (акцептором електрону), який широко використовується у подібних експериментах [13]. При цьому враховували гетерогенність досліджуваних об'єктів (клітинні мембрани) по кількості триптофанових залишків різних типів: тобто наявності тих, які піддаються гасінню (наприклад, знаходяться на поверхні молекули білка), і тих, які не піддаються (наприклад, розміщені всередині білкової глобули), згідно з [15]. Саме у випадку наявності в досліджуваному препараті флуорофорних груп з різною здатністю до гасіння може спостерігатись відхилення від прямолінійної залежності кривих гасіння в координатах Штерна-Фольмера. В такому випадку для розрахунку параметрів гасіння власної білкової флуоресценції зручно використовувати модифіковане рівняння Штерна-Фольмера, яке враховує частку триптофанових залишків, які піддаються гасінню [15].

Додавання акриламіду до мембранних препаратів призводить до гасіння їх триптофанової флуоресценції (це спостерігається для усіх препаратів). При цьому не відбувається зсуву $\lambda_{\text{макс.}}$ флуоресценції триптофанілів. Відсутність зсуву $\lambda_{\text{макс.}}$ для мембран може пояснюватись наявністю ефективного переносу енергії між триптофанілами в гетерогенній їх популяції, що призводить до однакового гасіння їх флуоресценції. Показано, що зсув піку емісії відбувається лише за жорстких денатуруючих умов [20].

Аналіз даних по гасінню в модифікованих координатах Штерна-Фольмера дозволяє визначити частку флуоресценції триптофанових залишків (f_a), яка доступна для гасіння, та ефективну константу гасіння (K_{SV}), зміни якої відображають структурну динаміку білкових молекул. Причому ефективність гасіння триптофанової флуоресценції передусім залежить від швидкості дифузії гасника всередину білкової матриці, що обумовлено флуктуацією, тобто конформаційною динамікою. Встановлено (табл. 1), що за гіпобіозу частка доступних для гасіння триптофанових залишків білкових молекул досліджуваних мембран не змінюється. Встановлено зниження величини K_{SV} для препаратів печінки на 30%, а міокарда – на 16%, що свідчить про зменшення рухливості білкових молекул, тобто підвищення їх внутрішньомолекулярної жорсткості, яке може забезпечувати їх функціональну активність. За виходу із гіпобіозу величини досліджуваних показників для мембранних препаратів повертаються до рівня контролю.

На наявність конформаційних змін мембранних білків міокарда вказує збільшення інтенсивності триптофанової флуоресценції та зниження внутрішньомолекулярної рухливості білкових молекул, а для мембранних білків печінки – зниження інтенсивності триптофанової флуоресценції та внутрішньомолекулярної рухливості білкових молекул. Таким чином, структурні перебудови білкових молекул мембран супроводжуються внутрішньомолекулярними конформаційними перебудовами. Відомо, що основу структурної та функціональної цілісності біологічної мембрани складають білок-ліпідні взаємодії, які залежать як від організації білкових молекул в мембрані, так і структурної впорядкованості (мікрів'язкості) ліпідної компоненти мембран [9].

Мікрів'язкість ліпідної компоненти мембран досліджували з використанням гідрофобного зонду пірену, молекули якого локалізуються в ділянці жирнокислотних ланцюгів фосfolіпідів. При фіксованій температурі та концентрації зонду ступінь ексімеризації зонду залежить від мікрів'язкості його оточення і може виступати її характеристикою. З підвищенням мікрів'язкості дифузія молекул зонду уповільнюється, тому ймовірність зіткнення двох молекул зменшується, відповідно зменшується і ступінь його ексімеризації [14].

Визначення мікрів'язкості двох ліпідних фаз у одному зразку проводили при $\lambda_{36} = 335$ нм (в'язкість загальної ліпідної фази) та використовуючи метод індуктивно-резонансного переносу енергії (ІРПЕ) з триптофанових залишків мембранних білків на пірен при $\lambda_{36} = 280$ нм (в'язкість аннулярних ліпідів – знаходяться на відстані ближче 3 нм від білкової глобули). Всі дані розраховували, виходячи з первинних спектрів флуоресценції. На існування явища переносу енергії з мембранних білків на пірен вказують наступні дані. При внесенні пірену до проби, що містить мембранні препарати, інтенсивність триптофанової флуоресценції при $\lambda_{фл} = 340$ зменшується поряд із збільшенням флуоресценції при $\lambda_{фл} = 390$ нм та $\lambda_{фл} = 470$ нм (рис. 2) відповідно мономерної та ексімерної форм пірену. Тобто, в препаратах відбувається міграція енергії з триптофанових залишків білків на пірен.

Результати з визначення величини ступеня ексімеризації пірену у мембранних препаратах представлено в табл. 1. Слід зауважити, що ступінь ексімеризації пірену в різних ліпідних пулах як в контролі, так і за гіпобіозу значно не відрізняється. Цей факт вказує на відносну однорідність фізичних

властивостей (мікрів'язкості) ліпідної фази клітинних мембран. Встановлено (табл. 1), що для мембранних препаратів печінки за гіпобіозу ступінь ексімеризації пірену в загальній ліпідній фазі та для аннулярних ліпідів достовірно не змінюється. Для мембранних препаратів міокарда за умов гіпобіозу ступінь ексімеризації пірену для аннулярних ліпідів (N_{280}) зростає на 20,5%, а в загальній ліпідній фазі – не змінюється. За виходу із гіпобіозу величина ступеня ексімеризації пірену у досліджуваних мембранних препаратах повертається до рівня контролю. Отримані результати вказують на зменшення мікрів'язкості аннулярних ліпідів мембран міокарда за гіпобіозу, тобто зменшується структурна впорядкованість ліпідної компоненти мембран.

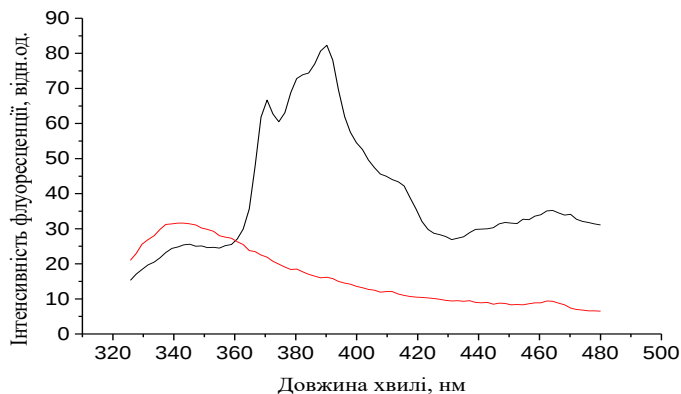


Рис. 2. – Спектри флуоресценції мембранних препаратів у відсутності (1) або присутності (2) 5 мкМ пірену, $\lambda_{\text{зб}} = 280 \text{ нм}$

Виявлене зниження структурної впорядкованості ліпідної компоненти мембран міокарда за штучного гіпобіозу свідчить про модифікацію білок-ліпідних взаємодій в мембрані. Крім того, зміна мікрів'язкості ліпідної фази мембран може бути пов'язана з порушенням гідрофобних взаємодій між молекулами ліпідів та α -спіральними ділянками білків [14].

Модифікація молекулярних взаємодій білкових молекул та аннулярних ліпідів може обумовлювати зміни в активності мембранозв'язаних ферментів та сигнальних білків, тобто зміни структурної впорядкованості ліпідної компоненти впливають на організацію функціонально-активної конформації білкових молекул в мембрані. В'язкість ліпідів, як відомо, є інтегральною величиною і залежить від складу фосfolіпідів, вмісту холестеролу, який впорядковує структуру мембрани, кількості ненасичених жирних кислот та ступеня їх ненасиченості тощо.

Результати дослідження вмісту загальних ліпідів (ЗЛ), холестеролу (ХС) та загальних фосfolіпідів (ФЛ) клітинних мембран печінки та міокарда щурів за штучного гіпобіозу та виходу із цього стану представлено в табл. 2. Для мембранних препаратів міокарда показано, що вміст ЗЛ зростає у групах ГП та ГП24 на 20,4% та 60,1% відповідно у порівнянні з контролем. Вміст загальних ФЛ також збільшується у групах ГП і ГП24 на 23,5% та 57,0% відповідно у порівнянні з контролем. Вміст ХЛ збільшується у групах ГП і ГП24 на 27,3% та 66,2% у порівнянні з контролем. Тобто, через 24 год після припинення дії чинників штучного гіпобіозу вміст ЗЛ, ФЛ і ХС продовжує зростати (табл. 2).

Для мембранних препаратів печінки показано, що вміст ЗЛ зростає на 27,2% у стані штучного гіпобіозу (група ГП), а через 24 год після виходу з цього стану (група ГП24) залишається вищим в середньому на 16,6% у порівнянні з контролем. Вміст загальних ФЛ в групі ГП зростає в середньому на 14,8%, а групі ГП24 не спостерігається істотних змін у їх вмісті у порівнянні з контролем. Вміст ХС в групі ГП зростає на 19,4%, а у групі ГП24 – повертається до рівня контролю (табл. 2).

Таблиця 2 – Вміст ліпідів у мембранних препаратах міокарда (1) та печінки (2) щурів за штучного гіпобіозу ($M \pm m$, $n = 8$)

Ліпіди		Контроль	ГП	ГП24
Загальні ліпіди, мкг/мг білка	1	298,6 $\pm$ 21,0	359,4 $\pm$ 30,2	479,8 $\pm$ 34,4*
	2	229,8 $\pm$ 15,0	292,4 $\pm$ 23,2*	267,9 $\pm$ 17,1*
Холестерол, мкг/мг білка	1	7,7 $\pm$ 0,6	9,8 $\pm$ 0,5*	12,8 $\pm$ 1,1*
	2	10,8 $\pm$ 0,5	12,9 $\pm$ 0,3*	11,8 $\pm$ 1,1
Фосфоліпіди, мкг/мг білка	1	231,2 $\pm$ 18,1	285,5 $\pm$ 21,0*	362,8 $\pm$ 31,1*
	2	211,2 $\pm$ 14,6	242,5 $\pm$ 13,0*	206,2 $\pm$ 20,1
ХС/ФЛ	1	0,065	0,060	0,074
	2	0,099	0,103	0,108

Примітка: ГП – штучний гіпобіоз; ГП24 – через 24 год після припинення дії чинників штучного гіпобіозу; ХС/ФЛ – молярне співвідношення.

* – $P \leq 0,05$ щодо контролю.

Холестерол (ХС) є одним із компонентів біологічних мембран, який входить до їх складу переважно у вільному стані та взаємодіє з молекулами білків і ФЛ. Чинники, які порушують «упаковку» ліпідів в біологічній мембрані, прискорюють, а чинники, що підтримують структурованість ліпідів (наприклад холестерол), гальмують ПОЛ [21]. Величина молярного співвідношення ХС/ФЛ є важливою характеристикою мембран, яка в певній мірі пов'язана із їх структурно-функціональною активністю.

Співвідношення ХС/ФЛ у мембранних препаратах міокарда для групи ГП не відрізняється від контрольних значень, а для групи ГП24 збільшується в середньому на 14,0% у порівнянні з контролем. Величина співвідношення (ХС/ФЛ) у мембранних препаратах печінки за штучного гіпобіозу істотно не змінюється, а для групи ГП24 збільшується в середньому на 9,0% у порівнянні з контролем (табл. 2). Отримані результати вказують на особливості у перерозподілі вмісту ЗЛ, ХЛ, ФЛ для внутрішньоклітинних мембран печінки та міокарда за штучного гіпобіозу і виходу із цього стану. Введення тварин в стан штучного гіпобіозу призводить до зростання вмісту ЗЛ та основних ліпідів мембран (ФЛ та ХС). Через добу після припинення дії чинників штучного гіпобіозу вміст досліджуваних ліпідів для мембранних препаратів печінки повертається до контрольних значень, а для мембранних препаратів міокарда продовжує зростати, що вказує на регуляторну роль ліпідів для підтримки функціональної активності серця за екстремальних умов. При цьому для міокарда зростає і співвідношення ХС/ФЛ внутрішньоклітинних мембран, що характеризує їх структурно-функціональний стан.

Детальне дослідження структурно-функціонального стану внутрішньої мембрани мітохондрій [22, 23], які є основними постачальниками акумульованої в АТФ енергії в еукаріотичних клітинах, що важливо для виконання клітиною специфічних функцій, у тому числі формування реакції-відповіді на зовнішній вплив [24], показало зміни структури та фізичних властивостей внутрішньої мембрани мітохондрій гепатоцитів та кардіоміоцитів, які полягають у модифікації поверхневих ділянок, структурної впорядкованості ліпідної компоненти, гідрофобних білок-ліпідних взаємодій, конформації мембранних білкових молекул. Враховуючи, що функціонування мембранних систем, в тому числі інтегральних мембранних білків, залежить від їх динамічних властивостей та ліпідного оточення, виявлені за гіпобіозу зміни структурно-динамічної впорядкованості переважно мітохондріальної мембрани можуть призводити до змін функціонування транспортних систем, процесів енергетичного обміну тощо. Це може виступати складовою клітинного механізму дії гіпокси-гіперкапнічного середовища.

Таким чином, стан штучного гіпобіозу при температурі тіла 16–17°C за умов гіпоксії-гіперкапнії викликає адаптивні зміни структурного стану та хімічного складу внутрішньоклітинних мембран печінки та міокарда, що забезпечує виживання ссавців за екстремальних умов. Отримані дані вказують на їх структурні перебудови, що полягають у зменшенні впорядкованості ліпідної компоненти, а саме прибілкового ліпідного бішару, та конформаційній модифікації білкових макромолекул. Показана роль ліпідів в механізмах адаптації клітинних мембран до гіпобіотичних умов. Дослідження механізмів штучних гіпометаболічних станів є важливим для адаптаційної біології.

Висновки

1. Введення щурів в стан штучного гіпобіозу за впливу гіпокси-гіперкапнічного середовища при зниженні температури тіла супроводжується структурними модифікаціями внутрішньоклітинних мембран печінки та міокарда, які супроводжуються внутрішньомолекулярними конформаційними перебудовами білкових молекул та зниженням структурної впорядкованості ліпідної компоненти (аннулярних ліпідів), що свідчить про порушення білок-ліпідних взаємодій в мембрані.
2. Встановлено, що за дії чинників штучного гіпобіозу для внутрішньоклітинних мембран міокарда та печінки спостерігається зростання вмісту загальних ліпідів, холестеролу і фосфоліпідів, кількість яких в міокарді продовжує зростати через 24 год після виходу тварин із стану гіпобіозу.
3. Отримані результати свідчать про структурно-функціональну роль ліпідів клітинних мембран печінки та міокарда за штучного гіпобіозу, яка спрямована на адаптацію до екстремальних умов.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Угаров Г.С. Теоретические основы гипобиологии / Г.С. Угаров // Фундаментальные исследования. – 2013. – №10. – С. 1280–1283.
2. Тимофеев Н.Н. Гипобиоз и криобиоз. Настоящее, прошлое и будущее / Н.Н. Тимофеев. – М.: Информ-Знание, 2005. – 256 с.
3. Withers, P.C. Metabolic depression: a historical perspective / P.C. Withers, C.E. Cooper // Progress in Molecular and Subcellular Biology. – 2009. – Vol. 49. – P. 1–23.

4. Мельничук С.Д. Гіпобіоз тварин (молекулярні механізми та практичне значення для сільського господарства і медицини) / С.Д. Мельничук, Д.О. Мельничук. – К.: Видавничий центр НАУ, 2007. – 220 с.
5. Лукьянова Л.Д. Современные проблемы адаптации к гипоксии. Сигнальные механизмы и их роль в системной регуляции / Л.Д. Лукьянова // Патол. физиология и эксперим. терапия. – 2011. – № 1. – С. 3–19.
6. Хижняк С.В. Структурний стан мембран мітохондрій ентероцитів тонкої кишки та гепатоцитів за дії екзогенних чинників / С.В. Хижняк, В.А. Грищенко, Л.І. Степанова, А.О. Прохорова, В.М. Войціцький // Вісник ХНУ. Серія біологія. 2011. – Т. 40. – Вип. 2. – С. 196–200.
7. Хижняк С.В. Клітинні механізми токсичності кадмію / С.В. Хижняк. – К.: Видавництво „LAT& K”, 2010. – 213 с.
8. Brown B.S. Biological membranes / B.S. Brown. – Manchester: «Oxford Road», 1999. – 45 p.
9. Геннис Р. Биомембраны: Молекулярная структура и функции / Р. Геннис. – М.: Мир, 1997. – 624 с.
10. Мельничук С.Д. Енергетична функція мітохондрій кардіоміоцитів щурів за штучного гіпобіозу / С.Д. Мельничук, С.В. Хижняк, В.С. Морозова, Л.І. Степанова, А.О. Уманська, В.М. Войціцький // Фізіологія тварин. – 2015. – Т. 61, № 2. – С. 15–22.
11. Северина С. Е. Практикум по биохимии: Учебное пособие / Под. ред. С. Е. Северина, Г. А. Соловьевой. – М.: Изд-во МГУ, 1989. – 509 с.
12. Greenberg C.S. Rapid single-step membrane protein assay / C. S. Greenberg, P.R. Craddock // Clin. Chem. – 1982. – V. 28, № 7. – P. 1725–1726.
13. Zhirnov V. The effects of ultra-low dose -radiation on the physical properties of human erythrocyte membranes / V. Zhirnov, S. Khyzhnyak, V. Voitsitsky // Int. J. Rad. Biol. – 2010. – V. 86, № 6. – P. 499–506.
14. Добрецов Г.Е. Флуоресцентные зонды в исследовании клеток, мембран и липопротеидов / Г.Е. Добрецов. – М.: Наука, 1989. – 277 с.
15. Лактович Дж. Основы флуоресцентной спектроскопии / Дж. Лактович. – М.: Мир, 1986. – 236 с.
16. Folch J.A. Simple Method for the Isolation and Purification of Total Lipides from Animal Tissues / J. A. Folch, M. Leez, G.H.S. Stanley // J. Biol. Chem. – 1957. – Vol. 226, № 2. – P. 497–501.
17. Kates M. Techniques of lipidology: Analysis, isolation and Identification of Lipids / M. Kates // American Elsevier Pub. Co., Inc., New York, N.Y., 1986. – P. 163–164.
18. Петровский В.И. Экстракция, разделение и количественное определение липидных фракций сыворотки крови / В.И. Петровский, Т.И. Регеранд, Е.И. Лизенко // Лаборат. дело. – 1986, № 6. – С. 339–343.
19. Бурштейн Э.А. Собственная люминесценция белка: Природа и применение / Э.А. Бурштейн // Итоги науки и техники. Сер. Биофизика. – Т. 7. – М.: ВИНТИ, 1977. – 190 с.
20. Tyson P.A. Assembly of tryptophan residues in Na,K-ATP-ase / P.A. Tyson, M. Steinberg // J. Biol. Chem. – 1987. – Vol. 262, № 10. – P. 4644–4648.
21. Коломийцева И.К. Липиды ядерных фракций нейронов и глии неокортекса при искусственном гипобіозе крыс / И.К. Коломийцева, Л.Н. Маркевич, Д.А. Игнатъев, О.В. Быкова // Биохимия. – 2010. – Т. 75. № 9. – С. 1265–1272.
22. Хижняк С.В. Вплив гіпоксигіперкапнії на структурний стан клітинних мембран гепатоцитів щурів / С.В. Хижняк, Л.І. Степанова, С.В. Мідик, С.Д. Мельничук // Scientific Journal “Science Rise” № 10/6 (15). – 2015. – С. 27–31.
23. Хижняк С.В. Енергетична функція мітохондрій за гіпобіозу / С.В. Хижняк, В.М. Войціцький, С.Д. Мельничук // Монографія. – К.: ЦП «Компринт», 2016. – 190 с.
24. Скулачев В.П. Мембранная энергетика / В.П. Скулачев, А.В. Богачев, Ф.О. Каспаринский // М.: И-во Московского ун-та, 2010. – 368 с.

Стаття надійшла до редакції 24.07.2017

УДК 628.16.086.4

E.S. MALKIN, N.E. ZHURAVSKAYA

ECOLOGO END ENERGY-SAVING TECHNOLOGIES WITH THE USE OF WATER TREAT IN THE MAGNETIC FIELDS

Abstract. *The current hypotheses of water structure and influence of the magnetic field on the change in its structure have been analyzed. The hypotheses of the feasibility of using high-frequency electromagnetic fields to enhance their impact on the water structure and the stability of this process have been formulated. Experimental studies using water treated in the high-frequency electromagnetic fields for the ecoconcrete production have been carried out.*

Keywords: *magnetized water, field density, wave motion frequency, water processing time in the field, water velocity.*

Introduction

Since the mid XX th century, the Soviet Union began conducting scientific studies and practical application of magnetic water in different industries [1–6].

Y.G. Dorfman [7] examined the relationship between magnetic properties and structure of matter. However, along with significant achievements in scientific research and practical application in many sectors of the economy: thermal power, building materials, agriculture, medicine, etc. there have been cases of results instability. This was due to nonstrict hypotheses on the water structure model and, consequently, on the effects of magnetic fields on it.

Meanwhile, Y.I. Frenkel [8] believed that the liquid in its structure is closer to the solid body, rather than gases. In liquids, as well as in solids, thermal vibrations of the particles occur around some equilibrium positions, and, unlike in solids, in liquids oscillating particles do not remain in one place for a long time, but abruptly move from one equilibrium position to another one. Based on the ratio obtained by Y.I. Frenkel it turns out that each molecule of water before moving from one equilibrium position to another one makes 1000 vibrations in the original position. Based on this Y.I. Frenkel concluded that the water particles are mostly "sedentary". Applying this conclusion for water, taking into account the theory of its cluster structure appeared later on we can assume that to destroy clusters with significant savings of heat energy it is necessary to provide the vibration frequency of water molecules of more than 1 kHz. In this case the equilibrium will be destabilized, and the clusters will break down rapidly.

Thus, the time of monomolecular water creation by molecules other than the "biofield", i.e. charged, should be decreased dramatically and gain stability.

The main part

After studying the application of the theory of magnetic water and significant achievements in scientific researches and practical application in building materials production we have proposed technologies of concrete products manufacture using high-frequency electromagnetic devices for magnifying "I", as well as the device "II".

Magnetic water was received on the stand with two devices that can operate independently from each other [9].

The task of the research is to carry out comparative studies of the optimization process of magnetic water according to this technology, field parameters and water-cement ratio of the initial formulation of products. To conduct products research after a certain period of time (28 days) (strength gain) using steaming and without steaming. To consider the effect of magnetic water as an activator, with the use of components to obtain concrete with damaged structure and of various chemical compositions, with various additives.

For the experiment over 200 samples of concrete cubes (70x70x70) have been prepared according to the recipe (for 1 m³ of concrete) in two ways:

- 1) cement (III/I 500) – 250 kg/m³; sand – 760 kg/m³; gravel of fraction 5...10 mm – 350 kg/m³, 10...20 mm – 810 kg/m³; water – ordinary water – 193 l/m³,
- 2) the same composition but instead of ordinary water magnetic water.

Magnetic water was prepared with the help of magnets "I".

The results of experimental measurements of the magnetic fields generated by the device "I": the magnetic resistant sensor KMZ 10C with susceptibility coefficient 1.5 (mV/V)/(kA/m) has been used. According to the technical documentation the device has two operating modes (1, 2), for work with ferrous and nonferrous metals. The water processing takes place in the regime of preventing scale formation and in the regime of existing deposits.

Accordingly, the magnetic field intensity has been measured in two modes:

Cleaning 1 (CL1).

The signal configuration consists of high-frequency pulses that generate a field with strength of 0.23 T to 0.43 T. Each signal consists of pulse packets (packets for 8 pulses). The pulse length is 80 ms with a period of 75 ms between pulses and the interval between packets 1500 ms.

Cleaning 2 (CL2).

The signal configuration consists of high-frequency pulses that generate a field with strength of 0.23 T to 0.43 T. Each signal consists of pulse packets (16 pulses packets). The pulse length is 35 ms with a period of 20 ms between pulses and the interval between packets 1300 ms.

Note: The figures were taken directly from the surface of the core.

Samples prepared in the form of cubes, with a working section 70x70 have been made in batches (with or without steaming up to 28 days). The steaming chamber (t = 80° C = 6 h) has been used for steaming.

The results of these studies are shown in (Fig. 1, 2, 3). The determination of the samples compression breaking strength was performed according to the standards with current standards.

On the 7th day the strength of the samples prepared with the magnetic water is 20–40% more than the strength of samples prepared with ordinary water. On the 7...11th day samples prepared with the magnetic water gain the same strength as the samples with ordinary water on the 28th day. On the 28th day the strength of the samples prepared with magnetic water is 7...12% more than that of the samples prepared with plain water.

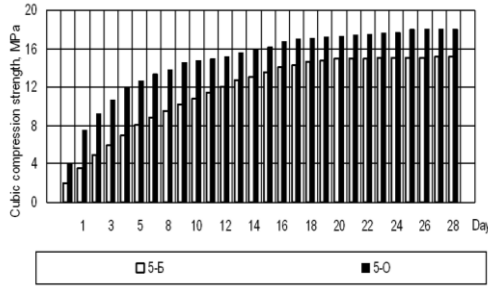


Figure 1 – Dependence of the samples strength on time, 5 – experimental series number. Series «Б» – samples prepared by classical technology using ordinary water. Series "O" – samples prepared with magnetic water. Б-5, W/C = 0.71 (slag Portland cement), CL2 installation mode

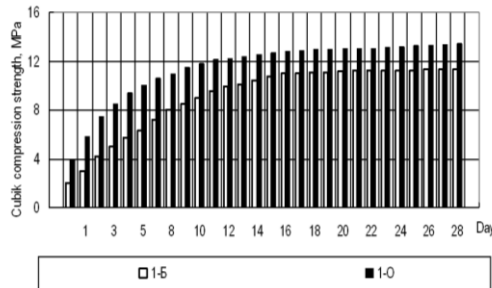


Figure 2 – Dependence of the samples strength on time, 1 – experimental series number. Series «Б» – samples prepared by classical technology using ordinary water. Series "O" – samples prepared with magnetic water. 1-O, W/C = 0.72; CL2 installation mode

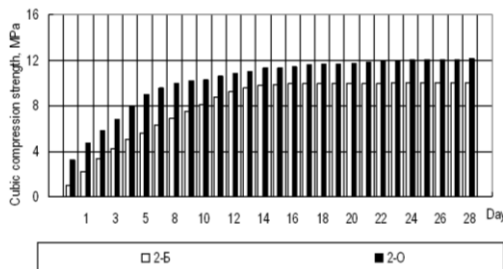


Figure 3 – Dependence of the samples strength on time, 2 – experimental series number. Series «Б» – samples prepared by classical technology using ordinary water. Series "O" – samples prepared with magnetic water. 2-Б, W/C = 0.61 (15% from the proposed formulation), CL2 installation mode

The Dissertation tells about the substantiation of influence of magnetic treatment of purified water on the kinetics changes the physical characteristics of its structure and the impact of these changes on the efficiency of energy of heating systems. The existent scientific hypotheses of influence of magnetic-field are analyzed on the molecules of water, features magnetic water that can be used in many spheres of vital functions, power engineering specialists etc. Application of technologies with the use of magnetic water assist an economy and maintenance of resources.

The European citizens spend more than 90% of their time in a confined space. More than 40% of people in enclosed spaces complain of the worsening state of health and various inconveniences (European Construction Technology Platform, 2005). Scientific studies have shown that the deformation process of nonmetallic building materials such as concrete, plaster, dry mixes of different origin is connected with the action of microorganisms. These structures damage is caused by the influence of microorganisms leading to a synergy of different types of corrosion.

Microbiological corrosion of concrete is found in residential and industrial buildings. The external manifestations of damage of building materials, products and designs by microorganisms are blistering, cracking, delamination of entire fragments of plaster, on the floor, ceiling and walls the presence of dark spots (Fig. 4). Often these phenomena are accompanied by a variety of climatic conditions (high humidity, temperature extremes). Air pollution can cause respiratory and cardiovascular diseases, cancer, premature birth, increased infant mortality, neurological and psychiatric disorders, decreased immunity. 72% of residents of contaminated areas suffer from chronic bronchitis, diseases of the respiratory system. There is a clear link between air pollution and extensive myocardial infarction.

For prevention and creating a safe environment it is necessary to:

- reduce consumption of energy and material resources throughout the life cycle of buildings and structures, ranging from the manufacture of materials for buildings (based on strength increase) and materials biodegradation problems, site selection and further during design, construction and operation (creation of microclimate conditions, including in the working area of buildings and structures);
- expand and complement the classical building design with concepts of saving, serviceability, durability, impact on the environment and human health due to the resource saving (electricity, water and other resources usage taking into account progressive methods, including nanotechnologies as well)...



Figure 4 – The microbiological corrosion in industrial building

At residential, public and industrial buildings and structures, agricultural buildings, meat and dairy and livestock complexes the use in the operation of too

high or low indoor temperatures, humidity, lighting, air quality (carbon dioxide, smoke, hazardous fine and coarse particles, dangerous radiation, microorganisms, etc.), noise, allergens, harmful gas, the improper disposal of waste water (Fig. 5), a solid or liquid waste have a detrimental effect. They are dangerous to human health and adversely affect the quality components in the operation of building materials.



Figure 5 – Biological corrosion in animal farm

The adverse effect on the human body is caused by a set of interactions between the material, environment and man, according to the dynamics of possible current state of relations "environment-man".

About 20% of the European citizens have an allergic reaction to the mites and lower fungi (caused by biodegradation of materials and structures, and others). The dominance of asthma and allergies in residential buildings is also increasing. In Europe one of seven children suffers from asthma and in Western Europe the number of such children is ten times higher than in Eastern Europe (European Construction Technology Platform 2005). The main factors of concrete deterioration or corrosion are the environmental effect, aggressive atmosphere, changes of the indoor climate. At the same time the main threat to concrete is the same thing that contributes to concrete hardening – water and gas. Today it is accepted to distinguish several types of concrete corrosion depending on the characteristics of its triggering processes.

Chemical corrosion of concrete is most widely spread. Most often it is caused by the interaction of the surface layers of the concrete with atmospheric moisture and carbon dioxide contained in the air. Ensuring an effective response to biological corrosion of various building materials, products and structures caused by the vital activity on them or in them of various microbes and fungi, is becoming more and more acute scientific and practical problem in the field of construction and operation of residential and industrial buildings and structures (biological corrosion). Currently, more than 40–50% of the total number of recorded in the world injuries are related to the activity of micro-organisms.

There was done the experimental study of the influence of magnetic field on the structure and physical and chemical properties of water. It was found that the magnetic field significantly affects the kinetics of physical and chemical properties of water. With the experimental methods, there was developed a physical model of turning water into monomolecular structure with positively charged molecules, weak electrolyte. This causes an increase of speed and power in interactions of these molecules with molecules of other substances including internal and external surfaces of materials. There was done a full-scale study of the influence of the reagentless water treatment at different stages of heating supply which confirmed an increase in their energy efficient systems to 40%.

Conclusions

Our studies confirm the practicability of the magnetic water use as an activator in the production of construction materials, which will let use energy-efficient nanotechnologies in the production. This requires a deep study of complex physical and chemical systems, which is scheduled by the author in the following series of experiments.

The use of water treated with high-frequency electromagnetic fields obtained from devices "I" (Ilios) lets reduce energy end ecologic consumption during heat treatment of concrete (steaming) [10].

To receive detailed experimental data on the magnetic field of the device "II" (Kalmat) is a subject for further study: with the purpose to warn potentially adverse environmental an economic consequences it is recommended to use the latest advanced technologies (plasticizers et al.), activated (magnetic) water in the concrete and reinforced concrete production.

LITERATURE

1. Minenko, V. I. Magnetic Treatment of Water-Dispersed Systems. / V. I. Minenko. – "Technika", 1970. – 168 p.
2. Klassen, V. I. Waterand Magnet. / V. I. Klassen. – Moscow. : Publishing House "Nauka", 1973. – 112 p.
3. Stukalov, P. S. Magnetic Water Treatment. / P. S. Stukalov, E. V. Vasiliev, N. A. Glebov. – Leningrad: Publishing House "Sudostroitelstvo", 1969. – 192 p.
4. Tebenihin, E. F. Water Treatment by the Magnetic Field in Heat Engineering / E. F. Tebenihin, B. T. Gusev. – M. : Energy, 1970. – 144 p.
5. Davidzon, M. I. Electromagnetic Treatment of Water Systems in Textile Industry. / M. I. Davidzon. – Moscow. : Legprombytizdat, 1988. – 178 p.
6. Pomadkin, V. A. On the Use of Magnetic Water for Concrete Mixtures // Concrete and Reinforced Concrete. – 1998. – №3. – P. 26–27.
7. Dorfman, Y. G. Magnetic Properties and Structure of Matter [Text] / Y. G. Dorfman. – M. : State Publishing House of Technical Literature, 1955. – 377 p.
8. Frankel, Y. I. Kinetic Theory of Liquids. / Y. I. Frenkel. – Moscow – Leningrad: Pub. USSR Academy of Sciences, 1966. – 409 p.
9. Zhuravska, N. E. The use of magnetic water in capillary-porous materials / N. E. Zhuravskaya // Mistobuduvannya that teritorialne planuvannya: Nauk.-tehn. zbirnik. Vidpov. Ed. M. M. Osetrin. – K., KNUBA, 2014. – V. 53. – P. 167–172.
10. Zhuravska, N. E. The Question Of Biodeterioration Of Concrete And Reinforced Concrete. / N. E. Zhuravskaya // Resource Saving Materials, Structures, Buildings And Structures. Collection Of Scientific Works. V. 28. – Rivne. : NUVGP, 2014. – P. 181–187.

Стаття надійшла до редакції 16.01.2017

ІНФОРМАЦІЙНІ РЕСУРСИ ТА СИСТЕМИ

УДК 504.05; 502.58:556.166: 532.5:528

Я.В. ХОДНЕВИЧ, Д.В. СТЕФАНИШИН, В.М. КОРБУТЯК

ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ УМОВ ВИНИКНЕННЯ МІСЦЕВИХ РОЗМИВІВ РУСЕЛ РІК

***Анотація.** Запропоновано підхід до прогнозування місцевих розмивів русел та берегів рік на основі імітаційного комп'ютерного моделювання, який ґрунтується на ідеї синтезу результатів геоінформаційного аналізу, морфологічних, гідрологічних і гідравлічних досліджень та чисельного математичного моделювання кінематики місцевих розвинутих турбулентних течій за русловими утвореннями. Підхід дозволяє виявляти потенційно небезпечні ділянки рік, де можлива інтенсифікація місцевої руслової і берегової ерозії в залежності від основних гідроморфологічних характеристик русла ріки та типу руслового процесу. Показано, що при математичному моделюванні кінематичних характеристик місцевих турбулентних течій за русловими утвореннями можуть використовуватися дані дистанційного зондування Землі та геопросторового аналізу. Математичне моделювання кінематичних характеристик потоку здійснюється в межах тривимірної моделі з використанням рівнянь Рейнольдса.*

***Ключові слова:** геопросторовий аналіз, дистанційне зондування Землі, імітаційне моделювання, інтелектуальна задача, місцеві руслові деформації, рівняння Рейнольдса, прогнозування, русловий процес.*

Вступ

Натурні спостереження за русловим процесом на малих і середніх ріках показують, що при паводках в місцях розташування в руслах різного роду перешкод, які відхиляються від берега вниз за течією (дерев, що падають в русла, гряд наносів тощо), спостерігаються місцеві розмиви дна і берегів рік (рис. 1, 2), інколи – з тяжкими наслідками. Існують численні випадки берегової ерозії за такими утвореннями, в тому числі з руйнуванням дорожньої інфраструктури, рекреаційних та інших об'єктів народного господарства. Наприклад, в м. Надвірна під час вересневої повені 2007 р. в парковій зоні внаслідок місцевої ерозії за деревами, що впали в русло, було розмито берег р. Бистриця Надвірнянська на ділянці протяжністю 150 м на ширину до 15 м

(рис. 3). На Західному Бузі у Волинській області в місцях стиснення русла за природними русловими утвореннями в результаті берегової ерозії роками відбувається зміна державного кордону України з втратою території [1].



Рис. 1 – Мезоформи в руслі р. Дністер біля с. Довге (Івано-Франківська обл.) зі слідами берегової ерозії (знімок з Google Earth)



а)



б)

Рис. 2 – Приклади місцевого розмиву берегів рік у Рівненській області:

а) за деревом, що впало в русло ріки (р. Горинь, с. Шубків);

б) за грядою наносів (р. Случ, с. Маринин)



Рис. 3 – Берегова ерозія на р. Бистриця Надвірнянська в м. Надвірна (Івано-Франківська обл.) (з <http://pravda.if.ua/news-491.html>)

Проведені О.С. Щодро [2-4] лабораторні дослідження показують, що стиснення русла перешкодами не лише призводить до збільшення середніх швидкостей транзитного потоку в живих перерізах. За певних умов за русловими перешкодами, які орієнтовані природним чином, можуть виникати потужні місцеві гвинтоподібні турбулентні течії, які провокують переміщення наносів у напрямку від берега й створюють умови для інтенсифікації місцевого розмиву. В результаті на відповідних ділянках при проходженні паводків руслові переформування нерідко набувають катастрофічного характеру.

Прогнозування місцевих розмивів русел рік є складною задачею. Її рішення неможливе без використання знань з різних предметних областей, таких, наприклад, як гідрологія (стік води, руслові процеси), гідравліка (рух води у відкритих руслах, гідродинаміка), інженерна геологія і механіка ґрунтів, фізичне моделювання водних потоків та теорія подібності, прикладна математика (рівняння математичної фізики, чисельне і комп'ютерне моделювання, розв'язання прямих і обернених задач), інтелектуальний аналіз даних, геоінформатика (дистанційне зондування Землі, ДЗЗ), системний аналіз тощо. Подібні задачі прийнято називати інтелектуальними. Вони важко формалізуються, характеризуються неповнотою, неточністю і суперечливістю даних і знань, великою розмірністю простору рішень, нечіткістю цілей і критеріїв тощо. Класичні підходи до їх розв'язання можуть призводити до створення занадто складних математичних моделей, які важко забезпечити необхідними вхідними даними, точність яких відповідала б можливостям цих моделей [5]. Тому успіх в їх розв'язанні лежить в умінні, залежно від ситуації, використовувати різну інформацію, різні підходи та моделі, застосовувати різні алгоритми, критерії та принципи.

Одним з підходів до розв'язання подібних задач може бути імітаційне комп'ютерне моделювання. При такій постановці задача прогнозування місцевих розмивів русла і берегів ріки може зводитися до математичного моделювання умов виникнення розмивів за донними перешкодами з використанням накопиченої інформації як щодо загальних закономірностей перебігу руслового процесу на вибраній ділянці, так і актуальних геопросторових даних щодо особливостей гідроморфології русла, параметрів руслових утворень, які примикають до берегів тощо. Це дозволить поєднати можливості різних галузей знань, різних підходів і методів з метою отримання результатів з достатньою для прийняття практичних рішень точністю.

Оскільки геопросторові дані змінюються в просторі і часі, то важливим їх джерелом для розв'язання поставленої задачі може стати супутникове знімання. Наразі існують численні архіви супутникових знімків з вільним доступом, серед яких слід відзначити бібліотеки знімків програми Європейського космічного агентства (ESA) (ці супутники забезпечують роздільність від 10 м). Після попередньої реєстрації потрібні знімки легко завантажуються зі сторінки sentinels.copernicus.eu. Досить зручний доступ до даних ДЗЗ розробила також компанія EOS Data Analytics (lv.eosda.com/). Просторова роздільність моделей рельєфу, які, наприклад, отримуються за безкоштовними супутниковими знімками Sentinel 1, складає від 5 м і є цілком достатньою для виявлення потенційно небезпечних ділянок русла ріки.

Огляд проблематики досліджень

Ріка є наслідком складного фізико-географічного процесу, що розвивається в просторі і часі при взаємодії численних факторів, як природних (кліматичних, геологічних, гідрологічних), так і, особливо в наш час, антропогенних. Це динамічна система, в якій водний потік не лише формує й переформовує просторову структуру ландшафту, а й закономірно впливає на склад і якість його компонентів. З кожним паводком, в ході ерозійно-аккумулятивної діяльності ріки, на різних її ділянках, відбуваються руслові переформування, які, інколи, можуть загрожувати народногосподарським об'єктам і безпеці людини. При цьому величину шкоди і збитків внаслідок діяльності ріки можуть визначати не лише масштаби природокористування в її долині, а й особливості перебігу руслового процесу на відповідній ділянці ріки, склад, вид й параметри руслових утворень.

Дослідження руслового процесу ведуться вже давно, основні практичні та теоретичні результати отримано ще в кінці 19 ст. – початку 20 ст. (роботи Л. Фарга, В.М. Лохтіна, М.С. Лелявського). В подальшому теорія руслового процесу набула значного розвитку в 50–70 рр. минулого століття. Серед робіт, присвячених дослідженням руслового процесу та основних руслоформуючих факторів, які визначають структуру та розмивну здатність відкритих водних потоків, слід відзначити роботи М.А. Веліканова, В.Г. Глушкова, В.Н. Гончарова, В.І. Антроповського, К.В. Грішаніна, М.А. Ржаніцина, Н.І. Маккавєєва, М.Є. Кондратьєва, І.В. Попова, Н.С. Знаменської, Б.Ф. Сніщенка, З.Д. Копаліані, Р.С. Чалова, О.Н. Кафтана, В.В. Онищука та ін. [6–13]. В цих роботах підкреслюється, що попри велике різноманіття форм річкових русел, яке зумовлюється складною взаємодією та впливом різноманітних факторів, русла річок можуть мати подібну гідроморфологію, яка тісно пов'язана з характерними типами руслового процесу [10], кожен з яких, у свою чергу, характеризує особливості перебігу ерозійно-аккумулятивної діяльності ріки на відповідній ділянці. Формування типів руслового процесу відбувається протягом тривалого періоду часу (під дією природних чинників – віками [10]). Схеми руслових деформацій є достатньо стабільними при відносній сталості визначальних чинників руслового процесу – стоку води, стоку наносів та обмежувального фактора, не змінюються при короткотривалих змінах водного режиму ріки.

Методи математичного і чисельного моделювання кривої вільної поверхні та плану течій у природних руслах детально представлено в роботах В.А. Базилевича, Н.М. Бернадського, М.А. Веліканова, К.В. Грішаніна, В.С. Кожевнікова, Н.Т. Мелешенка, В.Я. Савенка, В.А. Ткаченка, І.А. Шеренкова та ін. Усереднені значення швидкостей потоку, які отримуються при цьому в рамках одновимірної та двовимірної моделей гідродинаміки, відповідають даним натурних та лабораторних досліджень [14, 15].

Проблеми, пов'язані з дослідженнями умов формування та розвитку турбулентних течій за русловими перешкодами, як природними (гряди наносів, дерева, що впали в русло тощо), так і штучними (донні уступи гідроспоруд, опори мостових переходів, загати і напівзагати), та прогнозуванням руслової ерозії, місцевих розмивів річкових русел, спричинених такими течіями, також не є новими. Їх досліджувало ряд відомих вчених, серед яких В.С. Алтунін, К.Ф. Артамонов, В.О. Большаков,

Н.П. Буданов, В.А. Воскобійник, М.М. Журавльов, О.А. Курганович, Е. Лаурсен, В.О. Маглакелідзе, Ц.Є. Мірцхулава, В.С. Муромов, Ю.Л. Пейч, Т.П. Радченко, Г.Б. Руруа, С.Г. Ткачук, В.Ш. Ципін, О.Є. Щодро та ін. Як свідчать результати натурних та експериментальних досліджень, турбулентність водного потоку є основним фактором, який визначає напрям та інтенсивність місцевих руслових переформувань на різних ділянках ріки [2–4, 16–18], яка може суттєво підсилюватися при обтіканні різного роду донних перешкод та руслових форм (боковиків, гряд тощо, що формуються в руслі за рахунок транспорту донних наносів).

Серед експериментальних досліджень місцевих турбулентних течій та місцевих розмивів біля руслових перешкод з точки зору близькості до відтворення реальних умов їх виникнення та перебігу слід відзначити дослідження О.Є. Щодро [2–4], результати яких були прийняті нами в якості основних робочих гіпотез при імітаційному моделюванні умов виникнення місцевих розмивів русла і берегів за донними перешкодами, що формуються природним чином. Згідно з цими гіпотезами місцевий розмив інтенсифікується за косо розташованими до берегів перешкодами, відхиленими під кутами $25\text{--}40^\circ$ вниз за течією від берега, висотою від $1/4$ до $1/3$ глибини потоку.

Поряд з експериментальними дослідженнями розвинутих турбулентних течій ($Re > 20000$) за русловими перешкодами в останній час розвиваються і методи їх математичного моделювання. Основою для математичного моделювання кінематичних характеристик трьохвимірних турбулентних потоків є рівняння Нав'є-Стокса – рівняння динаміки реальної рідини. Методи чисельного розв'язання повної системи рівнянь Нав'є-Стокса для нестислої рідини із фізичними змінними швидкість – тиск викладені в роботах О.М. Белоцерковського, Г.І. Марчука, С. Патанкара, О.А. Приходька, П. Роуча, В.Я. Савенка, К. Флетчера, М.М. Яненка та інших. При чисельному моделюванні наразі широко застосовується метод Лакса-Вендрофа і Мак-Кормака, який полягає у застосуванні схеми «предиктор-коректор». При дослідженнях динаміки вихорових структур успішно застосовуються методи дискретних особливостей, які відображені в роботах С.М. Белоцерковського, О.Г. Гомана, Д.Н. Горелова, С.О. Довгого, І.К. Ліфанова, Г.І. Марчука, Д.І. Чернія та багатьох інших.

Наближені обчислення турбулентних течій в основному ґрунтуються на розв'язанні осереднених за Рейнольдсом рівнянь Нав'є-Стокса (рівняння Рейнольдса), що замикаються за допомогою відповідної моделі турбулентності [19–22]. Проблемою замикання рівнянь Рейнольдса в різний час займалися С.Р. Аллмарас, Т. Карман, О.М. Колмогоров, Б. Лаундер, Ф.Р. Ментер, Л. Прандтль, О.С. Славінська, П.Р. Спаларт, Д. Сполдінг, Д. Уїлкокс та ін. В цьому випадку, з достатньою для практики точністю, актуальні швидкості і тиск турбулентної течії визначаються у вигляді усереднених значень та пульсаційних відхилень [22]. Такі моделі адекватно відповідають реальним умовам течій у відкритих руслах при числах Фруда $Fr < 1$, якими характеризуються потоки, далекі від критичних умов. Числа Рейнольдса є досить великими ($Re > 20000$) і відповідають зоні автомодельності течії, коли в'язкість практично не впливає на кінематичні характеристики водного потоку. Відповідна математична модель турбулентного потоку, що ґрунтується на системі диференціальних рівнянь Рейнольдса, яка замикається за допомогою $k - \varepsilon$ моделі турбулентності, використовувалась і нами на етапі чисельного

моделювання кінематики турбулентної течії у тривимірній локальній області за русловою перешкодою (грядкою, деревом тощо) [23–25].

Математичне моделювання кінематики турбулентного потоку за русловою перешкодою

Згідно з запропонованим підходом, моделювання кінематичних характеристик місцевої турбулентної течії за русловою перешкодою в тривимірній області, в контексті розв'язання складної інтелектуальної задачі, здійснюється шляхом поетапного наближення.

На першому етапі виконується дослідження кінематичної структури руслового потоку для його одновимірного випадку на ділянці русла до розрахункового створу, в якому знаходиться перешкода, від деякого початкового створу, в якому, наприклад, ведуться (або відносно легко організувати) гідрометричні спостереження. Розв'язується рівняння нерівномірного плавно змінного усталеного руху водного потоку на відповідній, достатньо протяжній, ділянці непрямокутного русла з обчисленням рівнів вільної поверхні, глибин та середніх швидкостей руслового потоку у розрахункових створах:

$$\Delta Zvp_k = \frac{Q^2}{\Omega_k^2 C_k^2 H_k} \Delta l_k + \frac{Q^2}{2g} \left(\frac{1}{\Omega_{k+1}^2} - \frac{1}{\Omega_k^2} \right), \quad (1)$$

де ΔZvp_k – перепад вільної поверхні; Q – витрата; $\Delta l_k = l_k - l_{k-1}$ – відстань між сусідніми розрахунковими створами; l_k – подовжні координати; Ω_k – площа живого перерізу; C_k – коефіцієнт Шезі; H_k – середня по перерізу русла глибина; g – прискорення вільного падіння; $k = 1, \bar{\beta}$ – індекси створів.

Визначення коефіцієнта Шезі C_k в розрахункових створах, який є одним з найважливіших параметрів математичної моделі руху води і від якого залежить пропускна здатність русла, на цьому етапі моделювання зручно проводити на основі ідентифікації коефіцієнта шорсткості річкових заплав за даними дистанційного зондування Землі (даними ДЗЗ) [26].

Далі, на ділянці розміщення руслової перешкоди, спочатку розглядається планова задача. Основні рівняння відкритого потоку в цьому випадку мають наступний вид:

$$\frac{1,5\sqrt{g}}{K^3 C r^2 H} \frac{\partial}{\partial r} (r H^2 u^2) + \frac{\partial (u^2)}{\partial l} = 2gJ_l - \frac{2gu^2}{C^2 H}, \quad (2)$$

$$\frac{u^2}{r} = gJ_b, \quad (3)$$

$$Q = \int_{\omega} u d\omega = const, \quad (4)$$

де u – осереднена по вертикалі швидкість; $C, K = 0,4$ – коефіцієнти Шезі та Кармана; H – глибина потоку; J_l, J_b – подовжній та поперечний похили

водної поверхні; Q – витрата потоку; l , b – подовжня та поперечна координати; r – радіус кривизни лінії току; ω – площа поперечного перерізу.

При чисельному розв'язанні рівнянь (2)–(4) уточнюються рівні вільної поверхні, глибини, середні значення швидкостей на вертикалях розрахункової планової області. На завершальному третьому етапі отримані кінематичні характеристики потоку в двовимірній області використовуються як початкове наближення при моделюванні динаміки турбулентної течії у тривимірній області безпосередньо за перешкодою. Для цього розглядається система диференціальних рівнянь Рейнольдса (5), що доповнюється рівнянням нерозривності (6) та замикається рівняннями k – ε моделі турбулентності (8)–(9), де значення турбулентних напруг в (5) записуються згідно з градієнтною гіпотезою (7):

$$\frac{\partial \bar{u}_i}{\partial t} + \frac{\partial (\bar{u}_i \bar{u}_j)}{\partial x_j} = \bar{f}_i - \frac{1}{\rho} \frac{\partial \bar{p}}{\partial x_i} - \frac{\partial (\bar{u}'_i \bar{u}'_j)}{\partial x_j}, \quad (5)$$

$$\frac{\partial \bar{u}_j}{\partial x_j} = 0, \quad (6)$$

$$-\bar{u}'_i \bar{u}'_j = \nu_t \left(\frac{\partial \bar{u}_j}{\partial x_i} + \frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} \right) - \frac{2}{3} \delta_{ij} k, \quad (7)$$

$$\frac{\partial k}{\partial t} + \bar{u}_j \frac{\partial k}{\partial x_j} = \nu_t \left(\frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} + \frac{\partial \bar{u}_j}{\partial x_i} \right) \frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} - C_D \frac{k^{3/2}}{L} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\frac{\nu_t}{\sigma_k} \cdot \frac{\partial k}{\partial x_j} \right), \quad (8)$$

$$\frac{\partial \varepsilon}{\partial t} + \bar{u}_j \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\frac{\nu_t}{\sigma_\varepsilon} \cdot \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right) + \left(C_{\varepsilon 1} \frac{p}{\varepsilon} - C_{\varepsilon 2} \right) \frac{\varepsilon^2}{k}, \quad (9)$$

де $\bar{u}_i$ – компоненти вектора осередненої швидкості; t – час; x_i – координати точки; $\bar{f}_i$ – компоненти вектора осередненої масової сили; ρ – щільність рідини; $\bar{p}$ – осереднений гідродинамічний тиск; $\bar{u}'_i \bar{u}'_j$ – момент кореляції пульсацій швидкостей; i – номер рівняння, j – номер члена в рівнянні ($i, j = \overline{1,3}$); δ_{ij} – символ Кронекера; $\nu_t = C_\mu k^2 / \varepsilon$ – коефіцієнт турбулентної в'язкості; k – кінетична енергія турбулентності; ε – швидкість дисипації енергії турбулентності; L – довжина шляху перемішування; $C_D = 1$, $\sigma_k = 1$, $\sigma_\varepsilon = 1,3$, $C_{\varepsilon 1} = 1,44$, $C_{\varepsilon 2} = 1,92$, $C_\mu = 0,09$ – модельні константи.

Розв'язок системи рівнянь (5)–(9) дає змогу знайти донні дотичні напруги в зоні дії тривимірної гвинтоподібної течії на дно за перешкодою та встановити швидкості, які характеризують інтенсивність вимивання ґрунту.

Імітаційне моделювання умов інтенсифікації місцевого розмиву

В якості модельної характеристики, що відображає інтенсивність потоку, в роботі приймалася сила опору дна F_R в області за донною перешкодою [25].

Припускалось, що сила опору дна в цілому характеризує перебіг локальних руслових деформацій, а дотичне напруження W_F/F_R (сила опору, яка діє на одиницю дна, де W_F – площа поверхні вальця турбулентного потоку за перешкодою) характеризує інтенсивність місцевого руслового процесу, зокрема, інтенсивність місцевого розмиву, поглиблення дна та винесення часток із зони активного вимивання [27, 28]. При цьому встановлювалась залежність сили опору дна від двох суттєвих факторів – кута розташування донної перешкоди α та співвідношення висоти перешкоди і глибини потоку S_z .

Серед гідроморфологічних параметрів, які використовувалися при імітаційному моделюванні, виділялись: ширина русла в місці розташування руслової перешкоди B , м; глибина потоку H , м; гідравлічний похил водного потоку I ; середня швидкість потоку V , що встановлювалися для руслоформуючої витрати [17, 29], а також середньозважений діаметр наносів d_{cp} на розрахунковій ділянці ріки, який може визначатися за даними ДЗЗ в межах її водозбору за емпіричною залежністю [17]:

$$d_{cp} = kH_6 I_6, \quad (10)$$

де d_{cp} – середньозважений діаметр наносів, мм; H_6 – середньозважена абсолютна висота водозбору, м; I_6 – середньозважений похил водозбору ріки; k – емпіричний коефіцієнт, який приймається рівним 0,68 для рік Прикарпаття та 0,33 для рік Закарпаття.

Тип руслового процесу контролювався за індексом (комплексом параметрів) $(B/H)I$ [30]:

- для русел незавершеного меандрування $(B/H)I = 0,06 \div 0,13$;
- русел обмеженого меандрування $(B/H)I = 0,1 \div 0,3$;
- осередкового типу русел $(B/H)I = 0,15 \div 0,3$;
- для русел рік вільного меандрування $(B/H)I < 0,06$.

Імітаційне комп'ютерне моделювання здійснювалося при різних значеннях гідроморфологічних параметрів, які приймалися в межах спостережених в натурі даних в залежності від типу руслового процесу, що має місце на відповідних ділянках річок Українських Карпат. Ці дані є результатом багаторічних експедиційних досліджень на карпатських річках, які проводилися УкрНДІГіМ (відповідальні виконавці О.Н. Кафтан та В.В. Онищук). Верифікація результатів проведеного імітаційного моделювання здійснювалась за натурними даними, які наведено в табл. 1–4.

Результати моделювання наведено на рис. 4, де показано залежності граничного (мінімально можливого) значення кута відхилення α донної перешкоди вниз за течією від берега, за якого може інтенсифікуватися місцевий розмив, від діаметра часток наносів d та значень індексу $(B/H)I$. Ці залежності, які відповідають максимальному впливу водного потоку на дно в області за русловою перешкодою, побудовано для характерних відповідним типам руслового процесу максимального і мінімального значень середньої швидкості води при руслоформуючих витратах.

Таблиця 1 – Приклади ділянок річок з руслами незавершеного меандрування

Ріка-ділянка	Розрахункові параметри русел, які відповідають руслоформуючим витратам						α , град
	I	d , м	B , м	H , м	$(B/H)I$	V , м/с	
Прут-Чернівці	0,0015	0,0275	298	2,5	0,107	2,05	43
Дністер-Галич	0,001	0,052	180	3,05	0,059	2,3	39
Свіча-Зарічне	0,0015	0,042	125	1,7	0,110	1,97	43
Лімниця-Перевозець	0,0015	0,063	103	2	0,077	1,69	43
Луква-Боднарів	0,0051	0,05	30	1,54	0,099	1,78	44

Таблиця 2 – Приклади ділянок річок з руслами обмеженого меандрування

Ріка-ділянка	Розрахункові параметри русел, які відповідають руслоформуючим витратам						α , град
	I	d , м	B , м	H , м	$(B/H)I$	V , м/с	
Репінка-Репінне	0,0055	0,096	53	1,16	0,251	2,17	43
Уж-Жорнава	0,0084	0,12	45	1,22	0,309	2,5	41
Уж-Великий Березний	0,0046	0,063	103	2	0,236	2,6	40
Чечва-Спас	0,0055	0,173	36	1,6	0,123	2,69	37
Дністер-Стрілки	0,0055	0,09	46	1,28	0,197	2,11	43
Стрий-Матків	0,0075	0,05	25	0,8	0,234	1,68	45
Стрий-Завадівка	0,005	0,063	78	1,37	0,284	1,69	44
Яблунька-Турка	0,0052	0,061	27	1,1	0,127	1,78	40
Лужанка-Гошів	0,0045	0,15	32	1	0,144	2,11	43
Прут-Кремінці	0,0085	0,245	33	1,44	0,194	2,41	38

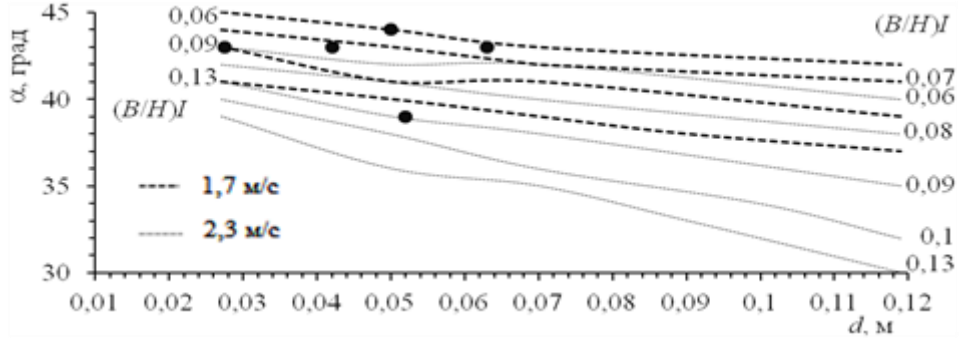
Таблиця 3 – Приклади ділянок річок з руслами осередкового типу

Ріка-ділянка	Розрахункові параметри русел, які відповідають руслоформуючим витратам						α , град
	I	d , м	B , м	H , м	$(B/H)I$	V , м/с	
Репінка-Репінне	0,0055	0,096	53	1,16	0,251	2,17	43
Уж-Жорнава	0,0084	0,12	45	1,22	0,309	2,5	41
Уж-Великий Березний	0,0046	0,063	103	2	0,236	2,6	40
Чечва-Спас	0,0055	0,173	36	1,6	0,123	2,69	37

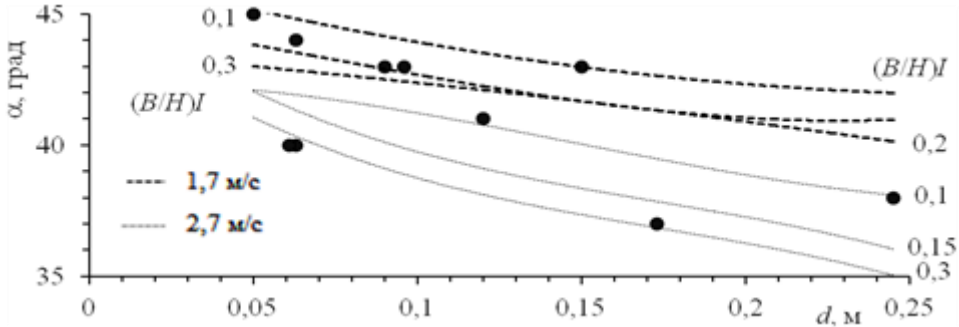
Таблиця 4 – Приклади ділянок річок з руслами вільного меандрування

Ріка-ділянка	Розрахункові параметри русел, які відповідають руслоформуючим витратам						α , град
	I	d , м	B , м	H , м	$(B/H)I$	V , м/с	
Тиса-Вилок	0,001	0,045	274	5,4	0,050	1,46	40
Сірет-Сторожинець	0,0015	0,024	52	2	0,039	1,7	44
Міхідра-Ліповане	0,002	0,017	15	1,55	0,019	0,96	46
Дерелуй-Молодія	0,0016	0,026	17	1,23	0,022	1,26	45
Дністер-Самбір	0,002	0,055	47	1,55	0,060	1,72	44
Тисмениця-Дрогобич	0,002	0,016	28	1,67	0,033	1,4	45

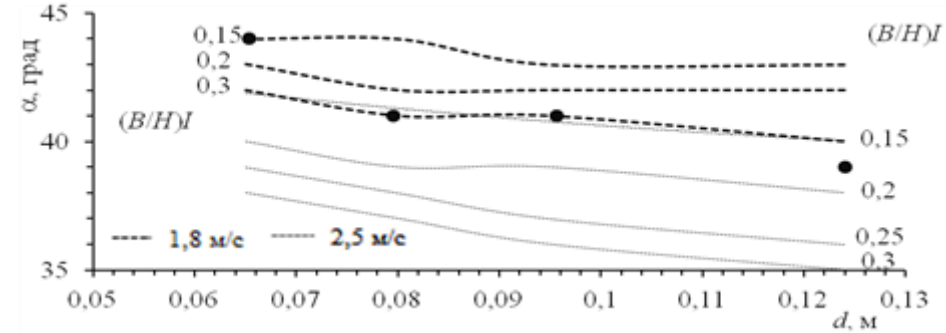
а) незавершене меандрування



б) обмежене меандрування



в) осередковий тип



г) вільне меандрування

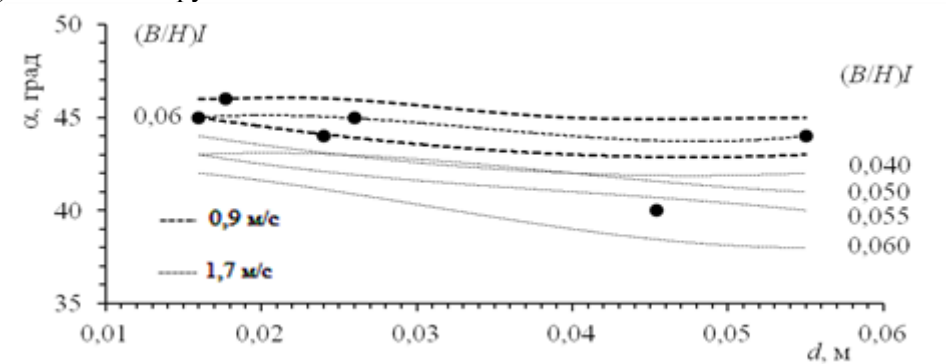


Рис. 4 – Результати імітаційного моделювання умов інтенсифікації місцевого розмиву для ділянок річок з різними типами руслового процесу (точки – результати верифікації за даними натурних ділянок)

Висновок

Результати проведеного імітаційного моделювання умов виникнення місцевих розмивів русел рік за донними перешкодами на основі наявних геопросторових даних, зокрема даних, що стосуються особливостей перебігу руслового процесу, вказують на можливість оперативного виявлення потенційно небезпечних ділянок русел, де, в залежності від ситуації, що складається безпосередньо перед паводками, можлива інтенсифікація місцевої ерозії.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Через брак коштів на очищення річки Західний Буг, волинські землі «сповзають» до Польщі [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://nk.org.ua/ukraina/cherez-brak-koshtiv-na-ochischennya-richki-zahidniy-bug-volinski-zemli-spozayut-do-polschi-31820>. – Назва з екрана.
2. Щодро О.Є. Порівняння розрахункових та експериментальних даних про кінематичну структуру, поле тисків, наносотранспортуючу та розмивну спроможності потоку в зоні просторової відривної течії за косо розташованими грядками та донними уступами / О.Є. Щодро // Вісник НУВГП. Вип. 4 (36). – Рівне: 2006. – Ч. 1. – С. 173–179.
3. Schodro A.E. River bed deformations near banks and hydraulic structures due to river flow / A.E. Schodro // Proc. of the Fourth Int. Conf. on River Basin Management. WIT-Press. – Southampton, Boston. – 2007. – P. 381–387.
4. Shchodro A.E. Local Scour Investigation on Steep River Bends in Ukrainian Carpathian / A.E. Shchodro // Proc. of the Tenth Int. Symposium on River Sedimentation. August 1–4. – Moscow, Russia. – V. 3. – 2007. – P. 275–284.
5. Моисеев Н.Н. Математические задачи системного анализа / Н.Н. Моисеев. – М.: Наука, 1981. – 487 с.
6. Маккавеев Н.И. Русло реки и эрозия в ее бассейне / Н.И. Маккавеев. – М.: Изд-во АН СССР, 1955. – 280 с.
7. Великанов М.А. Русловой процесс (основы теории) / М.А. Великанов. – М.: Физматгиз, 1956. – 395 с.
8. Кондратьев Н.Е. Русловой процесс / Н.Е. Кондратьев и др. // ГГИ. – Л.: Гидрометеиздат, 1959. – 371 с.
9. Ржаницын Н.А. Морфологические и гидрологические закономерности строения речной сети / Н.А. Ржаницын. – Л.: Гидрометеиздат, 1960. – 238 с.
10. Антроповский В.И. Связь типов руслового процесса с определяющими факторами / В.И. Антроповский // Труды ГГИ. – 1973. – Вып. 209. – С. 25–38.
11. Гришанин К.В. Устойчивость русел рек и каналов / К.В. Гришанин. – Л.: Гидрометеиздат, 1974. – 143 с.
12. Бухин М.Н. Основные типы русел рек Украинских Карпат / М.Н. Бухин, А.Н. Кафтан, В.А. Базилевич // Мелиорация и водное хозяйство. – К.: Урожай, 1974. – Вып. 29. – С. 74–84.
13. Русловой режим рек Северной Евразии (в пределах бывшего СССР) / Под ред. Р.С. Чалова. – М.: Изд-во МГУ, 1994. – 336 с.
14. Гришанин К.В. Динамика русловых потоков / К.В. Гришанин. – Л.: Гидрометеиздат, 2-е издание, 1979. – 312 с.
15. Савенко В.Я. Математические модели и методы расчета квазитрехмерных безнапорных потоков / В.Я. Савенко. – К.: Техніка, 1995. – 188 с.
16. Мирцхулава Ц.Е. Основы физики и механики эрозии русел / Ц.Е. Мирцхулава. – Л.: Гидрометеиздат, 1988. – 303 с.

17. Корбутяк В.М. Гідроморфологічні аспекти пропуску паводкових витрат води гірськими руслами / В.М. Корбутяк // Вісник НУВГП. – Вип. 3(39). – Частина 2. – Рівне: – 2007. – С. 92–101.
18. Річки гірські. Регулювання русел та догляд / ВНД 33-5.5-14-03 // Видання офіційне. – К.: Державний комітет України по водному господарству, 2003. – 69 с.
19. Прандтль Л. Гидроаэромеханика / Л. Прандтль. – Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2000. – 576 с.
20. Wilcox D.C. Multiscale Model for Turbulent Flows / D.C. Wilcox // AIAA Journal. 1988. V. 26. – № 11. – P. 1311–1320.
21. Белов И.А. Моделирование турбулентных течений: Учебное пособие / И.А. Белов, С.А. Исаев. – Балт. гос. техн. ун-т. СПб., 2001. – 108 с.
22. Монин А.С. Статистическая гидродинамика. Теория турбулентности / А.С. Монин, А.М. Яглом. – СПб: Гидрометеиздат, 1996. – Т.2. – 742 с.
23. Ходневич Я.В. Методика чисельного моделювання турбулентних течій у відривних зонах при оцінці розмиваючої здатності потоку гірських рік / Я.В. Ходневич, О.Є. Щодро, В.М. Корбутяк // Зб. наук. праць «Гідромеліорація та гідротехнічне будівництво». – Рівне: НУВГП, 2008. – Вип. 33. – С. 81–86.
24. Стефанишин Д.В. Про один підхід до прогнозування місцевих розмивів русел та берегів на передгірних ділянках рік з використанням можливостей математичного моделювання / Д.В. Стефанишин, Я.В. Ходневич, О.Є. Щодро // Екологічна безпека та природокористування. Зб. наук. праць. – К.: КНУБА, ІТГП НАНУ, 2011. – Вип. 7. – С. 64–72.
25. Ходневич Я.В. Чисельне моделювання умов інтенсифікації місцевого розмиву русла ріки за донною перешкодою, що відхиляється від берега вниз за течією / Я.В. Ходневич, Д.В. Стефанишин // Екологічна безпека та природокористування. Зб. наук. праць. – К.: КНУБА, ІТГП НАНУ, 2014. – Вип. 16. – С. 111–122.
26. Лагоднюк А.М. Ідентифікація коефіцієнта шорсткості річкових заплав за даними дистанційного зондування для підтримки математичного моделювання неусталеного руху води при повенях / А.М. Лагоднюк, В.М. Корбутяк, Д.В. Стефанишин // Екологічна безпека та природокористування. Зб. наук. праць. Вип. 21 (№1–2). Київ: ІТГП НАНУ, КНУБА. 2016. – С. 83–94.
27. Лятхер В.М. Гидравлическое моделирование / В.М. Лятхер, А.М. Прудовський. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 392 с.
28. Щодро А.Е. Исследование структуры и размывающей способности потока за донными уступами и грядами / А.Е. Щодро // Вестник НТУУ. Машиностроение. – Вип. 38. – К.: 2000. – Т. 2. – С. 205–209.
29. Католиков В.М. Побочни в руслах рек: условия образования и их динамика / В.М. Католиков, З.Д. Копалиани // Водные ресурсы. – 2001. – Т.28, №5. – С. 579–586.
30. Корбутяк В.М. Про використання геопросторових даних при імітаційному моделюванні умов виникнення місцевих розмивів русел рік / В.М. Корбутяк, О.Є. Щодро, Я.В. Ходневич, Д.В. Стефанишин // Мат-ли 15-ї Міжнародної наук.-практ. конф. «Сучасні інформаційні технології управління екологічною безпекою, природокористуванням, заходами в надзвичайних ситуаціях». (3–6 жовтня 2016 р.), м. Київ, Пуща-Водиця. – К.: 2016. – С. 41–45.

Стаття надійшла до редакції 23.06.2017

УДК 504:528

**А.В. ХИЖНЯК, О.В. ТОМЧЕНКО, Т.М. ДЬЯЧЕНКО,
О.Д. ФЕДОРОВСЬКИЙ**

МУЛЬТИФРАКТАЛЬНИЙ АНАЛІЗ СКЛАДОВИХ ПЛАВНЕВО-ЛІТОРАЛЬНОГО ЛАНДШАФТУ КІЛІЙСЬКОГО ГИРЛА ДУНАЮ НА ОСНОВІ КОСМІЧНОЇ І НАЗЕМНОЇ ІНФОРМАЦІЇ

***Анотація.** У статті обґрунтовано на прикладі Кілійського гирла Дунаю можливість проведення оцінки варіабельності складових плавнево-літорального ландшафту гирлових областей річок на основі мультифрактального аналізу матеріалів космічної зйомки. В результаті дослідження за матеріалами космічних знімків в досліджуваній період простежується зростання майже вдвічі площ дерев'янисто-чагарникової рослинності та зменшення площ трав'янистої рослинності, що може бути пов'язане із суцесійними процесами, що відбуваються в екосистемах плавнево-літорального ландшафту. Про подальше наростання дельти також свідчить збільшення площі піску вдвічі. При цьому використання мультифракталів допомогло математично довести зміну ландшафтної структури в бік збільшення частки дрібних складових.*

***Ключові слова:** ландшафтні комплекси, космічна інформація, мультифрактальний аналіз, Дунай, Кілійське гирло.*

Вступ

При вивченні ландшафтної структури водно-болотних угідь великої площі (дельти річок, болотні масиви, великі озера, водосховища і т.п.) поряд із загальноприйнятими, традиційними методами дослідження широке застосування отримали дистанційні методи, в т.ч. використання космічних знімків (КЗ).

Типи ландшафтних комплексів (ЛК) виділяються і класифікуються за сукупністю ознак, які впевнено дешифруються на космічних знімках. У свою чергу, тип ЛК певного рівня з достатнім ступенем вірогідності визначає основні гідрологічні, гідроморфологічні та геоекологічні характеристики досліджуваних об'єктів і таким чином непрямыми методами дозволяє виявляти процеси і явища, які не піддаються прямому дешифруванню [1, 8].

Зрозуміло, що натурні наземні дослідження дозволяють отримувати повнішу інформацію, але вони пов'язані з великими матеріальними затратами, внаслідок чого проводяться епізодично, охоплюють вибіркові ділянки і окремі ЛК, що ускладнює взаємне зіставлення і порівнянність результатів різних вимірювань. Тому використання космічних знімків для дослідження водних об'єктів представляє значний інтерес [2, 3, 4].

Розпізнавання складових природних ландшафтів багато в чому залежить від просторового розрізнення космічних знімків. При дешифруванні останніх повинна забезпечуватися максимальна ймовірність виявлення морфологічних ознак, сукупність яких дозволить розпізнати елементи ландшафту, а потім і його тип. Досвід дешифрування зображень природних ландшафтів показує, що не завжди кращий за розрізненням космічний знімок є більш інформативним і забезпечує високу ймовірність розпізнавання ландшафтних структур. Кожен

масштабний рівень – мілкий ($1:10^6$ і дрібніше), середній ($1:2 \times 10^5$) і крупний ($1:(70 \div 125) \times 10^3$) – є інформативними для ландшафтних структур певного рівня, що відрізняються не тільки за морфологією, але і за генезисом. Так, наприклад, на дрібномасштабних космічних знімках фіксуються загальні генералізовані риси геологічної будови, на середньомасштабних – розчленованість рельєфу і гідрографічна мережа, на крупномасштабних – елементи рельєфу, екологічна група рослин, точні параметри водних об'єктів та ін. [5, 6, 7].

Космічні знімки з високим просторовим розрізненням дозволяють визначити просторове розміщення і площі, зайняті вищою водною рослинністю різних екологічних груп (для гело- і плейстофітів в деяких випадках можливе навіть визначення таксономічного складу), а отже, визначити величину первинної продукції, стан нерестовищ, характеристики підстилаючих ґрунтів та ін. [9, 10].

На космічних знімках середнього розрізнення явно простежуються гідрографічна мережа, характер берегової лінії, площа як водних об'єктів різного типу, так і різнотипної рослинності (дерев'янисто-чагарникової, трав'янистої, плавневої, повітряно-водної та рослинності з плаваючим листям, сільськогосподарських угідь).

Дунай, як транскордонний водоток, має стратегічне значення для України і Румунії (держав, що знаходяться у нижній його течії) – як транспортний коридор, ресурс прісної води, об'єкт рекреації і рибальства [11]. Відомо, що в гирлову область Дунай щорічно виносить від 20 до 70 млн т зважених речовин. Близько 20% їх осідає на узбережжі, в дельтових водоймах, рукавах і протоках, сприяючи їх замуленню і викликаючи перерозподіл стоку по більш активних рукавах. Велика частина твердого стоку виноситься в море, створюючи платформу для подальшого наростання дельти. Таким чином, дельта Кілійського рукава, по якому проходить до 50% його стоку, – надзвичайно динамічне утворення. Протягом навіть одного вегетаційного сезону тут відбувається зміна окремих елементів гідрографічної мережі (наростання і розмивання кіс, замулення рукавів і т.д.) і пов'язана з цим зміна умов існування гідробіонтів [1, 10].

Виклад основного матеріалу досліджень

Метою дослідження є обґрунтування на прикладі Кілійського гирла Дунаю можливості оцінки варіабельності складових плавнево-літорального ландшафту гирлових областей річок на основі мультифрактального аналізу матеріалів космічної зйомки.

Як полігон були обрані ЛК, що сформувалися в 1985 році в Кілійській частині гирла Дунаю на ділянці з межею по кордону України і буфером по береговій лінії моря в 5 км загальною площею 60 075 га. Загальна схема розташування дослідної ділянки представлена на рис. 1.

Для проведення ретроспективного аналізу структури і площ типів ЛК Кілійського гирла Дунаю були використані дані дешифрування космічних знімків середнього просторового розрізнення КА Landsat 5,8 за 1985 та 2015 рр., а саме літні знімки кінця червня – початку вересня – час максимального розвитку угруповань макрофітів (рис. 2).

В якості дешифрувальних ознак використовувалися спектральні яскравості відбиваючих поверхонь виділених типів ЛК, отриманих на основі еталонних ділянок, завірених в ході консультації з експертом-гідробіологом, обізнаним з територією дослідження. Для класифікації КЗ Landsat застосовувався класифікатор, побудований на штучних нейронних мережах.

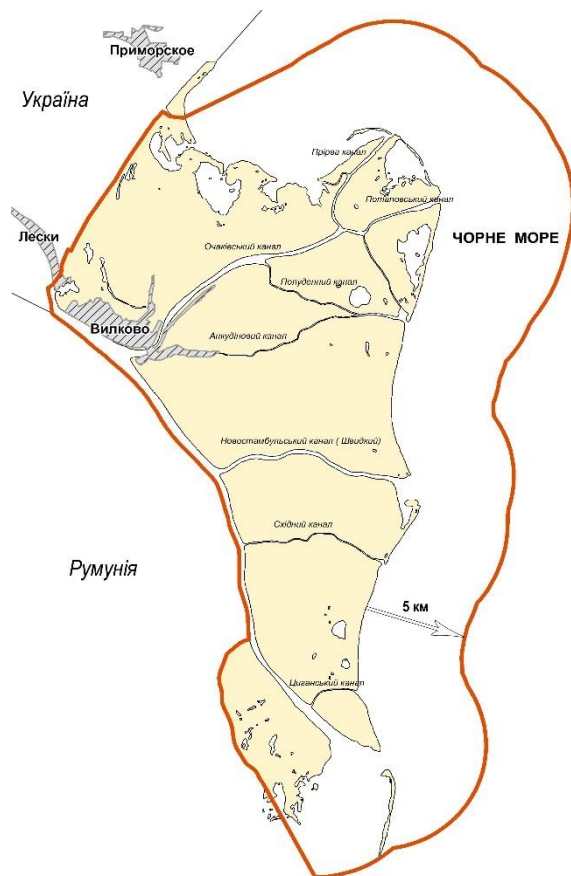


Рис. 1 – Розташування Кілійської частини гирла Дунаю

Suaeda salsa, *Puccinella gigantea*, *Salicornia prostrate* та ін.), що розташовані на ділянках прируслових гряд, переважно в верхній і середній течії рукавів, та Жебриянського приморського пасма, а також псамофітна рослинність приморських гряд та кучугур (*Salsola soda*, *Melilotus albus*, *Xanthium albinum* та ін.), рудеральна рослинність та с/х угіддя.

3. **Чиста вода** – прибережні ділянки моря, морські затоки, дельтові озера, рукави, протоки, єрики з зануреною водною рослинністю (*Stratophyllum demersum*, *Myriophyllum spicatum*, *Potamogeton pectinatus*, *P. perfoliatus* та ін.) або ж без неї.

4. **Пісок** – приморські ділянки островів, морські коси, ділянки Жебриянського приморського пасма з несформованою рослинністю, складені алювієм і позбавлені рослинності ділянки прируслових гряд.

5. **Плавнево-болотна рослинність** – рослинність центральних знижених і приморських ділянок дельтових островів, літоральна зона морських заток

В ході **дешифрування** КЗ Landsat 5,8 нами було виділено 6 типів ЛК (рис. 3, табл. 1):

1. **Дерев'янисто-чагарникова рослинність** – угруповання дерев та кущів, що ростуть на прируслових та приморських грядах, підвищених ділянках центральних частин островів дельти (*Salix triandra*, *S. alba*, *S. cinerea*, *S. fragilis*, *Populus nigra*, *Amorpha fruticosa*, *Tamarix ramosissima*, *Hippophae rhamnoides* та ін.), насадження садових культур, *Pinus pallasiana* на Жебриянському приморському пасмі.

2. **Трав'яниста рослинність** – справжні, засолені та остеповані луки з різним пасовищним навантаженням (з домінуванням *Calamagrostis epigeios*, *Agrostis gigantea*, *Festuca pratensis*, *Carex acutiformis*, *Trifolium fragiferum*, *Poa pratensis*, *Juncus maritimus*,

і дельтових озер, з домінуванням високотравних гелофітів (*Phragmites australis*, *Typha angustifolia*, *Sparganium erectum* та ін.) і видів роду *Carex*.

6. **Угруповання плейстофітів** – мілководдя опріснених морських заток та дельтових водойм з домінуванням *Nymphaea alba*, *Potamogeton nodosus*, *P. natans*, *Trapa natans*, *Nymphoides peltata*, *Lemna minor*, *Spirodela polyrrhyza*, *Salvinia natans* та ін.

Окрім ЛК, на КЗ також були виділені антропогенностворені об'єкти дельти (населені пункти, кар'єри, дороги, дамби), що представлені на дослідній території, але їх площі не були включені в розрахунки мультифрактальної варіабельності ЛК, так як ми вивчали зміни лише природних об'єктів.

Таблиця 1 – Площі (га) ЛК Кілійської частини дельти Дунаю, виділені за КЗ Landsat 5 та 8

	ЛК	1985 р.	2015 р.
1	Дерев'янисто-чагарникова рослинність	1309,4	3325,3
2	Трав'яниста рослинність	2258,6	534,7
3	Плавнево-болотна рослинність	22030,3	23437,5
4	Угруповання плейстофітів	419,4	632,0
5	Пісок	239,4	488,3
6	Чиста вода	33535,8	31342,1



а



б

Рис. 2 – Фрагменти космічних знімків Landsat 5 та 8 Кілійської частини дельти Дунаю, використані для розпізнавання ЛК (а – станом на 30.07.1985 р.; б – станом на 20.07.2015 р.)

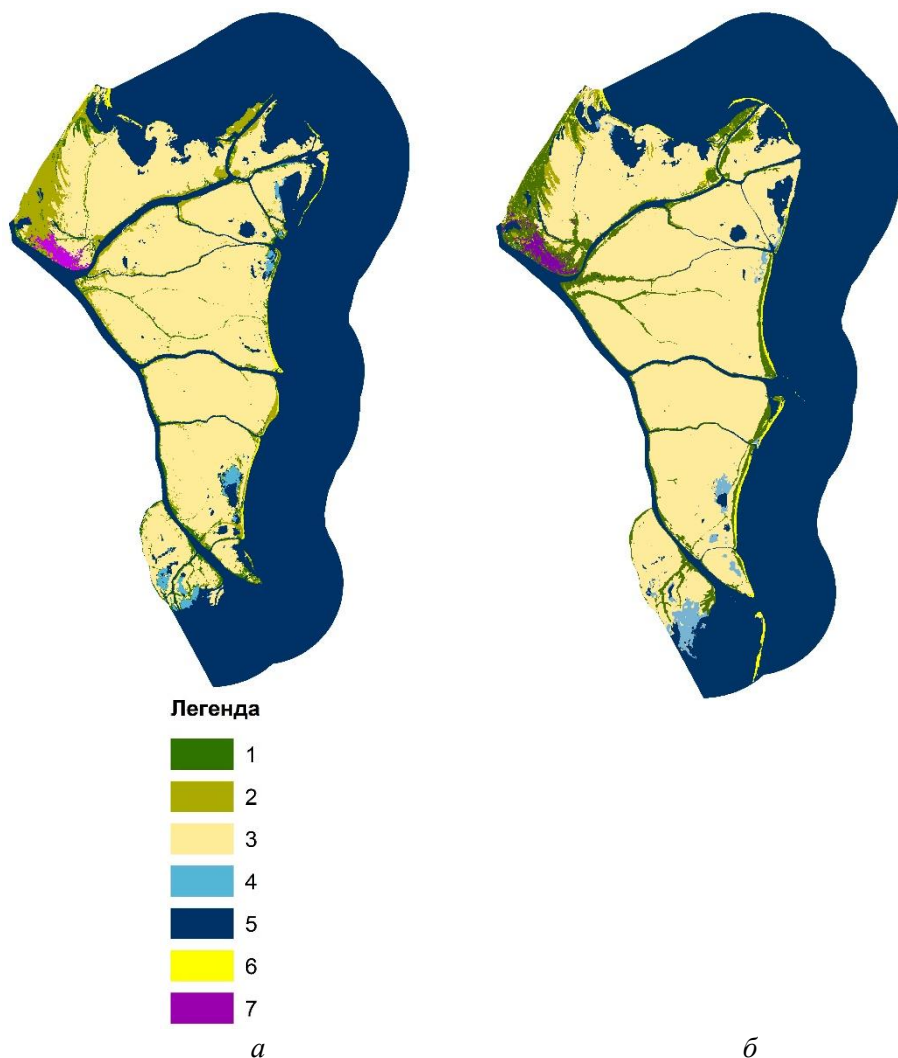


Рис. 3 – Результати піксельно-орієнтованої класифікації даних дистанційного зондування Землі середньої просторової розрізненості (КЗ Landsat) методом штучних нейронних мереж для виділення ЛК (*a* – карта станом на 30.07.1985 р.; *б* – карта станом на 20.07.2015 р.)

Умовні позначення: 1 – дерев'янисто-чагарникова рослинність; 2 – трав'яниста рослинність; 3 – плавнево-болотна рослинність; 4 – угруповання плейстофітів; 5 – пісок; 6 – чиста вода; 7 – антропогенностворені об'єкти дельти

Так як гирлові області річок являють собою самоподібну ієрархічну, тобто фрактальну структуру, що складається з повторюваних на різних структурних рівнях складових природного ландшафту, то застосування мультифрактального аналізу для дослідження варіабельності складових дельтових територій є обґрунтованим [4].

Для характеристики відхилення розподілу деякої величини від рівномірного використовується формула узагальненої ентропії Рені [12], що заснована на моментах q -го порядку ймовірностей p_i :

$$S_q = \frac{1}{1-q} \log \sum_{i=1}^N p_i^q \quad (1)$$

$$p_i = \frac{N_i}{N}, \quad \sum_{i=1}^n p_i = 1 \quad (2)$$

де N – загальний обсяг вибірки (загальна кількість складових на вибраній площі); N_i – кількість i -того типу складових у вибраній площі N ; n – кількість всіх типів складових, число яких залежить від N ; p_i – імовірність приналежності даного типу складової у вибірці до i -того типу; q – степінь моменту (статистичної суми), яка приймає цілочисельні значення в діапазоні – $q_{\max} < q < q_{\max}, q_{\max} > 0$.

Для визначення варіабельності різноманітних ландшафтних складових гирла вводиться узагальнена статистична сума Z_q (моменти q -го порядку ймовірностей p_i), яка дозволяє відрізнити нерівномірні розподілення складових від рівномірних

$$Z_q(N, q) = \sum_{i=1}^n p_i^q \propto N^{\tau(q)} \quad (3)$$

У виразі (3) показано, що основна умова статистичної самоподібності (мультифракталу) є міра, яка пропорційна розміру вибірки в степені $\tau(q)$ або лінійній залежності в логарифмічному масштабі: $\log[Z_q(N, q)] = \tau(q) \log N$,

$$\tau(q) = \frac{\log[Z_q(N, q)]}{\log N} = \frac{\log \sum_{i=1}^n p_i^q}{\log N} \quad (4)$$

де N – обсяг генеральної вибірки.

Для визначення варіабельності різноманітних складових і оцінки ступеня відхилення їх від рівномірного розподілу по типах скористаємося узагальненими мультифрактальними розмірностями:

$$D_q = \frac{\tau(q)}{1-q} \quad \text{при } q \neq 1. \quad (5)$$

Функція D_q , визначена виразами (4) і (5), показує, наскільки неоднорідним є розподіл АЛК за типами і наскільки цей розподіл відрізняється від рівномірного. Функція D_q носить назву *спектру узагальнених розмірностей Рені мультифракталу*. При $q \rightarrow +\infty$ основний внесок у суму відносних значимостей вносять домінуючі типи ЛК, що характеризуються найбільшими значеннями p_i , а при $q \rightarrow -\infty$ основний внесок роблять складові суми з малими значеннями p_i , тобто рідкісні типи складових ландшафту або ЛК. На практиці обмежуються розглядом не більше десяти значень цілих чисел q , що й прийнято в даній роботі.

Якщо розподіл складових по типах неоднаковий, то фрактал є неоднорідним, тобто мультифракталом, і для цього опису використовують

спектр узагальнених фрактальних розмірностей D_q . Значення $D(q)$ інваріантне до розміру вибірки (площі, масштабу) [13].

Існування мультифрактальної структури гирлових областей річок встановлюється перевіркою виконання 2 необхідних умов розподілу за типами: 1) степенева залежність росту компонентів мультифрактальної міри μ_q від розміру вибірки N (рис. 4); 2) незростаючий вигляд функції спектра узагальнених розмірностей $D(q)$.

Оцінка варіабельності ЛК на основі космічної інформації та наземних даних виконувалась на основі індексів варіабельності – узагальнених розмірностей Рені як інтегральних оцінок. У розглянутому аспекті індекси дозволяють оцінити динаміку мінливості ЛК.

За співвідношенням (2–4) визначаються розподіл ймовірностей p_i , статистичної суми Z_q та значень $\tau(q)$ за типами складових за весь досліджуваний період.

На рис. 5а показано нелінійний характер залежності $\tau(q)$, отриманої при дослідженні розподілу ЛК по типах на прикладі Кілійського гирла Дунаю. Нелінійний характер залежностей $\tau(q)$ і їх відхилення від лінійного показує значний розмах варіабельності у розподілі складових по типах.

Значення індексів варіабельності D_q , $q \in [-7, 7]$, обчислені за співвідношенням (5), зведені в табл. 2.

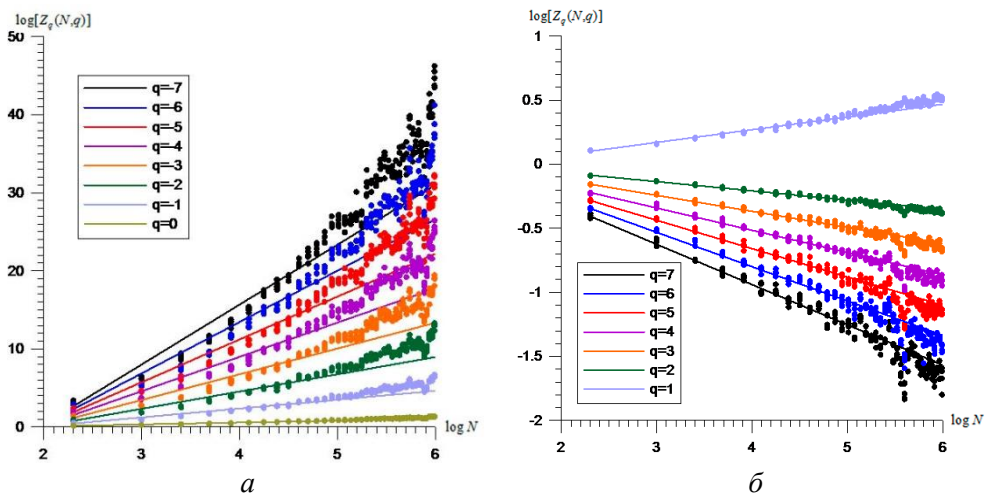


Рис. 4 – Залежність компонентів статистичної суми Z_q розподілу складових по типах від розміру вибірки N в білогарифмічній системі координат за даними за 2015 р., для значень $q \in [-7, 0]$ (4a) і $q \in [1, 7]$ (4б)

Таблиця 2 – Індеси варіабельності D_q розподілу ЛК

Дані ДЗЗ	-7	-6	-5	...	-2	-1	0	1	2	...	5	6	7
1985	0,178	0,175	0,170	...	0,140	0,115	0,070	0,027	0,015	...	0,010	0,009	0,009
2015	0,156	0,154	0,151	...	0,130	0,110	0,070	0,028	0,016	...	0,010	0,010	0,010

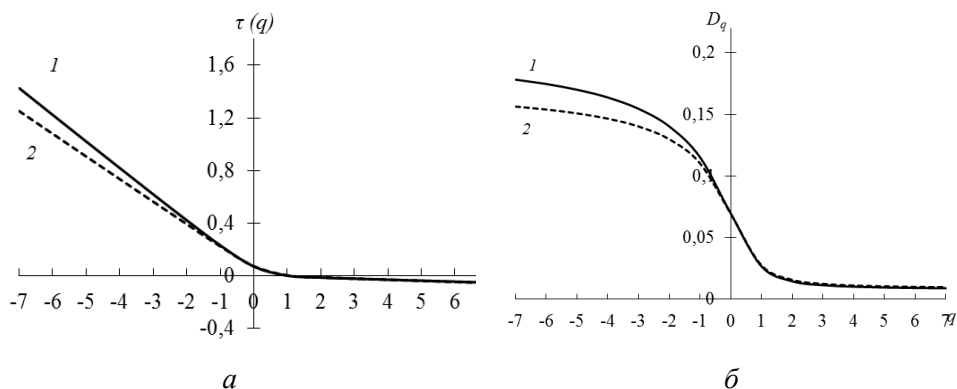


Рис. 5 – Оцінка варіабельності за матеріалами дешифрування даних ДЗЗ (1 – 1985 р.; 2 – 2015 р.) (а – графіки залежності показника степені τ від q ; б – графіки функцій D_q , $q \in [-7, 7]$)

На рис. 5б наведено результати обчислення динаміки інтегральних оцінок варіабельності ЛК за період 1985–2015 рр.

З розгляду графіку (рис. 5) можна зробити висновок, що максимальна варіабельність за аналізований період часу проявляється при від'ємних значеннях q індексів D_q . Найбільш чутливими до екологічних процесів є нечисленні типи складових, а саме виділені за матеріалами ДЗЗ угруповання плейстофітів та піщані коси.

За матеріалами космічних знімків в досліджуваній період можна простежити зростання майже вдвічі площ дерев'янисто-чагарникової рослинності та зменшення площ трав'янистої рослинності, що може бути пов'язане із сукцесіями, що йдуть в екосистемах плавнево-літорального ландшафту. Про подальше наростання дельти свідчить збільшення площі піску вдвічі. Використання мультифракталів допомогло математично довести зміну ландшафтної структури в бік збільшення частки дрібних складових.

Висновок

Розглянутий приклад використання індексів варіабельності на фактичних даних ЛК підтверджує легітимність методів дослідження варіабельності ЛК гірлових областей рік за індексами варіабельності. Такий підхід при використанні інтегральних інформативних показників ЛК відкриває нові можливості для виявлення загальних тенденцій змін, що відбуваються в плавнево-літоральному ландшафті гірлових ділянок річок, і може скласти основу їх комплексного моніторингу на якісно новому рівні.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Гейны С., Дубына Д.В., Сытник К.М. и др. Макрофиты – индикаторы изменений природной среды. – Киев: Наукова думка, 1993. – 433 с.
2. Федоровський О.Д., Суханов К.Ю., Якимчук В.Г., Дьяченко Т.М. Методичні аспекти класифікації аквальних ландшафтів в зоні шельфу / Глобальная система наблюдений Черного моря. – Севастополь: МГИ НАН Украины. – 2000. – С. 24–29.

3. Федоровский А.Д., Даргейко Л.Ф., Дьяченко Т.Н. К вопросу оценки экологического состояния аквально-наземных ЛК на основе системного подхода // Доп. НАН України. – 2000. – №5. – С. 129–131.
4. Даргейко Л.Ф., Дьяченко Т.М., Федоровский О.Д., Якимчук В.Г. Системний підхід при оцінці екологічного стану ландшафтних аквальних комплексів // Проблеми ландшафтного різноманіття України: Збірн. наук. праць. К. – 2000. – С. 257–261.
5. Востокова Е. А., Сущенко В. А., Шевченко Л. А. Экологическое картографирование на основе космической информации. – М.: Недра, 1988. – 221 с.
6. Николаев В. А. Космическое ландшафтоведение. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 1993. – 81 с.
7. Ревзон А.Л. Космическая фотосъемка в транспортном строительстве. – М: Транспорт, 1993. – 272 с.
8. Григорьев А.А. Космическая индикация ландшафтов Земли. Л.: Издат. Лен. университета, 1975. – 165 с.
9. Дьяченко Т.Н., Федоровский А.Д., Суханов К.Ю. К вопросу оценки экологического состояния Килийской дельты Дуная // Диагноз состояния среды прибрежных и шельфовых зон Черного моря: Сб. науч. тр. – Севастополь, 1996. – С. 127–132.
10. Клоков В. М. Ценологическая характеристика водной растительности Килийской дельты Дуная // Высшие водные и прибрежноводные растения: Тез. докл. I Всесоюзн. конф., Борок, 1977, 7–9 сент. – К.: Наукова думка, 1977. – С. 39–43.
11. Черой О.І. Перерозподіл стоку по рукавах дельти Дунаю в умовах існування судноплавних каналів / О.І. Черой // Український гідрометеорологічний журнал. – 2013. – № 13. – С. 176–182. Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Uggj_2013_13_24
12. Renyi A. Probability theory. – Amsterdam: North-Holland, 1970. – 670 p.
13. Артюшенко М.В., Подгородецкая Л.В., Зуб Л.Н., Федоровский А.Д. Мультифрактальный анализ биоразнообразия и ценотической структуры сообщества растений по данным дистанционного зондирования // Доп. НАН України. – 2011. – № 9. – С. 132–141.

Стаття надійшла до редакції 13.05.2017

УДК 528.88+504.9

Р.М. ШЕВЧУК

ВЕРИФІКАЦІЯ РЕЗУЛЬТАТІВ СУПУТНИКОВОГО МОНІТОРИНГУ ТЕРИТОРІЙ НЕЛЕГАЛЬНОГО ВИДОБУТКУ БУРШТИНУ

***Анотація.** У статті розглядається проблема верифікації результатів супутникового моніторингу територій нелегального видобутку бурштину. Запропоновано нову методику верифікації даних ДЗЗ шляхом відбору проб поверхневих відкладів для спектрального аналізу. Перевагами її використання є дешевизна, оперативність, безпека дослідника. Зазначено, що методика носить універсальний характер і може бути використана при моніторингу територій видобутку корисних копалин, що видобуваються відкритим способом.*

***Ключові слова:** бурштин, нелегальний видобуток, верифікація, спектральний аналіз, супутниковий моніторинг.*

Вступ

При проведенні супутникового моніторингу територій видобутку корисних копалин відкритим способом досить важливим етапом є верифікація отриманих результатів. Методики оцінки нанесених державі збитків внаслідок незаконного користування надрами або видобутку корисних копалин без проведення рекультивації базуються на обчисленнях, в основі яких лежить площа порушених і забруднених земель. Тому від точності обчислення площі залежить коректність кінцевих результатів усього дослідження.

Існуючі методи верифікації даних, такі як наземні вимірювання та перевірка точності класифікації – матриця помилок, мають суттєві недоліки.

Недоліки наземного вимірювання зумовлені особливостями ведення незаконної діяльності: інтенсивністю, локальністю, криміналом. Інтенсивність видобутку призводить до постійної появи нових ділянок, що зумовлює необхідність регулярних вимірювань і, як наслідок, – великих фінансових затрат. Локальність характеризується наявністю великої кількості малих ділянок порушених земель на невеликій території, що вимагає часових затрат. Багато таких ділянок охороняються кримінальними елементами, і туди немає доступу або є ризик життя і здоров'ю дослідника.

Щодо застосування матриці помилок, то для цього необхідно мати еталон, в якості якого виступає знімок надвисокого розрізнення. Такі знімки є дорогими і в умовах відсутності фінансування ускладнюють виконання задачі. Неефективним цей метод також роблять геологічні особливості досліджуваної території. Основними типами ґрунтів Українського Полісся є дерново-підзолисті, дернові, дерново-піщані, що залягають на піщаному субстраті, який оголюється при порушенні ґрунтового покриву. Тому території нелегального видобутку бурштину і, приміром, вирубки лісів на багатозональних космічних знімках виглядають однаково через особливості сприйняття людським оком візуальної інформації або мають подібні відтінки у псевдокольорах. А повністю автоматизувати процес дешифрування через недосконалість алгоритмів розпізнавання образів неможливо, тому і виникає

потреба в розробці якісно нової методики верифікації даних обробки дистанційного зондування Землі.

Аналіз останніх досліджень та публікацій

Слід зазначити, що проблема використання даних ДЗЗ для супутникового моніторингу територій нелегального видобутку бурштину вивчена недостатньо. Основні напрацювання в цьому напрямку висвітлені у роботах фахівців ДУ «Науковий центр аерокосмічних досліджень Землі» ІГН НАН України (В.Є. Філіпович, М.С. Лубський, Г.Б. Крилова), Інституту телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України (В.О. Охарев), Національного університету водного господарства та природокористування (А.В. Прокопчук, С.М. Трохимець, Р.М. Янчук). У цих роботах досліджувалися можливості застосування багатозональних супутникових знімків для виявлення ділянок нелегального видобутку за рахунок текстурних, спектральних та температурних відмінностей піщаних відвалів від оточуючих об'єктів навколишнього середовища. Визначалася динаміка утворень таких відкладів шляхом обрахунку площ порушених земель за тривалий період з використанням різночасових космічних зображень. Проводилася оцінка завданих державі збитків внаслідок нелегального старательства.

Невирішені частини загальної проблеми

Незважаючи на певні напрацювання в даному напрямку, досі не розроблено методики, яка дозволяла б оперативно і без значних фінансових затрат проводити верифікацію результатів обробки даних ДЗЗ в умовах високої інтенсивності видобутку бурштину та недоступності частини територій для наземних вимірювань.

Постановка проблеми

Метою статті є розробка методики верифікації результатів супутникового моніторингу територій нелегального видобутку бурштину.

Виклад основного матеріалу

Для вирішення існуючих проблем верифікації даних нами було розроблено методику, яка базується на спектральному аналізі проб поверхневих відкладів, відібраних у місцях нелегального видобутку бурштину. Різниця спектральних характеристик зумовлена характером відкладів внаслідок глибини порушення земель в залежності від виду діяльності (рис. 1).

Застосування методики проводиться у наступні етапи:

1. Відбір проб для спектрального аналізу.
2. Спектральний аналіз проб поверхневих відкладів за допомогою спектрорадіометра Field spec.
3. Обробка первинних даних спектрорадіометра, формування спектральних бібліотек.

4. Корекція спектральних бібліотек відповідно до кількості каналів сенсора супутника та їх діапазону.

5. Класифікація знімка методом spectral angle mapper з використанням корегованих даних.

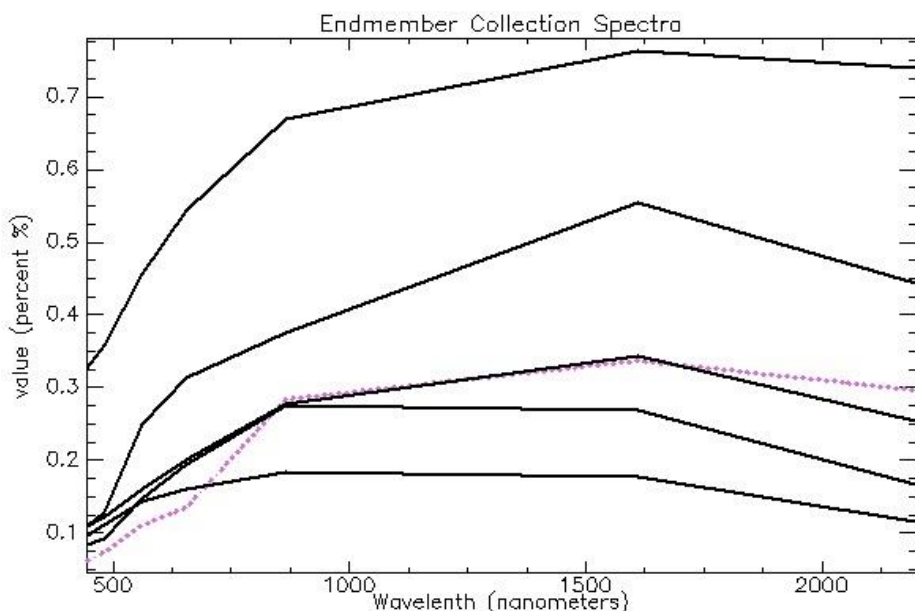


Рис. 1 – Спектральні характеристики поверхневих відкладів. Суцільні лінії – на територіях видобутку бурштину, штрихована – місцях вирубки лісів

На першому етапі здійснюється відбір проб поверхневих відкладів на ділянці, де вже вівся видобуток бурштину-сукциніту. Характер відкладів на ділянках видобутку бурштину зумовлений особливостями ведення цієї діяльності: вологий спосіб з використанням мотопомп призводить до перемивання й перевідкладання порід, що залягають на різних глибинах. Вони відрізняються структурою, вологістю і, відповідно, мають різні спектральні характеристики. Саме наявність сукупності таких відкладів на поверхні вирізняє ділянку нелегального видобутку бурштину з-поміж інших ділянок порушеного ґрунтового покриву. Це потрібно враховувати при відборі проб задля досягнення максимально можливої точності верифікації і відбирати зразки не лише за кольором, але й структурою, вологістю та глибиною залягання у залишених ямах-копанках. Відклади на сусідніх ділянках будуть ідентичними у межах геоморфологічного району, тому зникає потреба у відвідуванні кожної з них, як це робиться при наземних вимірюваннях. Зразки для нашого дослідження були відібрані на ділянці поблизу с. Юрово Олевського району Житомирської області з метою верифікації результатів дослідження ділянки Обище-Суцани-Юрово-Шебедиха.

Далі проводиться спектральний аналіз відібраних проб за допомогою спектрорадіометра Fieldspec. Вимірювання здійснюються в діапазоні від 350 нм до 2500 нм з інтервалом в один нанометр, тобто у 2150 каналах, і створюється декілька файлів формату asd для кожного зразка.

На третьому етапі вираховується середнє значення відбиття для кожного діапазону довжини хвилі і створюються спектральні бібліотеки кожної. Для виконання таких завдань використовується програма *Wiewspecpro*. Після формування спектральних бібліотек здійснюється їх корекція відповідно до кількості каналів сенсора супутника та їх діапазону. Для OLI/TIRS, знімки якого ми використовували, це сім каналів (coastal aerosol, blue, green, red, NIR, SWIR 1, SWIR 2). Показники відбиття у кожному з діапазонів повинні бути однакового формату для бібліотек та зображення.

На заключному етапі проводиться класифікація зображення з використанням корегованих бібліотек, а її результат порівнюється з результатами обробки даних ДЗЗ, які треба верифікувати (рис. 2).

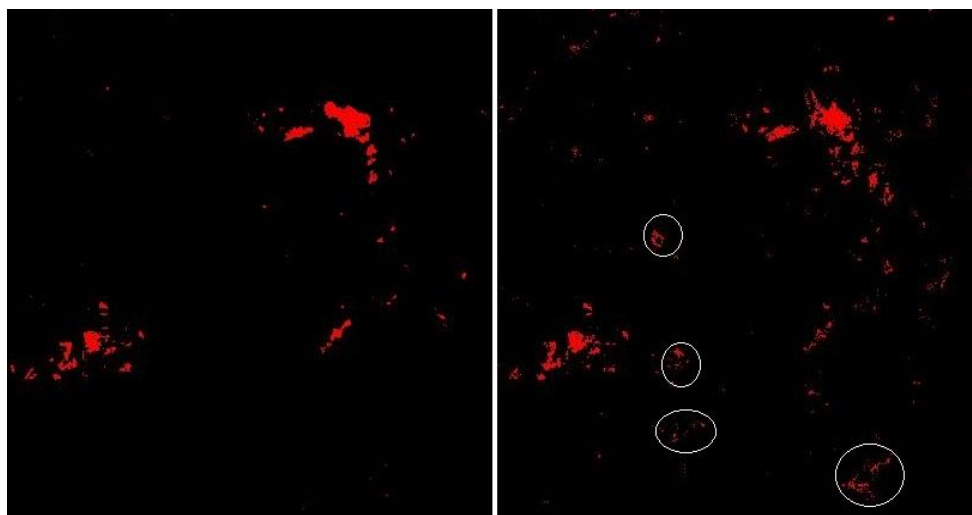


Рис. 2 – Класифікації ділянки нелегального видобутку бурштину (Обище-Шебедиха-Юрово, Олевський район, Житомирська область). Зліва – за запропонованою технологією, справа – класифікація з навчанням. Обведено території вирубки лісів, що були віднесені до порушених земель внаслідок нелегального видобутку бурштину

Запропонована методика верифікації дозволяє визначити місця нелегального видобутку бурштину серед інших територій з порушеними землями, що підвищує точність обрахунку площ. Її застосування має ряд переваг:

- дешевизна;
- можливість скорочення наземних вимірювань до мінімуму;
- оперативність;
- можливість верифікації даних про недоступні ділянки, що охороняються;
- безпека дослідника.

Запропонована технологія має універсальний характер і може також бути використана при моніторингу територій видобутку корисних копалин відкритим способом – вапняку, ільменіту, граніту тощо.

Висновки

У статті запропонована нова методика верифікації результатів супутникового моніторингу територій нелегального видобутку бурштину. Застосування методики дає можливість оперативно і з мінімальними витратами перевіряти точність обробки даних ДЗЗ, в тому числі і територій, що охороняються. Методика також може бути використана при моніторингу територій видобутку інших корисних копалин, які видобуваються відкритим способом.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Охарев В.О. Космічний моніторинг та геоінформаційні технології в задачах комплексної оцінки техногенного забруднення довкілля / В.О. Охарев // Тези 16-ї Української конференції з космічних досліджень. Одеса, 22–27 серпня 2016 – С. 212.
2. Філіпович В.Є. Методика і технологія оцінки шкоди, нанесеної Українській державі внаслідок нелегального видобутку бурштину / В.Є. Філіпович, Р.М. Шевчук // Український журнал дистанційного зондування Землі. – 2016 – № 11. – С. 15–21.
3. Філіпович В.Є. Методика пошуку та локалізації ділянок незаконного видобутку бурштину за матеріалами багатозональної космічної зйомки / В.Є. Філіпович, Г.Б. Крилова, М.С. Лубський // Сучасні інформаційні технології управління екологічною безпекою, природокористуванням, заходами в надзвичайних ситуаціях: зб. наук. праць 14-ї Міжнар. наук.-практ. конфер. (5–9 жовтня 2015 р., м. Київ, Пуща-Водиця). – С. 181–198.
4. Філіпович В.Є. Оперативний контроль поширення нелегального видобутку бурштину та оцінка збитків, заподіяних державі, за матеріалами багатозональної космічної зйомки / В.Є. Філіпович // Екологічна безпека та природокористування – 2015. – № 4. – С. 91–97.
5. Філіпович В.Є. Супутниковий моніторинг територій незаконного видобутку бурштину / В.Є. Філіпович // Український журнал дистанційного зондування Землі. – 2015. – № 6. – С. 4–7.
6. Янчук Р.М. Ідентифікація та визначення площ, порушених унаслідок видобування бурштину земель, на основі багатозональних супутникових знімків sentinel-2 / Р.М. Янчук, А.В. Прокопчук, С.М. Трохимець // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва. – 2017 – №1(33). – С. 120–124.

Стаття надійшла до редакції 07.08.2017

УДК 504.75 + 626/627

Д.В. СТЕФАНИШИН, А.В. ДЕМ'ЯНЮК

ОБҐРУНТУВАННЯ БАЗОВОЇ ДІАГНОСТИЧНОЇ МОДЕЛІ ДЛЯ КОНТРОЛЮ Й ПРОГНОЗУВАННЯ ФІЛЬТРАЦІЇ В ТІЛІ ЗЕМЛЯНОЇ ГРЕБЛІ ЗА ДАНИМИ РЕГУЛЯРНИХ П'ЄЗОМЕТРИЧНИХ СПОСТЕРЕЖЕНЬ

***Анотація.** Розглянуто задачу вибору базової діагностичної моделі для контролю й прогнозування фільтрації в тілі земляної греблі за даними регулярних п'єзометричних спостережень.*

***Ключові слова:** діагностична модель, земляна гребля, контроль, кореляція, п'єзометричні спостереження, прогнозування, регресія, фільтрація.*

Вступ

Земляні греблі є найбільш поширеним типом водопідпірних споруд у світі, зокрема і в Україні, де їх доля сягає майже 90% від загальної кількості гребель різного типу та призначення. Земляним греблям надають перевагу завдяки їх достатній надійності, перевірений практикою протягом тисячолітньої історії гідротехнічного будівництва (рис. 1), та через порівняно невисоку вартість зведення. Однак, наявність в тілі земляних гребель фільтраційного потоку, який в деяких випадках може суттєво впливати на їх роботу та робити вразливими до різного роду фільтраційних деформацій, все ще розглядається одним з їх недоліків [1]. Для земляних гребель фільтрація води разом із ущільненням ґрунтових мас є домінуючими процесами, що визначають їх стан. При цьому з фільтрацією, за статистикою, пов'язують до 60% всіх аварійних ситуацій, що сталися на земляних греблях [2]. Зважаючи на це, контролю фільтрації на земляних греблях приділяється значна увага, в тому числі і за допомогою спеціалізованих інструментальних спостережень [2–5].



а)



б)

Рис. 1 – Греблі Прозерпіна (а) (висота 21 м) та Корнальво (б)
(висота 24 м), що успішно експлуатуються в Іспанії з часів
Римської Імперії (були побудовані на межі I–II століть нашої ери) [5]

Серед видів інструментального контролю фільтрації на земляних греблях особливе значення мають п'єзометричні спостереження [2, 3, 5]. Вважається, що поверхня депресії, побудована за результатами натурних вимірювань рівня води в п'єзометрах, встановлених в кількох вимірювальних (п'єзометричних) створах, найбільш наглядно може характеризувати фільтраційний потік в тілі земляної греблі та вказувати на можливі фільтраційні порушення й аномалії. Від положення поверхні депресії в тілі земляної греблі залежить стійкість її низового укосу. За допомогою п'єзометрів може контролюватися працездатність протифільтраційних елементів і дренажних пристроїв, здійснюватися перевірка загальної і місцевої (локальної) фільтраційної міцності тіла греблі та її основи, встановлюватися достатність заглиблення поверхні депресії під поверхню низового укосу для недопущення її сезонного промерзання. Все це обумовлює актуальність досліджень, пов'язаних з контролем й прогнозуванням фільтрації в тілі земляних гребель за даними п'єзометричних спостережень, зокрема і проблеми розробки ефективних діагностичних моделей, за допомогою яких можна забезпечити завчасне виявлення різного роду фільтраційних порушень.

Огляд проблеми й постановка задачі досліджень

Згідно з традиційним підходом до контролю фільтрації на земляних греблях за даними п'єзометричних спостережень в якості діагностичних параметрів прийнято використовувати рівні води в п'єзометрах [3–7]. Контроль здійснюється порівнянням заміряних (або прогнозованих) рівнів води в п'єзометрах з деякими їх допустимими значеннями. При цьому останні не завжди встановлюються у строгій відповідності з чинними нормами проектування [1], а саме в залежності від критеріїв граничних станів земляних гідроспоруд. Зазвичай в якості допустимих показів п'єзометрів використовуються розрахункові значення п'єзометричних рівнів кривої депресії (депресійної поверхні), що відповідають прийнятій в проекті розрахунковій схемі фільтрації, і, при яких, відповідно, проводилися проектні розрахунки фільтраційної міцності тіла споруди та стійкості укосів. Однак, на практиці, досить часто, особливо при тривалій експлуатації греблі, допустимі покази п'єзометрів приймаються і з врахуванням значень, які в процесі експлуатації споруди виходили за межі проектних, без додаткової перевірки загальної стійкості низового укосу, місцевої та загальної фільтраційної міцності тіла греблі тощо.

Безперечно, що не кожне небажане «відхилення», особливо випадкове й нетривале, натурального положення рівня води в одному п'єзометрі від допустимого, узгодженого з проектом, однозначно свідчить про порушення фільтраційного режиму у відповідній області фільтрації з загрозою негативних наслідків для греблі в цілому. Причинами таких відхилень, наприклад, може бути температурний фактор, а також вихід з ладу п'єзометрів або їх підтоплення внаслідок випадання дощів, танення снігу тощо. На різних ділянках фільтрації в тілі земляної греблі одночасно можуть відбуватися як суфозійні процеси, так і процеси кольматажу, що також відбивається на показах п'єзометрів [5]. При цьому споруда в цілому або окремий її елемент можуть в повній мірі відповідати нормативним вимогам і при різних показах п'єзометрів при одних і тих же умовах її роботи та навантаженнях в різні

моменти часу. В той же час саме зміни в часі можуть свідчити про характер розвитку фільтраційного процесу в тілі греблі й про те, в якому стані знаходяться окремі її частини, протифільтраційні та дренажні пристрої. Таким чином, для підвищення ефективності п'єзометричного контролю важливо відслідковувати, коректно інтерпретувати й передбачати ці зміни.

Такий підхід до контролю фільтрації в тілі земляної греблі за даними п'єзометричних спостережень узгоджується з основними принципами діагностики та контролю стану технічних систем та об'єктів, які були сформульовані Р. Коллакотом [8], зокрема:

- 1) послідовність й систематичність (неперервність або регулярність) вимірювань параметрів й ознак, обраних в якості діагностичних;
- 2) виявлення змін в поведінці цих параметрів й ознак в часі;
- 3) прогнозування майбутніх станів об'єкта діагностування з врахуванням цих змін.

Відповідно вирішення проблеми контролю фільтрації в тілі земляної греблі за даними п'єзометричних спостережень залежить від вибору відповідних діагностичних параметрів й побудови ефективних діагностичних моделей, які б дозволяли реалізувати вищевказані принципи на практиці.

Регулярність п'єзометричних спостережень на земляних греблях забезпечує їх автоматизація. Впровадження сучасних автоматизованих систем контролю (АСК) стану гідроспоруд, як показав досвід застосування АСК на лівобережній земляній греблі Київського гідровузла [5], значно розширює можливості традиційного п'єзометричного контролю фільтрації на земляних греблях, оснащених, як правило, досить великою кількістю п'єзометрів. Зокрема, можуть встановлюватися довільні інтервали часу між замірами, які можуть проводитися щодня, щогодини тощо. Заміри на різних п'єзометрах легко узгоджуються в часі, в тому числі і з спостереженнями за іншими важливими параметрами, які можуть включатися в діагностичну модель.

В [9, 10] було запропоновано новий підхід до контролю, моделювання і прогнозування стану складної системи за даними моніторингу, що ґрунтується на побудові ситуаційних і індуктивних діагностичних моделей на основі рядів динаміки. Окремі положення цього підходу щодо контролю й прогнозування стану земляних гребель викладено також в [5]. Згідно з цим підходом ситуаційні моделі, які, зазвичай, представляються у вигляді простих регресій від одного, найбільш значимого параметра впливу, адаптуються до даних окремих часових інтервалів функціонування системи з однорідним прогнозним фоном, які обмежуються монотонними або квазістаціонарними динамічними рядами даних і вважаються адекватними на цих інтервалах. Результати ситуаційного моделювання формують підставу (базу) для побудови індуктивних моделей, де враховуються особливості еволюції параметрів стану системи в часі. Загальна прогнозна модель станів системи при такій постановці задачі являє собою сімейство індуктивних моделей як моделей «рівнів», які можуть представлятися трендами модельних значень, у вигляді регресій модельних значень або комбінаціями трендів та регресій залишків трендів модельних значень, що встановлюються за ситуаційними моделями минулих періодів, в тому числі і від деяких похідних параметрів незалежних змінних. При цьому прогнозування стану системи може здійснюватися як на основі ситуаційних моделей, за допомогою яких відслідковується поведінка параметрів стану системи в межах обмежених

інтервалів часу, на яких ситуаційні моделі є адекватними, так і на основі індуктивних моделей, за допомогою яких відслідковується еволюція ситуаційних моделей як фазових портретів минулих станів системи та відтворюються ситуаційні моделі станів системи майбутніх періодів. В якості рівнянь зв'язку при такому, комбінованому, ситуаційно-індуктивному моделюванні, на окремих його етапах, можуть використовуватися відносно прості залежності (функціональні – кінематичного типу у вигляді трендів і регресійні), що легко адаптуються до нових даних та змін прогнозного фону [9, 10]. Задачею цих досліджень є обґрунтування структури висхідної ситуаційної моделі, яку можна назвати базовою, для здійснення ефективного контролю й коректного прогнозування фільтрації в тілі земляної греблі при ситуаційно-індуктивному моделюванні за даними регулярних п'єзометричних спостережень, які забезпечує АСК.

Вибір змінних базової ситуаційної моделі

Основними діагностичними моделями, що на разі використовуються при оцінці стану гідроспоруд на основі даних інструментальних спостережень, в тому числі і за фільтрацією, є регресійні моделі. Зокрема регресійні залежності, інколи й досить складні, які описуються великою кількістю пояснюючих змінних, використовуються при моделюванні фільтраційних витрат [4].

Що стосується моделювання положення поверхні депресії за даними п'єзометричних спостережень, то така задача в рамках традиційного підходу, коли за вибірковими даними будуються регресійні залежності, які можуть бути справедливими й для генеральних сукупностей даних й використовуватися при прогнозуванні, може виявитися набагато складнішою, ніж моделювання фільтраційних витрат, на що вказується в [5, 8].

Ситуаційно-індуктивне моделювання [9, 10] дозволяє спростити поставлену задачу. При такому підході вибіркові регресійні моделі вважаються справедливими лише на обмежених інтервалах часу, протягом яких формувалися відповідні вибірки даних спостережень. Тому кожен ситуаційну регресійну модель, побудовану за даними п'єзометричних спостережень, слід розглядати, насамперед, як інтерпретаційну модель.

Аналіз рядів даних регулярних п'єзометричних спостережень на лівобережній земляній греблі Київського гідровузла [5] показує, що за допомогою АСК можна накопичувати необхідні дані в достатніх обсягах, щоб формувати репрезентативні (представницькі) вибірки для будь-якої ситуації, яка розвивається в часі і може розглядатися з точки зору контролю фільтрації в тілі земляної греблі. При цьому на короткому інтервалі часу при оперуванні рядами динаміки легше забезпечити належність вибірових даних до кластерів, на базі яких при побудові ситуаційної регресійної моделі можна обмежитись лише однією незалежною (пояснюючою, екзогенною) змінною, щоб в якості ситуаційної моделі використати просту (парну) регресію.

Зокрема, в [5] в якості таких ситуаційних моделей, які можуть бути адекватними на обмежених інтервалах часу, було запропоновано використовувати прості лінійні регресійні залежності падіння напору на контрольованій ділянці фільтрації (від урізу води у верхньому б'єфі до п'єзометра або між п'єзометрами тощо) від рівня води у верхньому б'єфі, де падіння напору:

$$h = x - z, \quad (1)$$

де x – рівень води у РВБ – незалежна (пояснююча, екзогенна змінна моделі);
 z – рівень води у п'єзометрі.

Відповідно модельне значення рівня води в п'єзометрі за результатами ситуаційного моделювання падіння напору на деякому j -му інтервалі часу у вигляді простої лінійної регресії виду $h_{r,j} = b_{0,j} + b_{1,j} \cdot x_j + e_j$, де $b_{0,j}$, $b_{1,j}$ – невідомі параметри (коефіцієнти j -ї ситуаційної моделі), що потребують визначення, e_j – випадкові відхилення від моделі, при цьому буде:

$$z_{r,j} = x_j - h_{r,j}. \quad (2)$$

В цьому випадку необхідність врахування нелінійності між змінними моделі може свідчити про зміну ситуації і вказувати на необхідність побудови нової ситуаційної моделі.

Проведені нами вибіркові дослідження щільності кореляційних зв'язків між різними змінними в альтернативних ситуаційних моделях, з яких прямо чи опосередковано можуть визначатися рівні води в п'єзометрах, показали, що у всіх можливих ситуаціях щільність кореляційних зв'язків між падіннями напору та рівнями води у верхньому б'єфі є найбільшою в порівнянні з іншими випадками ситуаційного моделювання. В якості незалежних змінних при пошуковому моделюванні нами розглядалися рівень води у верхньому б'єфі (змінна x), рівень води в нижньому б'єфі (змінна y), напір (змінна H) (різниця між рівнями води в б'єфах, $H = x - y$); в якості залежних змінних – рівні води в п'єзометрах z , падіння напору на ділянці фільтрації h та такі відносні величини як z/x , h/x , z/H , h/H . Температура води в б'єфах, температура повітря, температура води в п'єзометрі та інші можливі показники при цьому відносилися до прогностного фону [9, 10].

Перевірка адекватності базової ситуаційної моделі

Для перевірки адекватності використання простої лінійної регресії між падінням напору h на контрольованій ділянці фільтрації до п'єзометра та рівнем води у верхньому б'єфі x для прогнозування рівня води в п'єзометрі на основі ситуативно-індуктивного моделювання за даними регулярних п'єзометричних спостережень було виконано контрольне прогнозування положення рівня води в п'єзометрі П-65Б, встановленому в тілі лівобережної земляної греблі Київського гідровузла в області дренажу, для першої декади грудня за даними щоденних замірів рівнів води в п'єзометрі та рівнів води у верхньому б'єфі, які проводилися в 2002–2009 рр. Перспективне прогнозування здійснювалося на грудень 2010, 2011, 2012 рр.

Результати ситуаційного моделювання у формі простих лінійних регресій між падіннями напору (залежна змінна h) на ділянці фільтрації до п'єзометра П-65Б та рівнями води у верхньому б'єфі (РВБ, пояснююча змінна x) представлено на рис. 2. Індуктивне моделювання здійснювалося при трьох очікуваних значеннях РВБ, що повторюються протягом служби греблі

(102,2 м, 102,6 м та 103,0 м). Для цього формувалися ряди динаміки модельних значень падінь напору в часі (рис. 3), визначених за допомогою ситуаційних моделей (рис. 2) при одних і тих же значеннях РВБ, щоб відобразити еволюційні зміни в показях п'єзометра в часі.

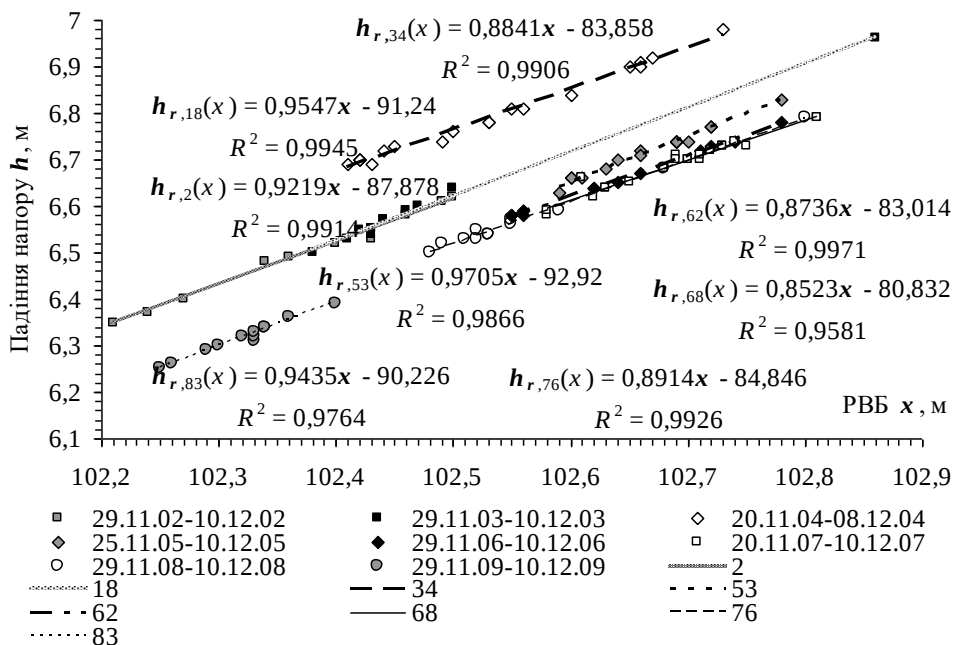


Рис. 2 – Ситуаційні регресійні моделі падіння напору $h_{r,j}(x)$ на ділянці фільтрації між верхнім б'єфом та п'єзометром П-65Б для першої декади грудня, де j – порядковий номер ситуаційної моделі

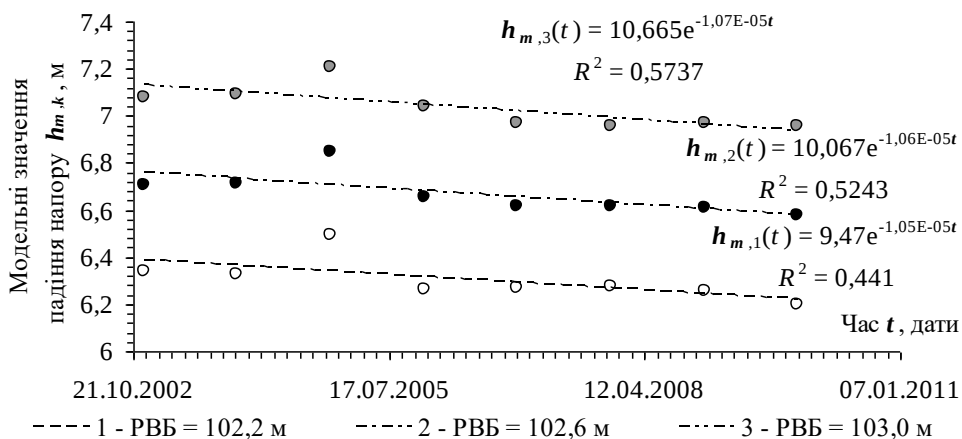


Рис. 3 – Виділення кінематичних складових (у вигляді трендів $h_{m,k}(t)$, $k = 1, 2, 3$) в рядах модельних значень падінь напору на ділянці фільтрації до п'єзометра П-65Б для першої декади грудня

Індуктивні (прогнознi) моделі падінь напору k -х «рівнів» (x_k , $k = 1, 2, 3$; $x_1 = 102,2$ м; $x_2 = 102,6$ м; $x_3 = 103,0$ м) представлялися у вигляді композицій двох складових: регулярної (тренду) та регресії відповідних випадкових відхилень Δh_{jk} («залишків») вилучення k -го тренду в ряді модельних значень $h_{r,j}(x_k)$ від нової пояснюючої змінної x_L :

$$h_{p,k}(t, x_L) = h_{m,k}(t) + \Delta h_{r,k}(x_L), \quad k = 1, 2, 3, \quad (3)$$

де $\Delta h_{jk} = h_{r,j}(x_k) - h_{m,k}(t)$, x_L – змінна (див. значення в табл. 1), яку, зі зміщенням (лагом) в ретроспективу на один часовий період (на одну ситуаційну модель), було вибрано на основі аналізу кореляції з рядами «залишків» Δh_{jk} :

$$x_L = (x_{1,j-1} + x_{n,j-1}) / 2, \quad (4)$$

де $x_{1,j-1}$, $x_{n,j-1}$ – значення першого і останнього членів ряду динаміки РВБ попереднього ($j-1$) періоду.

Таблиця 1 – Значення змінної x_L для попередніх ($j-1$) періодів

Рік	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
x_L	102,47	102,93	102,68	102,62	103,07	102,96	102,84	102,59

Регресійні моделі для випадкової складової $\Delta h_{r,k}(x_L)$ (x_k , $k = 1, 2, 3$; $x_1 = 102,2$ м; $x_2 = 102,6$ м; $x_3 = 103,0$ м) представлено на рис. 4.

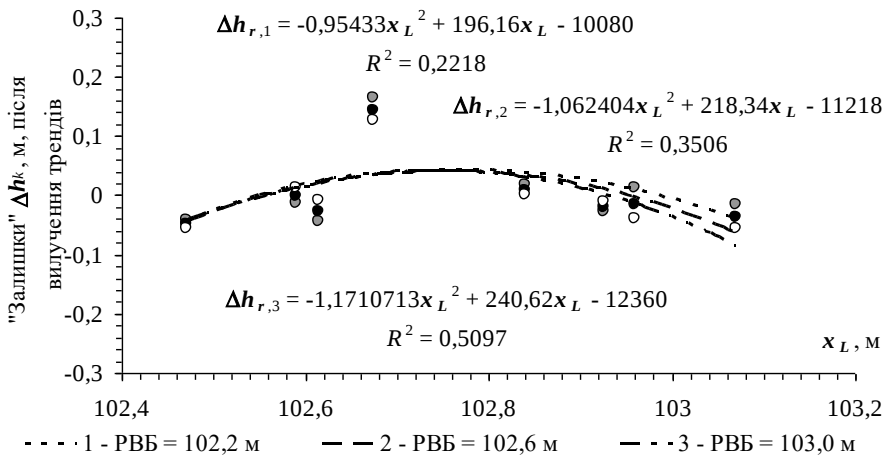


Рис. 4 – Регресійні моделі $\Delta h_{r,k}(x_L)$

На рис. 5 наведено результати прогнозування значень падіння напору на ділянці фільтрації до п'єзометра П-65Б у вигляді ситуаційних моделей-прогнозів з врахуванням спостережених значень змінної x_L , які порівнюються із ситуаційними моделями, побудованими за натурними даними.

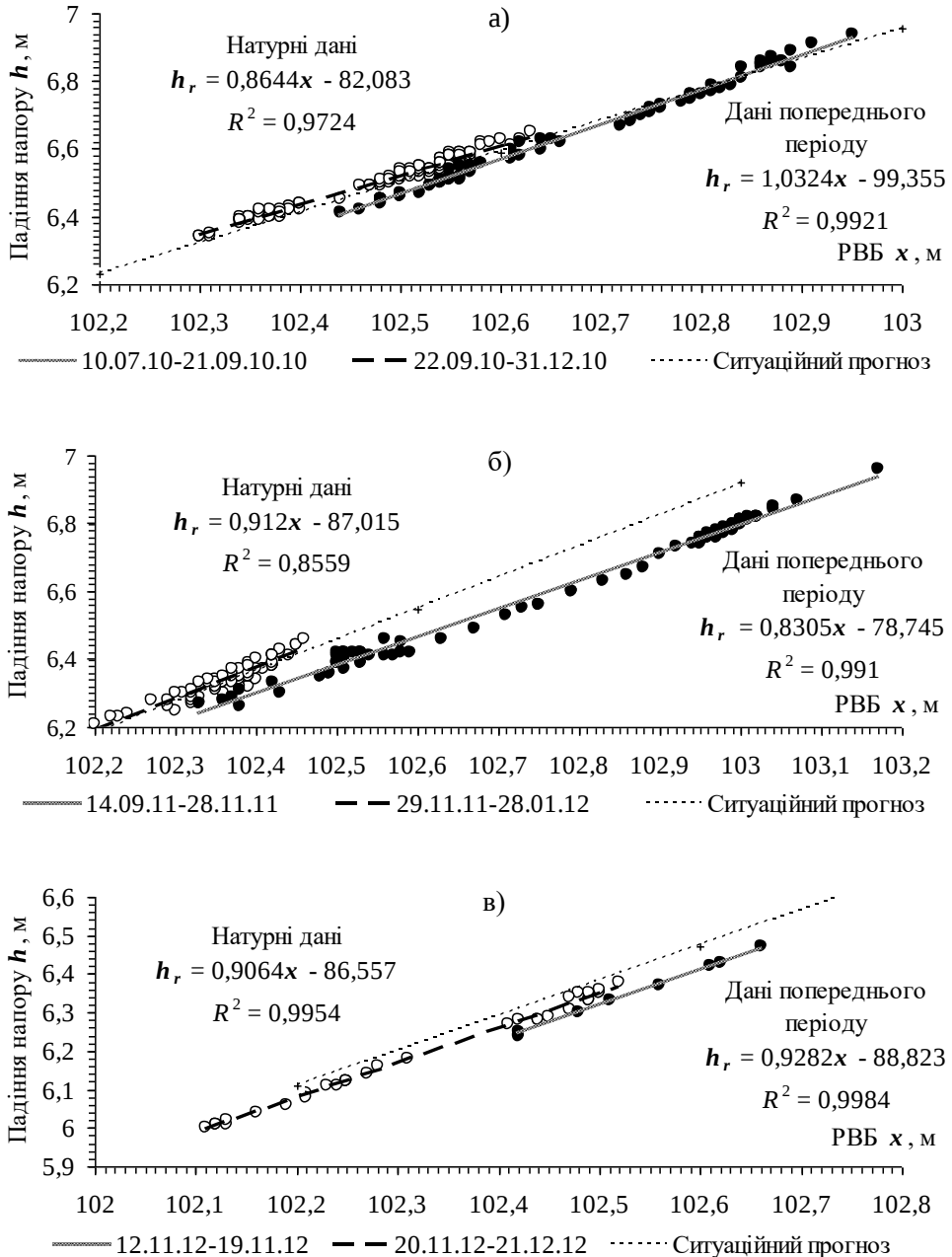


Рис. 5 – Співставлення результатів прогнозування падіння напору на ділянці фільтрації до п'єзометра П-65Б з даними спостережень в 2010 р. (а), 2011 р. (б) і 2012 р. (в)

Результати перспективного прогнозування рівнів води в п'єзометрі П-65Б в першій декаді грудня 2010, 2011, 2012 рр., які порівнюються зі спостереженими даними, наведено на рис. 6. Можна зауважити, що, в цілому, результати прогнозування рівнів води в п'єзометрі відповідають натурним даним. Відхилення прогнозних значень відмітки рівня води в п'єзометрі від даних натурних спостережень не перевищує кількох сантиметрів.

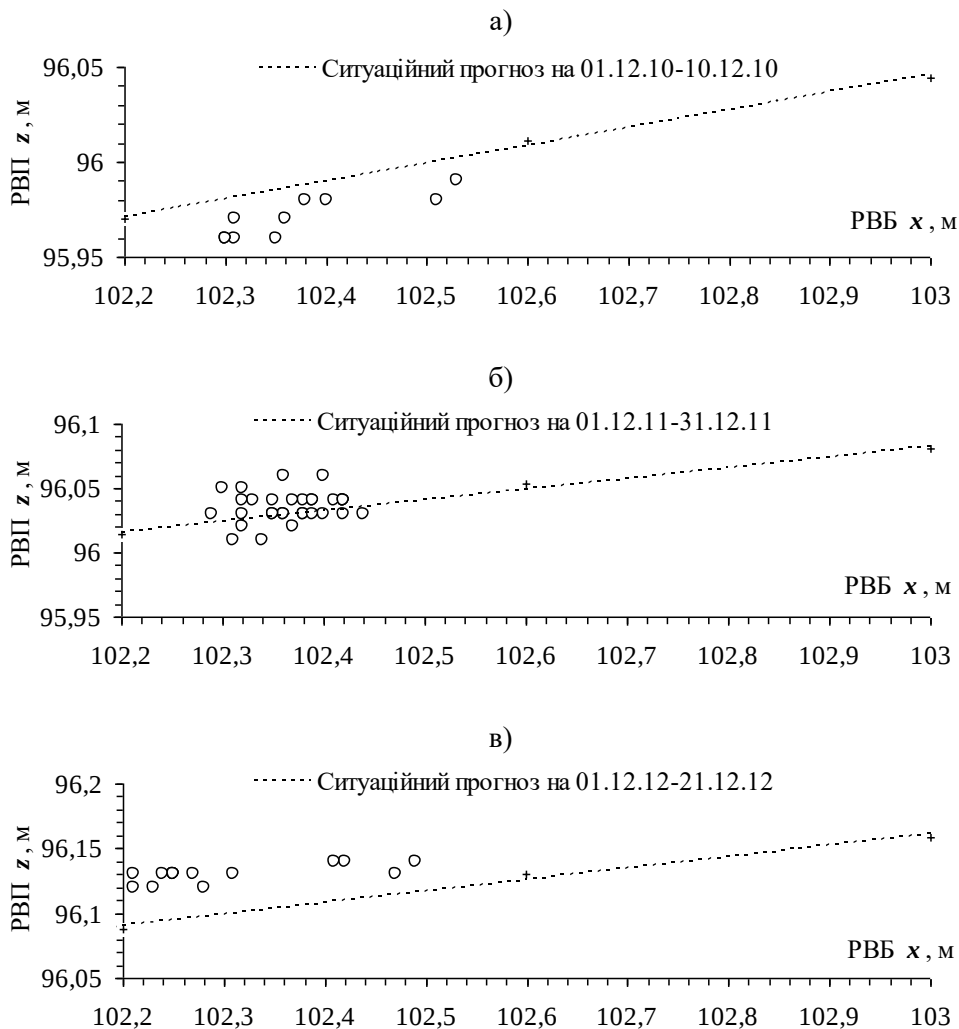


Рис. 6 – Співставлення результатів прогнозування відмітки рівня води (z) в п'єзометрі (РВП) П-65Б з даними спостережень в 2010 р. (а), 2011 р. (б) та 2012 р. (в)

Висновки

1. Обґрунтовано структуру базової ситуаційної моделі для контролю й прогнозування фільтрації в тілі земляної греблі при ситуаційно-індуктивному моделюванні за даними регулярних п'єзометричних

спостережень, які забезпечує АСК, у вигляді простої лінійної регресії падіння напору на ділянці фільтрації до п'єзометра від рівня води у верхньому б'єфі.

2. Здійснено перевірку адекватності використання в якості базової ситуаційної моделі простої лінійної регресії між падінням напору на ділянці фільтрації до п'єзометра та рівнем води у верхньому б'єфі для прогнозування рівня води в п'єзометрі на основі ситуативно-індуктивного моделювання за даними регулярних п'єзометричних спостережень на прикладі ситуаційного прогнозування положення рівня води в п'єзометрі П-65Б, встановленому в тілі лівобережної земляної греблі Київського гідровузла в області дренажу, за даними щоденних замірів рівнів води в п'єзометрі та рівнів води у верхньому б'єфі, які проводилися в 2002–2009 рр. Прогнозування здійснювалося на першу декаду грудня 2010, 2011, 2012 рр.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. ДБН В.2.4-20:2014. Греблі з ґрунтових матеріалів. Основні положення / ДБН В.2.4-20:2014. – К.: Міністерство регіонального розвитку та будівництва України, 2015. – 37 с. – (Національний стандарт України).
2. Аравин В. И. Натурные исследования фильтрации / В. И. Аравин, О. Н. Носова. – Л.: Энергия, 1969. – 256 с.
3. Кавешников Н. Т. Эксплуатация и ремонт гидротехнических сооружений / Н. Т. Кавешников. – М.: Агропромиздат, 1989. – 272 с.
4. Малаханов В. В. Техническая диагностика грунтовых плотин / В. В. Малаханов. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 121 с.
5. Стефанишин Д. В. Про один підхід до оцінки стану земляної греблі, що перебуває в постійній експлуатації, за даними регулярних п'єзометричних спостережень / Д. В. Стефанишин // Гідроенергетика України. – № 3. – 2012. – С. 27–32.
6. Рекомендации по диагностическому контролю фильтрационного режима грунтовых плотин / П 71–2000. – СПб.: Издательство ОАО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева», 2000. – 30 с.
7. Jung In-Soo. Interpreting the Dynamics of Embankment Dams through a Time-Series Analysis of Piezometer Data Using a Non-Parametric Spectral Estimation Method / In-Soo Jung, M. Berges, J. H. Garrett Jr, Ch. J. Kelly // Computing in Civil Engineering, 2013. – P.P. 25–32.
8. Collacott R. A. Structural Integrity Monitoring / R. A. Collacott. London – New York. Chapman and Hall, 1985. – 455 p.
9. Stefanyshyn D. V. A Method of Forecasting of Indexes of Dynamic System that evolves slowly, based on Time Series Analysis / D. V. Stefanyshyn // ICIM 2013. Proc. of 4th Int. Conf. on Inductive Modelling. Kyiv, Ukraine, September 16–20, 2013. – P.P. 221–224.
10. Стефанишин Д. В. Метод прогнозного моделювання показників стану гідропоруд за даними моніторингу / Д. В. Стефанишин // Сучасні проблеми математичного моделювання, прогнозування та оптимізації. Тези доповідей VI Міжнародної наукової конференції. – Кам'янець-Подільський: Кам'янець-Подільський національний університет. 2014. – С. 157–158.

Стаття надійшла до редакції 05.07.2017

УДК 519.7:624.012

Ю.І. КАЛЮХ, В.А. ДУНІН, Я.О. БЕРЧУН, С.М. САМОЙЛЕНКО

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-АНАЛІТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ЗАЛІЗНИЧНИХ ПРОТИЗСУВНИХ СПОРУД ПІД ДІЄЮ ДИНАМІЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ

Анотація. Пропонується нова прикладна методика системного аналізу технічного стану залізничних протизсувних споруд (ЗПС). Методика включає наступні етапи: вібродинамічне обстеження ЗПС; побудову математичної та розрахункової моделей об'єкта дослідження; виконання розрахунків напружено-деформованого стану ЗПС за допомогою відомих програмних засобів будівельної механіки, які сертифіковані та використовуються в будівельній галузі України; порівняльний аналіз експериментальних та розрахункових даних; рекомендації щодо ремонту, відновлення (в разі потреби) та подальшої експлуатації. З'ясовано, що ЗПС в середній частині на час проведення віброметричних досліджень має зменшений показник жорсткості в горизонтальному напрямку. Це може бути спричинено як конструктивними особливостями ЗПС, так і внутрішніми дефектами, що накопичились за час експлуатації стінки. Максимальні зареєстровані амплітуди віброприскорень ЗПС при дії мікросейсмічних коливань і русі залізничних поїздів не перевищують по осі X $0,25 \text{ см/с}^2$, по осі Z – $0,8 \text{ см/с}^2$. Міцність бетону відповідає класу В25. Для подальшої експлуатації необхідно ліквідувати наявні дефекти. Експериментально зареєстрована максимальна амплітуда поперечних коливань виникає при частоті 8 Гц. Різниця з розрахунковою частотою коливань становить 1,46 Гц, що відповідає відхиленню $\sim 18\%$.

Ключові слова: системний аналіз, технічний стан, протизсувна споруда, неруйнівні методи, чисельне моделювання.

Вступ

Протягом останніх 20–30 років швидкість руху на залізницях збільшилася до 500–600 км/год. Це вимагає підвищеного рівня надійності всіх елементів ланцюжка «локомотив – потяг – залізничні колії – огорожувальні залізобетонні будівельні конструкції». Підпірні стіни знаходяться під безперервним динамічним впливом техногенних і природних факторів (сейсмічні навантаження) [1]. Для підтримки на належному технічному рівні підпірних споруд та безперебійної роботи залізниці необхідне визначення деформацій ЗПС на початковому етапі, без аварійних ситуацій і припинення проходження залізничних потягів [2]. Основна тенденція в розвитку технічних засобів для реалізації методів неруйнівного контролю в порівнянні з візуальним обстеженням – створення складного багатофункціонального програмно-технічного обладнання для комплексної оцінки стану будівельних конструкцій за результатами аналізу хвильових процесів [3–5].

Основна частина

Пропонується нова прикладна методика системного аналізу технічного стану залізничних протизсувних споруд (ЗПС). Методика включає наступні етапи:

© Ю.І. Калюх, В.А. Дунін, Я.О. Берчун, С.М. Самойленко, 2017

1. Вібродинамічне обстеження ЗПС.

2. Побудова математичної та розрахункової моделей об'єкта дослідження. Виконання розрахунків напружено-деформованого стану (НДС) ЗПС за допомогою відомих програмних засобів будівельної механіки, які сертифіковані та використовуються в будівельній галузі України.

3. Порівняльний аналіз експериментальних та розрахункових даних.

4. Рекомендації щодо ремонту та відновлення (в разі потреби), а також для подальшої експлуатації.

Етап 1 включає наступний порядок виконання робіт при вібродинамічних обстеженнях ЗПС. Методика віброметричних (інструментальних) обстежень передбачає вимірювання віброприскорень підпірних стінок протизсувної споруди та прилеглого ґрунту в горизонтальній та вертикальній площині по напрямках X та Z відповідно до [6, 7]. Для попереднього ознайомлення з об'єктом обстеження була розглянута схема ЗПС із зазначенням основних розмірів. Підпірна стінка утримує насипаний під колійну основу ґрунт завдяки перерізу, що за формою близький до прямокутної трапеції з довжиною верхньої основи 4,5 м, нижньої – 1,5 м та висотою 5 м. На насипному ґрунті розміщена основа для одноколійної залізниці. Конструктивно підпірна стінка зібрана з окремих однотипних елементів «стіна в ґрунті» шириною 130 см, встановлених на фундамент з пальовим ростверком. У верхній частині підпірна стінка має монолітний залізобетонний пояс площею перерізу 600х600 мм. Зовнішніми чинниками динамічного впливу на підпірну стінку є такі: знакоперемінні мікросейсмічні коливання природного характеру, зумовлені розташуванням досліджуваного об'єкта в сейсмічній зоні передгір'я Карпат; рух залізничних потягів по певній ділянці залізничної колії.

Мікросейсмічні коливання ґрунту відбуваються постійно і мають змінний характер як за напрямком, так і за інтенсивністю. Вплив рухомих залізничних потягів на ґрунтову основу залізничної колії та протизсувну споруду є нерегулярним. Як показали візуальні спостереження, швидкість руху пасажирських залізничних потягів на ділянці, що прилягає до протизсувної споруди, не перевищує 50–80 км/год.

У рамках розробленої методики були реалізовані наступні схеми (див. рис. 1) розміщення вібродатчиків на верхньому майданчику ЗПС:

Схема 1. Розміщення датчиків №5, №6 та №7 на верхньому майданчику стіни в т. 1, т. 2 та 3 та для вимірювання горизонтальних віброприскорень в напрямку X.

Схема 2. Розміщення датчиків №5, №6 та №7 на верхньому майданчику стіни в т. 1, т. 2 та 3 та для вимірювання вертикальних віброприскорень в напрямку Z.

На положення осей X та Z на рис. 1 вказують напрямки вимірювання віброприскорень. Рух потяга вздовж залізничної колії здійснювався в напрямку від т. 1 до т. 3 (рис. 1). Для виконання всього обсягу запланованих вібродинамічних обстежень записи коливань проводились протягом 3 хв, двічі повторюючись по кожній схемі розміщення вібродатчиків, хоча безпосередньо динамічний вплив від потяга на підпірну стінку здійснювався протягом 20 с при його швидкості близько 50 км/год.



Рис. 1 – Місця розташування вібродатчиків під час дослідження підпірної стінки

На рис. 2 представлений графік часового сигналу горизонтальних віброприскорень в напрямку X (перпендикулярному до залізничної колії) при русі пасажирського потяга. Горизонтальні віброприскорення зафіксовані в діапазоні $0,21\text{--}0,42\text{ м/с}^2$ на кінцевих ділянках підпірної стінки та $0,63\text{ м/с}^2$ на середній ділянці підпірної стінки. Запис часових сигналів віброприскорень проводився в діапазоні частот від $0,3\text{ Гц}$ до $100,0\text{ Гц}$. Діапазон переважаючих частот при русі потяга для крайніх та середньої ділянок близький – в діапазоні $0,3\text{--}25,0\text{ Гц}$. Для оцінки динамічних властивостей вказаних ділянок підпірної стінки наведено амплітудні спектри коливань в т.1 – т.3 при проїзді пасажирського потяга. На рис. 3 представлені амплітудні спектри горизонтальних коливань по X відповідно для т. 1 – т. 3.

Перша переважаюча частота амплітудного спектру горизонтальних коливань на крайніх ділянках ЗПС по напрямку X складає $6,8\text{ Гц}$ (рис. 3, верхній та нижній рисунки). Ділянка в середній частині підпірної стінки такого явного піку переважаючих частот не має (рис. 3, середній рисунок). Це свідчить про те, що підпірна стінка в середній частині на час проведення віброметричних досліджень має зменшений показник жорсткості в горизонтальному напрямку. Це може бути спричинено як конструктивними особливостями ЗПС, так і внутрішніми дефектами, що накопичились за час експлуатації стінки. В якості пояснення звернемо увагу на конструктивні особливості стінки після її зведення. В результаті візуального обстеження встановлено, що верхні розподільчі балки на окремих ділянках ЗПС тільки прилягають до елементів "стіна в ґрунті" під "власною вагою", а не зав'язані з ними, як це спостерігається на інших ділянках та повинно бути за проектом.

Важливим фактором негативного динамічного впливу на ЗПС є можлива наявність з'єднувального стику колій на даній ділянці залізничного полотна. Таким чином, споруда підпірної стінки відповідає класу стійкості С, а допустимі значення віброприскорень при періодичних коливаннях складають 380 мм/с^2 ($38,0\text{ см/с}^2$). Для ґрунту допустимий рівень віброприскорень, при яких виключене осідання фундаментів будівлі або споруди, згідно з рекомендаціями Савінова О.А. та Кудрявцева І.А. [8, 9], не може перевищувати 15 см/с^2 .

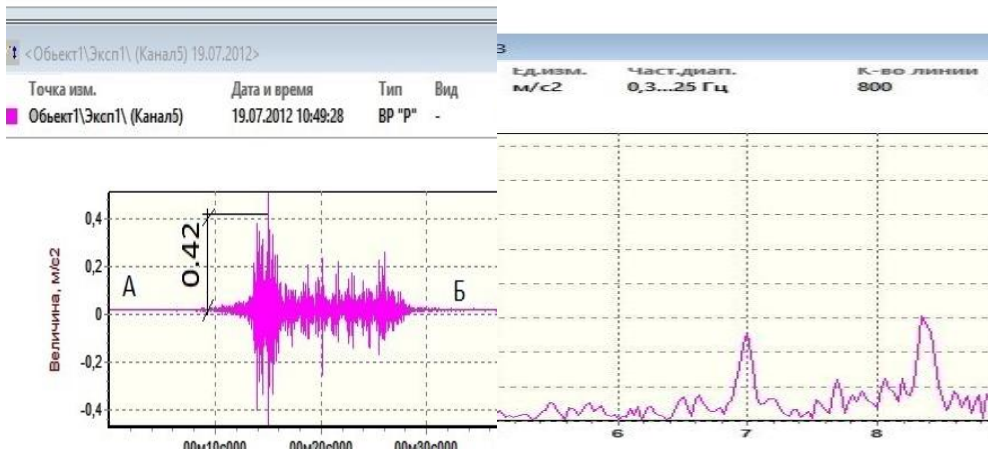
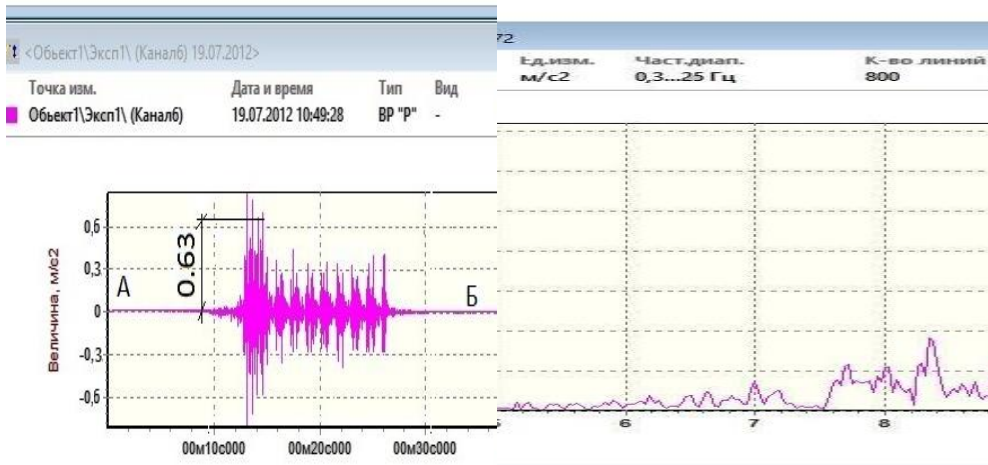
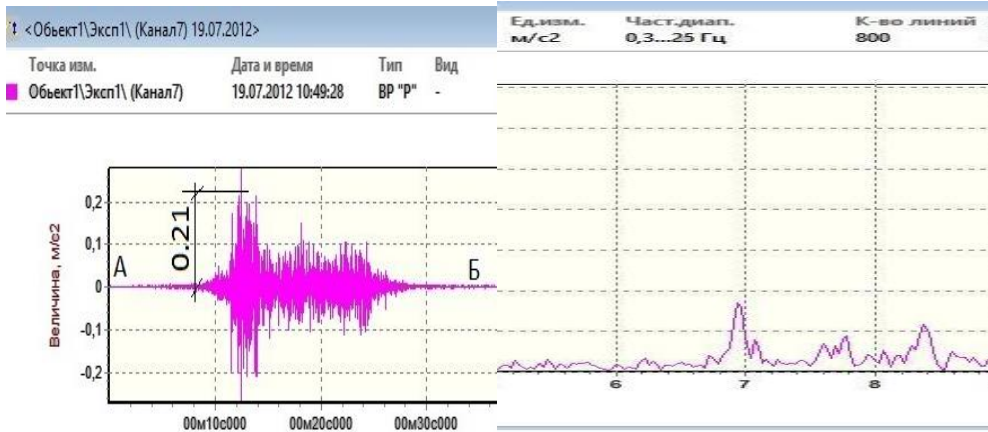


Рис. 2. – Часовой сигнал горизонтальных виброприскорень ЗПС (напрямок X) при проїзді пасажирського потяга в напрямку від т. 1 до т. 3

Рис. 3. – Часовой сигнал горизонтальных виброприскорень ЗПС (напрямок X) при проїзді пасажирського потяга в напрямку від т. 1 до т. 3

Етап 2. Побудова математичної та розрахункової моделей об'єкта дослідження. Виконання розрахунків напружено-деформованого стану ЗПС за допомогою відомих програмних засобів будівельної механіки.

Для чисельного моделювання НДС ЗПС нами був використаний програмний комплекс «Ліра» 9.6. [10]. При чисельному моделюванні НДС ЗПС враховувалося від 5 до 15 секцій шириною 1,3 м кожна. Для ЗПС була розроблена графічна модель у програмно-розрахунковому комплексі ЛІРА 9.6 (рис. 4).

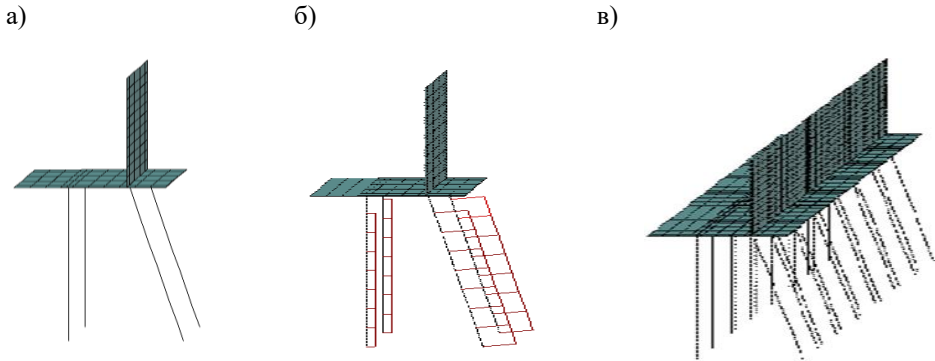


Рис. 4 – Різні графічні моделі ЗПС, що використовувалися при числовому моделюванні (а-в) ЗПС у комплексі ЛІРА 9.6

Відсутність достатньої кількості вихідної інформації щодо конструкції стіни, пальового фундаменту, складу ґрунтів і їх ФМХ, акселерограм динамічних дій на конструкцію ЗПС від потягів, що проходять, дала підстави задати наступні окремі параметри: масу транспортного засобу взяти такою, що дорівнює 70 т; ґрунти взяти суглинні (суглинки напівтверді з нормативними характеристиками відповідно до табл. В.2 і В.3 [11]): $\rho = 1,8\text{--}1,9 \text{ т/м}^3$, $I_L = 0\text{--}0,3$, $e = 0,6\text{--}0,7$, $E = 1900\text{--}2000 \text{ т/м}^2$, $\varphi = 15\text{--}25^\circ$, $C = 0,25\text{--}30 \text{ т/м}^2$, $\mu = 0,15\text{--}0,2$. Розрахункові характеристики ґрунту визначалися за положенням додатка до [11] ($\varphi_1 = 20^\circ\text{--}25^\circ$, $C_1 = 0,75\text{--}0,85 \text{ т/м}^2$); розрахунковий кут φ_1 для варіанта із сейсмічними навантаженнями 7 балів був взятий таким, що дорівнює $20^\circ\text{--}25^\circ$; крок паль дорівнює 1,0 м; кут нахилу дорівнює 10° ; модуль деформації залізобетонних конструкцій дорівнює $306 \times 10^4 \text{ т/м}^2$; горизонтальні зв'язи фундаменту ЗПС дорівнюють 0,8 і 1,5 м при товщині 0,2 м; прив'язка вертикальної палі – 1,2 м; прив'язка верху по похилій палі – 0,8 м. Напруги, що передаються на стіну, на рівні її верху і низу обчислювалися за формулами граничної рівноваги, наведеними в роботі [12]. У розрахунках на динамічні впливи враховувалася жорсткість ґрунтової основи під підпошковою ростверку. Жорсткісні характеристики ґрунтової основи для ростверку і паль визначалися відповідно до положень [13]. Жорсткість ґрунту по боковій поверхні вертикальної стінки обчислювалася за формулою (9.20) [12] і формулами (5) і (7) [14].

При чисельному моделюванні були проведені розрахунки по 12 варіантах навантажень ЗПС: власна вага залізобетонних конструкцій; власна вага ґрунту на лівому краї горизонтальної ділянки підпірної стіни – $3,105 \text{ т/м}^2$; власна вага ґрунту на лівому краї ростверку – $1,242 \text{ т/м}^2$; власна вага ґрунту і навантаження від транспортного засобу на правому краї горизонтальної ділянки підпірної

стіни – 19,18 т/м²; активний тиск ґрунту на стінку (праворуч) з урахуванням пригрузу транспортним засобом $\sigma_2' = 2,65$ т/м², $\sigma_2 = 5,94$ т/м²; тиск ґрунту на стінку (зліва) $\sigma_2' = 0$ т/м², $\sigma_2 = 1,2$ т/м²; снігове навантаження для регіону Чернівців $P = 0,1534$ т/м²; сейсмічний вплив – 7 балів ($\alpha = 0,1$, $K_1 = 0,25$, $K_2 = 0,5$, $K_3 = 1$, $K_{zp} = 1$).

Окремі результати динамічного розрахунку системи "ґрунтова основа – пальовий фундамент – конструкція ЗПС" на вібраційні і сейсмічні впливи наведено на рис. 5 і рис. 6.

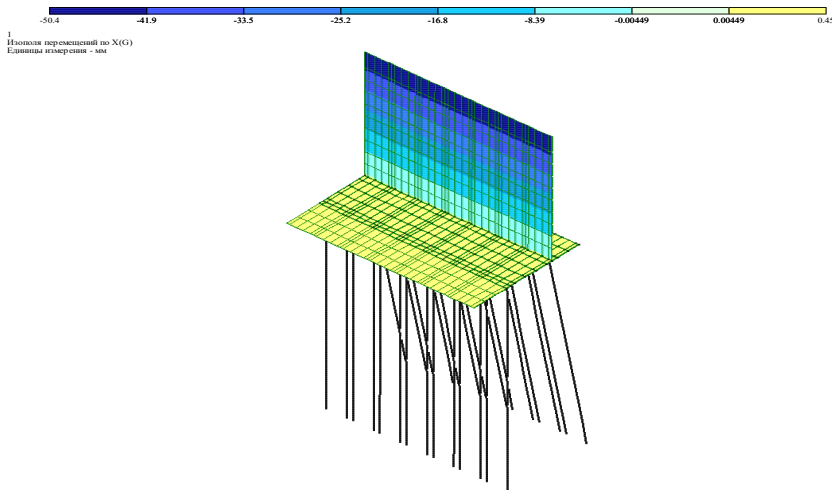


Рис. 5 – Ізополя горизонтальних переміщень підпірної стінки по осі X під дією сейсмічних навантажень, що діють під прямим кутом до залізничного полотна

Результати обчислення показують, що період власних коливань за першою формою дорівнює 0,157 с; відповідна власна частота коливань – 9,46 Гц.

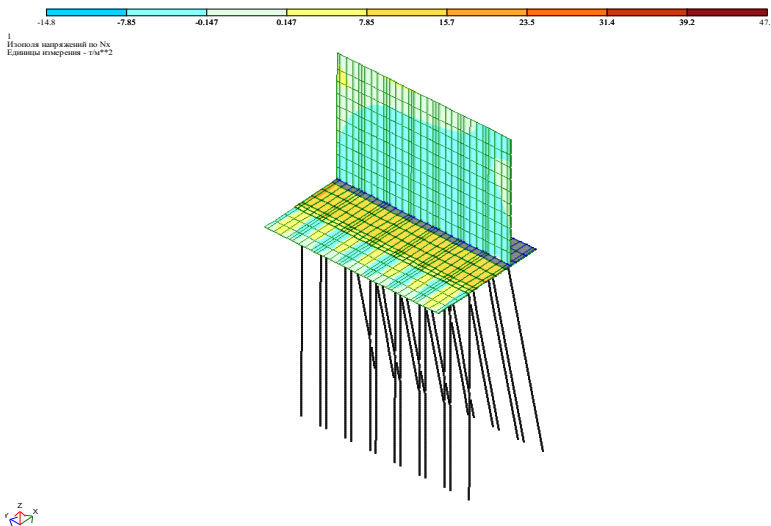


Рис. 6 – Ізополя горизонтальних напружень підпірної стінки по осі X

Етап 3. Порівняльний аналіз експериментальних та розрахункових даних.

На основі експериментальних досліджень будівлі підпірної стіни на перегоні Завалля – Неполоківці Чернівецької дільниці колії Львівської залізниці зроблені такі висновки:

1. Максимальні амплітуди віброприскорень підпірної стінки при дії мікросейсмічних коливань та русі залізничних потягів не перевищують по осі X $0,25 \text{ см/с}^2$, по осі Z – $0,8 \text{ см/с}^2$. Порівняно з мікросейсмічними коливаннями, рівень віброприскорень під час руху залізничних потягів поблизу підпірної стіни збільшується в 4 рази. Зареєстровані віброприскорення на рівні верхнього майданчика підпірної стіни нижчі від допустимих.

2. Споруда підпірної стіни при коливаннях має діапазон переважаючих частот $5,0\text{--}8,0 \text{ Гц}$ по напрямку осі X та $9,0\text{--}12,0 \text{ Гц}$ – по напрямку осі Z . Зареєстровані максимальні віброприскорення основи стіни $0,80 \text{ см/с}^2$ менші від допустимих ($15,0 \text{ см/с}^2$). При такому рівні віброприскорень основи стіни та відсутності умов її замочування, осідання підпірної стіни в процесі подальшої експлуатації малоімовірне.

3. Міцність бетону підпірної стінки відповідає класу В25.

На основі математичного моделювання залізничної підпірної стінки на перегоні Завалля – Неполоківці Чернівецької ділянки колії Львівської залізниці зроблені наступні висновки:

1. Розрахункові значення НДС ЗПС відповідають проектним з урахуванням зареєстрованих деформацій та часом її тривалої експлуатації (погіршення характеристик в залежності від часу експлуатації).

2. Результати обчислення показують, що: період власних коливань за першою формою дорівнює $0,157 \text{ с}$; відповідна власна частота коливань – $9,46 \text{ Гц}$.

3. Слід відзначити, що експериментально зареєстрована максимальна амплітуда поперечних коливань виникає при частоті 8 Гц . Різниця з розрахунковою частотою коливань становить $1,46 \text{ Гц}$, що відповідає відхиленню $\sim 18\%$.

Висновки

1. Візуальний огляд ЗПС дає змогу констатувати, що її стан задовільний. Для її подальшої експлуатації бажано ліквідувати наявні дефекти у вигляді тріщин та роз'єднання у місті стиків, окремі осідання та кутові деформації.

2. Відомо, що зменшення власної частоти коливань конструкції свідчить про наявність руйнувань у самій конструкції, а її збільшення – про її підсилення та проведені ремонтно-відновлювальні роботи. Необхідно відзначити достатню точність розрахункової моделі, а також наявність тріщин в тілі ЗПС при проведенні обстежень. З досліджень випливає, що експериментальні методи неруйнівного контролю та математичного моделювання можуть бути використані для визначення поточного технічного стану ЗПС [15]. При цьому слід відзначити, що експериментальні методи вібраційної діагностики допоможуть при визначенні навіть незначних змін в напружено-деформованому стані ЗПС.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Trofymchuk, O., Kaliukh, I., Berchun V. (2017) Landslide stabilization in building practice: methodology and case study from autonomic Republic of Crimea. 4th World Landslide Forum, Ljubljana Slovenia EU, 29 May–2 June 2017. – [s.l.: s.n.], 2017. Workshop on World Landslide Forum. Springer, Cham: 587–595.
2. Nakajima S., Shinoda V., Abe K. Inspection of structural health of existing railway retaining walls [S. Nakajima, V. Shinoda, K. Abe] // Proceedings of the 18th International Conference on Soil mechanics and Geotechnical Engineering "Challenges and innovations in geotechnical". – Paris 2013. – P. 2059–2062.
4. Глуховский В.П. Опыт применения ультразвукового метода для определения прочности кирпича [В.П. Глуховский, Ю.И. Калюх] // Світ геотехніки, 2007. – №1. – С. 13–16.
5. Experimental and theoretical diagnostics of ferroconcrete piles base on reflection of longitudinal and transverse waves) / G. Farenjuk, I. Kaliukh, E. Farenjuk, T. Kaliukh, Y. Berchun, V. Berchun / International fib symposium "High tech concrete: Where technology and engineering meet!", Maastricht, The Netherlands, 12–14 June, 2017. – [s.l.: s.n.], 2017. – P. 1307–1317.
6. Експериментально-теоретичне обґрунтування необхідності віброзахисту будинків при впливах потягів метрополітену / М.Г. Мар'єнков, Ю.І. Калюх, В.А. Дунін, А.М. Мар'єнков // Строительство, материаловедение, машиностроение. Вып. 91 – 2016. – С. 77–89.
7. ДСТУ ГОСТ 12.1.012-2008. ССБТ. Вибрационная безопасность.
8. Настанова щодо науково-технічного моніторингу будівель і споруд: ДСТУ-Н Б В.1.2-17:2016 / Ю. Калюх (науковий керівник розробки), О. Трофимчук, Я. Берчун та ін. // [Чинні від 01 квітня 2017 року]. – К. : Мінрегіонбуд, 2017. – 42 с.
9. Кудрявцев И.А. Влияние вибрации на основания сооружений. – Гомель.: БелГУТ, 1999.
10. Савинов О.А. Современные конструкции фундаментов под машины и их расчет. – Л.: Стройиздат. – 1979. – 200 с.
11. Программный комплекс для расчета и проектирования конструкций LIRA, версия 9.0. Руководство пользователя. – Киев, 2002. – 147 с.
12. ДБН В.2.1-10: 2009. Основания и фундаменты сооружений. Основные положения проектирования. – Киев, 2009.
13. Цытович Н.А. Механика грунтов / Н.А. Цытович. – Москва: ГСИ, 1963. – 636 с.
14. Справочник по механике и динамике грунтов / Л.К. Гинзбург [и др.]; ред. В.Б. Швец. – Киев : Будивельник, 1987. – 230 с.
15. СНиП 2.02.05:87. Строительные нормы и правила Фундаменты машин с динамическими нагрузками. – Москва, 1988.
16. Хавкін К.О. Теоретичні і прикладні питання динамічної паспортизації протизсувних споруд у сейсмонезбезпечних регіонах України / К.О. Хавкін, Ю.І. Калюх // Современное промышленное и гражданское строительство : сб. науч. тр. – Донецк : ДонНАСА, 2014. – Вып. 1 – С. 5–14.

Стаття надійшла до редакції 10.10.2017

РЕФЕРАТИ / ABSTRACTS

ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА ENVIRONMENTAL SAFETY

УДК 631.95: 632.12

Факторы процесса миграции радионуклидов в почве / Чапля Е., Лянце А., Чернуха О., Гончарук В. // Экологическая безопасность и природопользование. – 2017. – № 3–4 (24). – С. 7–17.

Аннотация. В работе проанализированы факторы процесса миграции радионуклидов в разных типах почв вследствие радиоактивного загрязнения после аварии на Чернобыльской АЭС. Показано, что миграция радионуклидов в ландшафте развивается на фоне противоречивого взаимодействия двух групп факторов. Одна группа определяет преимущественно вынос из почв радионуклидов и развитие процессов самоочищения ландшафтов. Это факторы стока и смыва, а также регулирующие кислотность и другие параметры почв, которые благоприятствуют переходу радионуклидов в подвижные формы. Вторая группа факторов действует на удержание радионуклидов на месте выпадения и обуславливает радиоэкологическую емкость ландшафтов. Это наличие в грунте и толще почвообразующих пород гумуса, глинистых минералов, а также ландшафтно-геохимических и биогеохимических барьеров.

Ключевые слова: радионуклид, почва, поток фильтрации, диффузия, фактор, гидрографическая сетка.

UDC 631.95: 632.12

Factors of process of radionuclides migration in soil / Chaplya Y., Lyantse H., Chernukha O., Goncharuk V. // Environmental safety and natural resources. – 2017. – № 3–4 (24). – P. 7–17.

Abstract. In the paper the factors of the process of radionuclide migration in various types of soil are analyzed. It is shown that radionuclide migration in landscape develops against the backdrop of conflicting interaction between two groups of factors. One group determines mainly removal radionuclides from the soil and evolution of the process of landscape self-cleaning. There are the factors of the draining and flushing as well as ones that regulate the acidity and other parameters of the soil contributing to transition into the mobile forms of radionuclides. The second group of factors acts on hold of radionuclides in the place of fallout and determines radiological capacity of landscape. There are such factors as the presence of humus, clayey minerals, etc. in the soil and strata of soil-forming rocks, as well as landscape-geochemical and biogeochemical barriers.

Keywords: radionuclide, soil, filtration flux, diffusion, factor, hydrographic network.

УДК 631.427

Деякі аспекти оцінки екологічної безпеки промислових відходів / Даценко В.В., Хименко Н.Л. // Екологічна безпека та природокористування. – 2017. – № 3–4 (24). – С. 18–28.

Анотація. У роботі експериментально змодельовані і проаналізовані результати екологічного дослідження відходів підприємств гальванічних виробництв. Розглянуто особливості міграції міді і цинку в різних типах ґрунтів і представлені експериментальні дані щодо впливу важких металів, що містяться в техногенно-забруднених ґрунтах, на рослинні об'єкти в контрольованих умовах.

Ключові слова: мідь, цинк, гальваношлам, ґрунт, тест-рослина.

UDC 631.427

Certain aspects of environmental safety assesment of industrial waste / Datsenko V.V., Khimenko N.L. // Environmental safety and natural resources. – 2017. – № 3–4 (24). – P. 18–28.

Abstract. In this paper, the results of the ecological study of galvanic production waste have been experimentally simulated and analyzed. The peculiarities of the copper and zinc migration in different types of soil are considered. Experimental data on the effect that heavy metals contained in technogenically contaminated soils have on plant objects under controlled conditions is presented.

Keywords: copper, zinc, galvanic waste, soil, biological test culture.

УДК 504.064:628.2

Определение среднегодовой концентрации сероводорода в канализационных трубопроводах и газообразных выбросах из них в атмосферный воздух / Юрченко В.А., Бригада Е.В., Лебедева Е.С. // Экологическая безопасность и природопользование. – 2017. – № 3–4 (24). – С. 29–38.

Аннотация. Эксплуатация канализационных сетей создает экологическую проблему, обусловленную образованием токсичных газообразных соединений (среди которых самым опасным является сероводород), которые через шахты и колодцы загрязняют атмосферный воздух городских регионов. Концентрация сероводорода в выбросах даже в течение суток варьирует в очень широком диапазоне. На основании данных экспериментальных исследований разработан метод определения среднегодовой концентрации сероводорода в атмосфере канализационных сетей и в выбросах из них в атмосферный воздух населенных мест.

Ключевые слова: канализационные сети, экологическая безопасность, сероводород, защита атмосферного воздуха, коррозиметр бетона, среднегодовая концентрация сероводорода.

UDC 504.064:628.2

Determination of the average annual concentration of hydrogen sulphide in sewerage networks and in gaseous emissions from them into atmospheric air / Yurchenko V.O., Brigada O.V., Lebedeva O.S. // Environmental safety and natural resources. – 2017. – № 3–4 (24). – P. 29–38.

Abstract. The operation of sewerage networks creates an environmental problem caused by the formation of toxic gaseous compounds (among which the most dangerous is hydrogen sulphide), which through mines and wells pollute the atmospheric air of urban regions. The concentration of hydrogen sulphide in emissions even within a day varies in a very wide range. Based on the data of experimental studies, a method has been developed for determining the average annual concentration of hydrogen sulphide in the atmosphere of sewerage networks and in discharges from them into the atmospheric air of populated areas.

Keywords: sewerage networks, ecological safety, hydrogen sulphide, protection of the atmosphere, concrete corrosion meter, average annual concentration of hydrogen sulphide.

УДК 502.3

Оценка экологической безопасности территорий предприятий производства плат и гальваники / Нестер А.А. // Экологическая безопасность и природопользование. – 2017. – № 3–4 (24). – С. 39–43.

Аннотация. Статья посвящена исследованиям состояния территории предприятия, которое производит печатные платы и владеет гальваническими цехами для обеспечения производства.

Коротко изложены основные аспекты негативного влияния отходов производства плат и гальваники на окружающую среду. Выполнено вычисление суммарного индекса опасности шлама производства плат и гальваники, что позволяет намечать пути для повышения экологической безопасности территорий предприятий производства плат и гальваники.

Ключевые слова: индекс опасности, производство плат, утилизация отходов, экологическая безопасность.

UDC 502.3

Assessment of the ecological safety of the enterprises in the production of circuit boards and electroplating / Nester A. // Environmental safety and natural resources. – 2017. – № 3–4 (24). – P. 39–43.

Abstract. The article explores the status of the plant, which produces printed circuit boards and owned electroplating workshop to ensure production.

We have summarized the main aspects of the negative impact of waste production of circuit boards and electroplating on the environment. Done calculating total hazard index slurry production circuit boards and electroplating, which allows you to identify ways to improve the ecological safety of the enterprises in the production of circuit boards and electroplating.

Keywords: risk index, manufacturing support, waste management, environmental safety.

УДК 504.067.2.001.18

Применение методологии финансового инжиниринга для оптимизации комплекса утилизации твердых бытовых отходов / Краскевич В.Е., Селиванова А.В., Шварц В.П. // Экологическая безопасность и природопользование. – 2017. – № 3–4 (24). – С. 44–49.

Аннотация. В работе представлены результаты оптимизации структуры мусороперерабатывающего комплекса на основе разработанного алгоритмического обеспечения для реализации методологии инвестиционного инжиниринга, что позволяет предложить созданную методологию и алгоритмическое обеспечение инновационного инжиниринга для совершенствования многочисленных проектов мусороперерабатывающих предприятий и для других комплексных программ.

Ключевые слова: инновация, инжиниринг, переработка отходов, технология, методология.

UDC 504.067.2.001.18

Application of methodology of financial engineering for optimization of the complex of utilization solid household waste / Kraskevich V., Selivanova A., Shvarts V. // Environmental safety and natural resources. – 2017. – № 3–4 (24). – P. 44–49.

Abstract. The paper presents the results of the optimization of the structure of the waste recycling complex on the basis of the developed algorithmic support for the implementation of the investment engineering methodology, which allows the proposed methodology and algorithmic provision of innovative engineering to improve the multiple projects of waste recycling enterprises and other complex programs.

Keywords: innovation, engineering, waste recycling, technology, methodology.

ОСНОВИ ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ NATURAL RESOURCES

УДК 049.3:574.4:581.526

Определение надежности экосистем к фактору антропогенного давления / Азаров С.И., Сидоренко В.Л., Задунай А.С. // Экологическая безопасность и природопользование. – 2017. – № 3–4 (24). – С. 50–57.

Аннотация. Разработаны методические подходы к оценке экологической безопасности экосистем, основанные на определении комплексного показателя деградации компонентов природной среды, что позволит оценивать риски потери, уничтожения экосистем под действием антропогенного воздействия. Также рассмотрены механизмы обеспечения, принципы и методы оценки надежности различных типов экосистем.

Ключевые слова: экосистема, безопасность экосистем, устойчивость, надежность, живучесть, стабильность, антропогенные воздействия.

UDC 049.3:574.4:581.526

Determination of the reliability of ecosystems to the factor of anthropogenic pressure / Azarov S., Sydorenko V., Zadunaj O. // Environmental safety and natural resources. – 2017. – № 3–4 (24). – P. 50–57.

Abstract. Methodological approaches to assessing the environmental safety of ecosystems, based on the determination of the complex index component degradation of the environment, which will assess the risks of loss, destruction of ecosystems under human influence. Also the mechanisms to ensure the principles and methods for evaluating the reliability of different types of ecosystems.

Keywords: ecosystem, ecosystem safety, stability, reliability, survivability, anthropogenic influences.

УДК 69.05:699.8

Современные средства пространственно-территориального моделирования экосистем инженерной защиты / Чернышев Д.А. // Экологическая безопасность и природопользование. – 2017. – № 3–4 (24). – С. 58–66.

Аннотация. Статья посвящена решению актуальной научно-прикладной проблемы – поиску организационно-технологических решений биосферосовместимого строительства на примере инженерной защиты территорий морского и речного побережья Украины.

Защита берегов от размыва и связанного с ним оползневого разрушения береговых территорий – острая социально-экономическая и экологическая проблема, сдерживающая освоение рекреационных и прочих ресурсов прибрежной полосы.

Основными причинами несовершенства деятельности в области защиты прибрежных территорий являются: осуществление работ по защите морского и речного побережья без достаточного научного обоснования; недостаточный учет закономерностей природных процессов в прибрежной полосе моря, водохранилищ и рек при формировании состава проектных решений; некомплексность ведения работ и незавершенность формирования берегозащитных и берегорегулирующих сооружений в локальные комплексы, полностью охватывающие береговые природные системы, в которых существует высокий уровень взаимосвязей природных процессов, что не обеспечивает их проектную эффективность.

При рассмотрении геодинамических процессов с изменяющимися во времени вероятными параметрами состояний (для решения задачи по стабилизации участка оползнеопасной территории со сложным рельефом) были использованы программные

комплексы. В основу расчетов этих программных комплексов положен метод конечных элементов. Этот метод ориентирован на исследование ортогональных функциональных базисов в пространствах функций с ограниченной энергией, что соответствует физическому состоянию получаемых результатов с одной стороны и способствует появлению специального выражения, которое описывает геологические явления на заданном промежутке времени.

Ключевые слова: технологические процессы, биосферосовместимость, организационно-технологические решения, строительное производство.

UDC 69.05:699.8

Modern vehicles of space-territorial modeling of ecosystems of engineering protection / Chernyshev D.O. // Environmental safety and natural resources. – 2017. – № 3–4 (24). – P. 58–66.

Abstract. The article is devoted to the solution of the actual scientific and applied problem issue – the search for organizational and technological solutions for biosferous construction on the example of engineering protection of marine and river coastal areas in Ukraine.

Protecting banks from erosion and associated with landslide destruction of coastal areas is the most acute socio-economic and environmental problem that constrains the development of recreational and other resources of the coastal zone.

The main causes of imperfect activities in the field of coastal areas protection are: the implementation of works on the protection of marine and river coast without sufficient scientific justification; Insufficient account of the laws of natural processes in the coastal zone of the sea, reservoirs and rivers during the formation of the design decisions; Incompleteness of work and incompleteness of the formation of coastal protection and coastal regulating structures in local complexes that fully cover coastal natural systems, in which there is a high level of interconnections of natural processes that did not ensure their project effectiveness.

When considering the geodynamic processes with time-varying probable changes of states (to solve the problem of stabilization of the site of a landslide area with complex relief), software complexes were used. The basis of the calculation of these software systems is a finite element method. This method is oriented to the study of orthogonal functional bases in the space of functions with limited energy, which corresponds to the physics of the results obtained on the one hand and contributes to the emergence of a special expression that describes the geological phenomena in the finite period of time.

Keywords: technological processes, biosphere compatibility, organizational and technological solutions, construction production.

УДК 543.32/.34

Експрес-ідентифікація природної води зі стабільним сольовим складом / Лобойченко В.М. // Екологічна безпека та природокористування. – 2017. – № 3–4 (24). – С. 67–73.

Анотація. Відзначається, що для ідентифікації природних вод застосовуються складні і дорогі процедури. Запропонований підхід до експрес-ідентифікації природних вод з постійним сольовим складом дозволяє значно спростити процес ідентифікації і скоротити час аналізу. Отримано набір характеристичних параметрів (K_{id}) для ряду досліджених вод.

Ключові слова: природна вода, ідентифікація, електропровідність, коефіцієнт ідентифікації, стабільний сольовий склад.

UDC 543.32/.34

Express identification of natural water with stable salt composition / Loboichenko V.M. // Environmental safety and natural resources. – 2017. – № 3–4 (24). – P. 67–73.

Abstract. It is noted that cumbersome and expensive procedures are used to identify natural waters. The proposed approach for express identification of natural waters with a stable salt

composition makes it possible to significantly simplify the identification process and shorten the analysis time. A set of characteristic parameters (K_{Id}) for a number of investigated waters is obtained.

Keywords: natural water, identification, electrical conductivity, identification coefficient, stable salt composition.

УДК 552.517 (477.63)

Формирование карбонатных отложений под воздействием инфильтраций из хвостохранилища ЦГЗК (Кривой Рог) / Стеценко А.И., Кошарная С.К., Иванченко В.В. // Экологическая безопасность и природопользование. – 2017. – № 3–4 (24). – С. 74–83.

Аннотация. Исследованы современные техногенно-природные травертины Криворожского бассейна, образованные под влиянием деятельности горно-обогатительного комбината. Породы образуют горизонтальные слои и линзы мощностью от нескольких сантиметров до 0,5 м. Цвет травертина белый, светло-серый, реже зеленоватый, бледно-розовый. Текстура слоистая пористая. Структура мелкозернистая, скрытокристаллическая. Главным породообразующим минералом является кальцит (арагонит). Второстепенное значение имеют кварц, биотит, гетит (лимонит). Карбонат образует натечные сфероидальные агрегаты, корки, пленки. Химический состав травертина: CaO (48,73%), SiO₂ (4,44%), MgO (0,56%), FeO (1,07%), Fe₂O₃ (0,96%), MnO (0,5%). Потери при прокаливании 43,24%. Эмиссионным спектральным анализом установлено незначительное содержание (2–10 мг/кг) Ni, Cr, Cu, Pb и V. Исследованные травертины приурочены к источникам в фундаменте дамбы хвостохранилища горно-обогатительного комбината. Изменение обстановки в местах разгрузки воды подобно условиям образования природного травертина. Травертины Криворожья имеют высокие тепло- и звукоизоляционные свойства, удовлетворительный декоративный вид и очень низкое, до полного отсутствия, содержание тяжелых металлов. Они могут найти применение в строительстве и производстве экологически чистых материалов другого назначения.

Ключевые слова: травертины, минеральный и химический состав, природные и техногенные процессы образования, возможности использования.

UDC 552.517 (477.63)

The formation of carbonate sediments under the influence of infiltration from tailing dump of Central GOK (Krivoy Rog) / Stetsenko A.I., Kosharna S.K., Ivanchenko V.V. // Environmental safety and natural resources. – 2017. – № 3–4 (24). – С. 74–83.

Abstract. Modern travertines with Krivoy Rog iron ore basin studied. The rocks form horizontal layers and lenses ranging from a few centimeters to 0.5 meters. Color of travertine is white, light gray, pale greeny or pale pink. The texture is layered porous. The structure is fine-grained, hidden crystalline. The main rock-forming mineral is calcite (aragonite). Quartz, biotite, goethite (limonite) are of secondary importance. Carbonate forms spongiform aggregates, crusts, films. Chemical composition of travertine is: CaO (48,73%), SiO₂ (4,44%), MgO (0,56%), FeO (1,07%), Fe₂O₃ (0,96%), MnO (0,5%). Loss on ignition is 43,24%. Emission spectral analysis revealed an insignificant content (2–10 mg / kg) of Ni, Cr, Cu, Pb, and V. Researched travertines is localized near with the sources in the foundation of the dam tailings of mining plant. Their formation includes the natural and industrial processes. Changing of the conditions in the place of discharge of water is like the conditions for the formation of natural travertine. The travertines of Krivoy Rog iron ore basin have high heat and sound insulation properties, a satisfactory decorative appearance and very low content or full absence of heavy metals. They can be used in the construction and production of environmentally friendly materials for other purposes.

Keywords: travertine, mineral and chemical composition, natural and man-made processes of formation, possibilities of use.

УДК: 618.177:616.697

Медико-екологічний аналіз репродуктивних втрат в Хабаровському краї РФ / Левкова О.А., Савін С.З. // Екологічна безпека та природокористування. – 2017. – № 3–4 (24). – С. 84–96.

Анотація. Стаття присвячена системному аналізу медико-екологічних чинників репродуктивних втрат населення Хабаровського краю Російської Федерації. Мета дослідження – на основі багаторічного дослідження дитячої смертності на території Хабаровського краю визначити роль та значення медико-екологічних факторів в структурі репродуктивних втрат на прикладі інфекційних і паразитарних хвороб, сформувати основні напрямки в системі профілактики, діагностики та лікування інфекційної патології в акушерсько-гінекологічній та педіатричній службах. Обґрунтований висновок про те, що дитяча смертність є одним з найбільш важливих і об'єктивних індикаторів, що відображають медико-екологічну ситуацію в регіоні та соціально-економічний стан суспільства, якість і доступність медичної допомоги. Пошук резервів зниження репродуктивних втрат від інфекційних і паразитарних хвороб є одним з ключових завдань системи охорони здоров'я та шляхів зміцнення демографічної ситуації на території Хабаровського краю.

Ключові слова: медична екологія, репродуктивні втрати, дитяча смертність (МС), інфекційна патологія, рубрики МКХ-10, агрегована малюкова смертність від інфекційних хвороб, внутрішньоутробні інфекції, зниження інфекційного агента в популяції вагітних і новонароджених.

UDC: 618.177:616.697

System analysis of medico-ecological factors of the population reproductive losses in Khabarovsk Region / Levkova E.A., Savin S.Z. // Environmental safety and natural resources. – 2017. – № 3–4 (24). – P. 84–96.

Abstract. The article deals with the system analysis of medico-ecological factors of reproductive losses the population in the Khabarovsk region RF. The object of research is the infant mortality rate in the region. Infantile mortality is one of the most important and objective indices, which reflects social and economic condition of well-being of the society, the quality and accessibility of the medical help. Subject of research – the reproductive losses from infectious and parasitic diseases. The purpose of the study – based on years of research in infant mortality on the territory of Khabarovsk Krai to determine the role and importance of infectious and parasitic diseases in the structure of reproductive loss to form the main directions in the system of prevention, diagnosis and treatment of infectious diseases in obstetrics and children. It is concluded that infant mortality is one of the most important and objective indicators of socio-economic well-being of society, the quality and availability of medical care. Search of reserves to reduce reproductive losses from infectious and parasitic diseases is one of the key objectives of the health system and ways to stability of the demographic situation in Khabarovsk territory.

Keywords: human ecology, reproductive loss, infant mortality, infectious pathology, aggregated infant mortality from infectious diseases, intrauterine infections, reduction of an infectious agent in a population of pregnant and newborns.

УДК 57.043:576.311.347:577.334

Модификация структурного состояния клеточных мембран органов животных при экзогенном воздействии / Хижняк С.В., Сысолятин С.В., Мидык С.В., Войццкий В.М. // Экологическая безопасность и природопользование. – 2017. – № 3–4 (24). – С. 97–105.

Аннотация. Исследование клеточных путей гипоксии-гиперкапнического воздействия на организм животных при снижении температуры окружающей среды (искусственный гипобиоз) способствуют выявлению механизмов жизнестойкости организма и возможных путей её увеличения в измененных условиях существования.

Состояние искусственного гипобיוза у крыс создавали по методу Бахметьева-Джайя-Анжуса. Получали препараты внутриклеточных мембран печени и миокарда (постмитохондриальная фракция) и исследовали их структурно-динамическое состояние методом флуоресцентных зондов, а также определяли содержание общих липидов, холестерина и фосфолипидов.

Введение животных в состояние искусственного гипобюоза сопровождается структурными модификациями внутриклеточных мембран печени и миокарда, которые сопровождаются конформационными перестройками белковых молекул и снижением структурной упорядоченности аннулярных липидов, что свидетельствует о нарушении белок-липидных взаимодействий в мембране. Установлено, что при действии факторов искусственного гипобюоза наблюдается повышение содержания общих липидов, холестерина и фосфолипидов в клеточных мембранах печени и миокарда. Через 24 ч после выхода животных из состояния гипобюоза величины исследуемых показателей возвращаются к уровню контроля, за исключением содержания липидов в мембранах миокарда. Полученные результаты свидетельствуют о структурно-функциональной роли липидов клеточных мембран печени и миокарда при искусственном гипобюозе, которая направлена на адаптацию к действию факторов гипоксии, гиперкапнии и гипотермии.

Ключевые слова: клеточные мембраны, структурные перестройки, липиды, печень, миокард, гипоксия, гиперкапния.

UDC 57.043:576.311.347:577.334

Modification of the structural state of cell membranes of animal organs for exogenous influence / Khyzhnyak S.V., Sysoliatin S.V., Midyk S.V., Voitsitsky V.M. // *Environmental safety and natural resources*. – 2017. – № 3–4 (24). – P. 97–105.

Abstract. Investigations of the cellular pathways of hypoxic-hypercapnic effects on the animal organism when the temperature of the environment is reduced (artificial hibernation) contribute to identify the mechanisms of the organism's viability and possible ways to increase it in the changed conditions of existence. The state of artificial hibernation in rats was created by the method of Bakhmetiev-Jaya-Anjus. Preparations were made for intracellular membranes of the liver and myocardium (after the mitochondrial fraction), and their structural-dynamic state was studied by fluorescence probes, and the content of total lipids, cholesterol, and phospholipids was determined.

The introduction of animals into the state of artificial hibernation is accompanied by structural modifications of intracellular membranes of the liver and myocardium, which are accompanied by conformational rearrangements of protein molecules and a decrease in the structural ordering of the annular lipids, which indicates a changes of protein-lipid interactions in the membrane. It was established that under the influence of factors of artificial hypobiosis, an increase in the content of total lipids, cholesterol and phospholipids in the cell membranes of the liver and myocardium is observed. 24 hours after the animals leave the state of hibernation, the values of the studied parameters return to the level of control, with the exception of the lipid content in the membranes of myocardium. The obtained results testify to the structural and functional role of lipids of cellular membranes of the liver and myocardium under artificial hypobiosis, which is aimed at adaptation to the influence of hypoxia, hypercapnia and hypothermia factors.

Keywords: cell membranes, structural rearrangements, lipids, liver, myocardium, hypoxia, hypercapnia.

УДК 628.16.086.4

Эколого- и энергосберегающие технологии с использованием омагниченной воды / Малкин Э.С., Журавская Н.Е. // Экологическая безопасность и природопользование. – 2017. – № 3–4 (24). – С. 106–111.

Аннотация. Проанализированы существующие гипотезы структуры воды и влияния магнитного поля на изменение ее структуры. Сформулированы гипотезы о возможности использования высокочастотных электромагнитных полей для усиления их воздействия на структуру воды и стабильность этого процесса. Проведены экспериментальные исследования по использованию воды, обработанной высокочастотным электромагнитным полем, для производства экобетонных материалов.

Ключевые слова: омагниченная вода, плотность поля, частота волны, время обработки воды полем, скорость воды.

УДК 628.16.086.4

Еколого- і енергозберігаючі технології з використанням омагніченої води / Малкін Е.С., Журавська Н.Є. // Екологічна безпека та природокористування. – 2017. – № 3–4 (24). – С. 106–111.

Анотація. Проаналізовано існуючі гіпотези структури води і впливу магнітного поля на зміну її структури. Сформульовано гіпотези про можливість використання високочастотних електромагнітних полів для посилення їх впливу на структуру води і стабільність цього процесу. Проведено експериментальні дослідження з використання води, обробленої високочастотним електромагнітним полем, для виробництва екобетонних матеріалів.

Ключові слова: омагнічена вода, щільність поля, частота хвилі, час обробки води полем, швидкість води.

ІНФОРМАЦІЙНІ РЕСУРСИ ТА СИСТЕМИ INFORMATION RESOURCES AND SYSTEMS

УДК 504.05; 502.58:556.166: 532.5:528

Имитационное моделирование условий возникновения местных размывов русел рек / Ходневич Я.В., Стефанишин Д.В., Корбутяк В.М. // Экологическая безопасность и природопользование. – 2017. – № 3–4 (24). – С. 112–123.

Аннотация. Предложен подход к прогнозированию местных размывов русел и берегов рек на основе имитационного компьютерного моделирования, базирующийся на идее синтеза результатов геоинформационного анализа, морфологических, гидрологических и гидравлических исследований, а также численного математического моделирования кинематики местных развитых турбулентных течений за русловыми образованиями. Подход позволяет выявлять потенциально опасные участки рек, на которых возможна интенсификация локальной русловой эрозии с учетом основных гидроморфологических характеристик русла и типа руслового процесса. Показано, что при математическом моделировании кинематических характеристик местных турбулентных течений за русловыми образованиями могут быть использованы данные дистанционного зондирования Земли и геопространственного анализа. Математическое моделирование кинематических характеристик потока выполняется в рамках трехмерной модели с использованием уравнений Рейнольдса.

Ключевые слова: геопространственный анализ, данные дистанционного зондирования Земли, локальные русловые деформации, имитационное моделирование, интеллектуальная задача, уравнения Рейнольдса, прогнозирование, русловой процесс.

UDC 504.05; 502.58:556.166: 532.5:528

Simulation modeling of condition for initiation of local riverbed erosion / Khodnevych Y.V., Stefanyshyn D.V., Korbutiak V.M. // Environmental safety and natural resources. – 2017. – № 3–4 (24). – P. 112–123.

Abstract. The approach to forecasting of riverbed local erosion, which based on computer simulation modeling, is proposed. The concept is based on synthesizing of the results of geoinformation analysis, morphological, hydrological, hydraulic researches, numerical mathematical modeling of the kinematics of local turbulent currents downstream of riverbed formations as well. The approach allows to identify potentially dangerous areas of the rivers where intensification of local riverbed erosion is possible, depending on the basic hydromorphological riverbed characteristics and the type of fluviomorphological process. It is shown that for mathematical modeling of the kinematic characteristics of local turbulent currents downstream of riverbed formations can be used data of Earth remote sensing and geospatial analysis. The mathematical modeling of the kinematic characteristics of the flow is carried out within the framework of a three-dimensional model using the Reynolds equations.

Keywords: geospatial analysis, Earth remote sensing data, simulation modeling, intellectual problem, riverbed local deformations, Reynolds equation, forecasting, fluviomorphological process.

УДК 504:528

Мультифрактальный анализ составляющих плавнево-литорального ландшафта Килийской дельты Дуная на основе космической и наземной информации / Хижняк А.В., Томченко О.В., Дьяченко Т.Н., Федоровский А.Д. // Экологическая безопасность и природопользование. – 2017. – № 3–4 (24). – С. 124–132.

Аннотация. В статье обоснована на примере Килийской дельты Дуная возможность проведения оценки вариабельности составляющих плавнево-литорального ландшафта устьевых областей рек на основе мультифрактального анализа материалов космической съемки. В результате исследования по материалам космических снимков в исследуемый период наблюдается рост почти вдвое площадей деревянисто-кустарниковой растительности и уменьшение площадей травянистой растительности, что может быть связано с сукцессией, которая происходит в экосистемах плавнево-литорального ландшафта. О дальнейшем нарастании дельты свидетельствует увеличение площади песка в два раза. Использование мультифрактала помогло математически доказать смену ландшафтной структуры в сторону увеличения доли мелких составляющих.

Ключевые слова: ландшафтные комплексы, космическая информация, мультифрактальный анализ, Дунай, Килийская дельта.

UDC 504:528

Multifractal analysis of the components flood-littoral landscape of the Danube's Kiliya delta based on space and ground information / Khyzhniak A.V., Tomchenko O.V., Dyachenko T.M., Fedorovsky O.D. // Environmental safety and natural resources. – 2017. – № 3–4 (24). – P. 124–132.

Abstract. The possibility of estimating the variability of the flow-littoral landscape components of the river's mouth areas on the example of the Kiliya delta of the Danube using multifractal analysis of the remotely sensed materials is substantiated. Almost doubled areas of woody shrub vegetation and the decrease of the area of grassy vegetation were observed during study using satellite images, which may indicate the succession that occurs in the ecosystems of the flow-littoral landscape. Further increase of the delta is indicated by the sand area growing twice. The use of the multifractal proved the change of the landscape structure by increasing the portion of small components.

Keywords: landscape study, remote sensing, multifractal analysis, the Danube, the Kiliya delta.

УДК 528.88+504.9

Верификация результатов спутникового мониторинга территорий нелегальной добычи янтаря / Шевчук Р.Н. // Экологическая безопасность и природопользование. – 2017. – № 3–4 (24). – С. 133–137.

Аннотация. В статье рассматривается проблема верификации результатов спутникового мониторинга территорий, на которых осуществляется нелегальная добыча янтаря. Предложено новую методику верификации данных ДЗЗ путем отбора проб поверхностных отложений для спектрального анализа. Преимуществами ее использования есть дешевизна, оперативность, безопасность исследователя. Отмечено, что методика носит универсальный характер и может быть использована при мониторинге территорий добычи полезных ископаемых, что добываются открытым способом.

Ключевые слова: янтарь, незаконная добыча, верификация, спектральный анализ, спутниковый мониторинг.

UDC 528.88+504.9

Verification of results of satellite monitoring of territories of illegal mining of amber / Shevchuk R.N. // Environmental safety and natural resources. – 2017. – № 3–4 (24). – P. 133–137.

Abstract. This study deals with problem of satellite monitoring results verification of illegal amber mining territories. The new technique of remote sensing data verification based on spectral analysis of superficial sediment samples. The benefits of its using are cheapness, speed and researcher's safety. It has been concluded that technology is universal and can be used in monitoring of open-mining territories.

Keywords: amber, illegal mining, verification, spectral analysis, satellite monitoring.

УДК 504.75 + 626/627

Обоснование базовой диагностической модели для контроля и прогнозирования фильтрации в теле земляной плотины по данным регулярных пьезометрических наблюдений / Стефанишин Д.В., Демьянюк А.В. // Экологическая безопасность и природопользование. – 2017. – № 3–4 (24). – Р. 138–147.

Аннотация. Рассмотрено задачу выбора базовой диагностической модели для контроля и прогнозирования фильтрации в теле земляной плотины по данным регулярных пьезометрических наблюдений.

Ключевые слова: диагностическая модель, земляная плотина, контроль, корреляция, пьезометрические наблюдения, прогнозирование, регрессия, фильтрация.

UDC 504.75 + 626/627

Justification basic diagnostic model for control and forecast seepage through earthfill dams according to regular piezometric observations / Stefanyshyn D.V., Demianiuk A.V. // Environmental safety and natural resources. – 2017. – № 3–4 (24). – P. 138–147.

Abstract. A problem of choice of a basic diagnostic model for control and forecast seepage through earthfill dams according to regular piezometric observations has been considered.

Keywords: diagnostic model, earthfill dams, control, correlation, piezometric observations, forecasting, regression, seepage.

УДК 519.7:624.012

Экспериментально-аналитические исследования технического состояния железнодорожных противооползневых сооружений под действием динамических нагрузок / Калюх Ю.И., Дунин В.А., Берчун Я.А., Самойленко С.М. // Экологическая безопасность и природопользование. – 2017. – № 3–4 (24). – С. 148–155.

Аннотация. Предлагается новая прикладная методика системного анализа технического состояния железнодорожных противооползневых сооружений (ЖПС).

Методика включает следующие этапы: вибродинамическое обследование ЖПС; построение математической и расчетной моделей объекта исследования; выполнение расчетов напряженно-деформированного состояния ЖПС с помощью известных программных средств строительной механики, которые сертифицированы и используются в строительной отрасли Украины; сравнительный анализ экспериментальных и расчетных данных; рекомендации по ремонту, восстановлению (в случае необходимости) и дальнейшей эксплуатации. Выяснено, что ЖПС в средней части во время проведения виброметрических исследований имеет уменьшенный показатель жесткости в горизонтальном направлении. Это может быть вызвано как конструктивными особенностями ЖПС, так и внутренними дефектами, которые накопились за время эксплуатации противооползневой стенки. Максимальные зарегистрированные амплитуды виброускорений ЖПС при воздействии микросейсмических колебаний и движении железнодорожных поездов не превышают по оси X $0,25 \text{ см/с}^2$, по оси Z – $0,8 \text{ см/с}^2$. Прочность бетона соответствует классу B25. Для дальнейшей эксплуатации необходимо ликвидировать имеющиеся дефекты. Экспериментально зарегистрированная максимальная амплитуда поперечных колебаний возникает при частоте 8 Гц. Разница с расчетной частотой колебаний составляет 1,46 Гц, что соответствует отклонению $\sim 18\%$.

Ключевые слова: системный анализ, техническое состояние, противооползневое сооружение, нарушающие методы, численное моделирование.

UDC 519.7:624.012

Experimental and analytical investigations of the technical condition of the railway retaining structures by dynamic loading / Kaliukh I., Dunin V., Berchun Y., Samoilenko S. // Environmental safety and natural resources. – 2017. – № 3–4 (24). – P. 148–155.

Abstract. The new applied method for system analysis of technical condition of railway retaining structures (RRS) is offered. The method involves the following steps: vibration-dynamic inspection of the RRS; creation of the mathematical and calculated model of the research object; execution of calculations of stress-strained state of the RAS with the help of well-known software tools of building mechanics, which are certified and used in the construction industry of Ukraine; comparative analysis of experimental and calculated data; recommendations for repair and restoration (if necessary) and for further use. It has been found out that the middle part of the RRS has a reduced rigidity in the horizontal direction. This may be due to both the design peculiarities of the RRS and the internal defects accumulated during the operation of the wall. The maximum registered amplitudes of vibration accelerations of the retaining wall under the influence of micro-seismic vibrations and moving trains does not exceed 0.25 cm/s^2 along the X-axis and 0.8 cm/s^2 along the Z-axis. The strength of concrete conforms to the class B25. It is necessary to eliminate existing defects for further exploitation. The experimentally registered maximum amplitude of transverse oscillations occurs at a frequency of 8 Hz. The difference with the calculated frequency of oscillations is 1.46 Hz, which corresponds to a deviation of $\sim 18\%$.

Key words: system analysis, technical condition, retaining structure, non-destructive methods, numerical simulation.

ІНФОРМАЦІЯ ПРО АВТОРІВ INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Азаров Сергій Іванович – доктор технічних наук, старший науковий співробітник, провідний науковий співробітник Інституту ядерних досліджень НАН України (м. Київ).

Берчун Ярослав Олександрович – аспірант Інституту телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України (м. Київ).

Бригада Олена Володимирівна – кандидат технічних наук, доцент Національного університету цивільного захисту України (м. Харків).

Войціцький Володимир Михайлович – професор, доктор біологічних наук, провідний науковий співробітник Національного університету біоресурсів і природокористування України, Українська лабораторія якості і безпеки продукції АПК (м. Київ).

Гончарук Володимир Євтихіїв – кандидат фізико-математичних наук, доцент, старший науковий співробітник, доцент кафедри цивільної безпеки, Національний університет «Львівська політехніка» МОН України, Центр математичного моделювання Інституту прикладних проблем механіки і математики ім. Я.С. Підстригача НАН України (м. Львів).

Даценко Віта Василівна – кандидат хімічних наук, доцент кафедри ТДБМ і хімії Харківського національного автомобільно-дорожнього університету (м. Харків).

Дем'янюк Алла Володимирівна – старший викладач кафедри гідротехнічного будівництва Національного університету водного господарства та природокористування (м. Рівне).

Дунін Володимир Андрійович – науковий співробітник ДП «Науково-дослідний інститут будівельних конструкцій» (м. Київ).

Дьяченко Тетяна Миколаївна – кандидат біологічних наук, старший науковий співробітник відділу іхтіології та гідробіології річкових систем Інституту гідробіології НАН України (м. Київ).

Журавська Наталія Євгенівна – кандидат технічних наук, доцент кафедри охорони праці та навколишнього середовища Київського національного університету будівництва і архітектури (м. Київ).

Задунай Олексій Сергійович – начальник центру Державного науково-дослідного інституту спеціального зв'язку та захисту інформації, здобувач наукового ступеня кандидата технічних наук (м. Київ).

Іванченко Владислав Вікторович – кандидат геолого-мінералогічних наук, доцент, завідувач відділом Відділення морської геології та осадового рудоутворення НАН України (м. Кривий Ріг).

Калюх Юрій Іванович – доктор технічних наук, професор, заступник завідувача відділу ДП «Науково-дослідний інститут будівельних конструкцій» (м. Київ).

Корбутяк Василь Михайлович – кандидат технічних наук, старший викладач кафедри землеустрою, кадастру, моніторингу земель та геоінформатики Національного університету водного господарства та природокористування (м. Рівне).

Кошарна Софія Костянтинівна – аспірант ННІ "Інститут геології" Київського національного університету імені Тараса Шевченка (м. Київ).

Краскевич Валерій Євгенович – доктор технічних наук, професор, зав. кафедри інформаційних технологій в міжнародній торгівлі Київського національного торговельно-економічного університету (м. Київ).

Лебедєва Олена Сергіївна – кандидат технічних наук, Харківський національний університет будівництва та архітектури (м. Харків).

Левкова Олена Анатоліївна – доктор медичних наук, професор, професор кафедри «Загальна, юридична та інженерна психологія» Далекосхідного державного університету шляхів сполучення (м. Хабаровськ, Росія).

Лобойченко Валентина Михайлівна – кандидат хімічних наук, старший науковий співробітник, доцент кафедри охорони праці та техногенно-екологічної безпеки Національного університету цивільного захисту України (м. Харків).

Лянце Ганна Теофілівна – кандидат технічних наук, вчений секретар Центру математичного моделювання Інституту прикладних проблем механіки і математики ім. Я.С. Підстригача НАН України (м. Львів).

Малкін Едуард Семенович – професор, доктор технічних наук, кафедра теплотехніки Київського національного університету будівництва і архітектури (м. Київ).

Мідик Світлана Миколаївна – кандидат ветеринарних наук, старший науковий співробітник Національного університету біоресурсів і природокористування України, Українська лабораторія якості і безпеки продукції АПК (м. Київ).

Нестер Анатолій Антонович – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри охорони праці та безпеки життєдіяльності Хмельницького національного університету (м. Хмельницький).

Савін Сергій Зіновійович – кандидат технічних наук, завідувач лабораторії медичної інформатики Обчислювального центру Далекосхідного відділення РАН (м. Хабаровськ, Росія).

Самойленко Сергій Миколайович – провідний інженер ДП «Науково-дослідний інститут будівельних конструкцій» (м. Київ).

Селіванова Анна Віталіївна – асистент кафедри інформаційних технологій в міжнародній торгівлі Київського національного торговельно-економічного університету (м. Київ).

Сидоренко Володимир Леонідович – кандидат технічних наук, доцент, начальник кафедри профілактики пожеж та безпеки життєдіяльності населення Інституту державного управління у сфері цивільного захисту (м. Київ).

Сисолятин Сергій Володимирович – старший науковий співробітник Національного університету біоресурсів і природокористування України, Українська лабораторія якості і безпеки продукції АПК (м. Київ).

Стефанишин Дмитро Володимирович – доктор технічних наук, провідний науковий співробітник, професор кафедри гідротехнічних споруд Національного університету водного господарства та природокористування (НУВГП) (м. Рівне).

Стеценко Альона Ігорівна – аспірант Відділення морської геології та осадового рудоутворення НАН України (м. Кривий Ріг).

Томченко Ольга Володимирівна – кандидат технічних наук, молодший науковий співробітник відділу системного аналізу Державної установи «Науковий центр аерокосмічних досліджень Землі ІГН НАН України» (м. Київ).

Федоровський Олександр Дмитрович – член-кореспондент НАН України, зав. відділу системного аналізу Державної установи «Науковий центр аерокосмічних досліджень Землі ІГН НАН України» (м. Київ).

Хижняк Анна Василівна – кандидат технічних наук, молодший науковий співробітник відділу системного аналізу Державної установи «Науковий центр аерокосмічних досліджень Землі ІГН НАН України» (м. Київ).

Хижняк Світлана Володимирівна – професор, доктор біологічних наук, провідний науковий співробітник Національного університету біоресурсів і природокористування України, Українська лабораторія якості і безпеки продукції АПК (м. Київ).

Хименко Наталія Львівна – кандидат хімічних наук, доцент кафедри загальної хімії Харківського національного аграрного університету ім. В.В. Докучаєва (м. Харків).

Ходневич Ярослав Васильович - кандидат технічних наук, науковий співробітник відділу природних ресурсів Інституту телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України (м. Київ).

Чапля Євген Ярославович – доктор фізико-математичних наук, професор, головний науковий співробітник, Центр математичного моделювання Інституту прикладних проблем механіки і математики ім. Я.С. Підстригача НАН України (м. Львів), Інститут механіки і прикладної інформатики Університету Казимира Великого в Бидгощі (м. Бидгощ, Польща).

Чернишев Денис Олегович – кандидат технічних наук, доцент Київського національного університету будівництва та архітектури (м. Київ).

Чернуха Ольга Юрійвна – доктор технічних наук, професор, завідувач відділом математичного моделювання нерівноважних процесів Центру математичного моделювання Інституту прикладних проблем механіки і математики ім. Я.С. Підстригача НАН України, Національний університет «Львівська політехніка» МОН України (м. Львів).

Шварц Валерій Петрович – кандидат технічних наук, керівник проекту, командитне товариство «Львіворгсинтез» (м. Нова Каховка).

Шевчук Руслан Миколайович – аспірант відділу аерокосмічних досліджень в геоекології ДУ «Науковий центр аерокосмічних досліджень Землі» ІГН НАН України (м. Київ).

Юрченко Валентина Олександрівна – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри безпеки життєдіяльності та інженерної екології Харківського національного університету будівництва та архітектури (м. Харків).

© Авторські і суміжні права належать авторам окремих публікацій, Інституту телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України, Київському національному університету будівництва і архітектури.

© Авторские и смежные права принадлежат авторам отдельных публикаций, Институту телекоммуникаций и глобального информационного пространства НАН Украины, Киевскому национальному университету строительства и архитектуры.

Copyring © authors of publications, Institute of Telecommunications and Global Information Space of NAS of Ukraine, Kyiv National University of Construction and Architecture. All rights reserved.

ДО УВАГИ АВТОРІВ ЗБІРНИКА

Зміст матеріалів, що направляються до редакції, повинен відповідати профілю та науково-технічному рівню збірника.

Кожна наукова стаття повинна мати вступ, розділи основної частини та висновки, а також анотацію і ключові слова трьома мовами (українською, російською та англійською). Також трьома мовами подаються реферати до статті.

Підготовка статті здійснюється в текстовому редакторі MS WORD for WINDOWS, з використанням шрифту Times New Roman, Суг, кегль 11, одинарний інтервал, полями 2,0 см з кожного боку, заданим розміром сторінок 17х26 см.

Усі формули мають бути набрані в редакторі Microsoft Equation.

Ілюстрації повинні обов'язково нумеруватися, мати книжкову орієнтацію і не можуть перевищувати за розміром задану сторінку (параметри сторінки 17х26 см з полями 2,0 см). Перелік літературних джерел оформляється згідно з ГОСТ 7.1-84 і подається загальним списком у кінці статті за чергою посилань у тексті.

Наприкінці статті наводиться коротка довідка про авторів, де вказуються прізвище, повне ім'я та по батькові авторів, науковий ступінь, вчене звання, посада, назва підрозділу (кафедри) та організації, особисті дані кожного з авторів (адреса, місто, країна, контактний телефон, e-mail).

Обов'язково слід надати електронну версію статті в редакторі Microsoft Word.

Усі представлені в редакцію рукописи проходять ретельне багатоланкове рецензування відповідними фахівцями за профілем статті. Якщо сумарна оцінка рецензентів менша за встановлений поріг, рукописи відхиляються. Автору надсилається відповідне повідомлення. Матеріали, отримані від автора, редакцією не повертаються. Після доопрацювання автор може подати матеріал повторно, з виконанням усіх процедур подачі матеріалу.

Зміст статті та якість написання або перекладу (українською або англійською мовами) переглядаються коректорами збірника, проте відповідальність за зміст та якість статті несуть автори матеріалу. До статті можуть бути внесені зміни редакційного характеру без згоди автора.

Розділ збірника, до якого буде віднесена стаття, визначається редакцією, узгоджується – головним редактором або його заступником. Остаточний висновок щодо публікації матеріалів схвалює редакційна колегія збірника.

Електронна версія збірника, правила оформлення та вимоги до статей містяться в Інтернеті на сайті <http://www.es-journal.in.ua>, який систематично оновлюється.

Збірник наукових праць також представлений на сайті Інституту телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України <http://itgip.org/> у розділі «Видавнича діяльність» та на сайті бібліотеки Київського національного університету будівництва і архітектури <http://library.knuba.edu.ua/node/883>.

Виконавчий редактор – В.П. Берчун

Надруковано в ТОВ «Видавництво «Юстон»
01034, м. Київ, вул. О. Гончара, 36а.
Тел.: (044) 360-22-66
www.yuston.com.ua

**Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи до державного реєстру
видавців, виготовлювачів і розповсюджувачів видавничої продукції
серія дк № 497 від 09.09.2015 р.**

Підписано і здано до друку 10.11.2017. Формат 70х108/16. Папір офсетний.
Офсетний друк. Умовн. друк. арк. 15.05
Обл.-вид. арк. 13.4
Замовлення № _____

Тираж 300 примірників

КИЇВ 2017