

**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**

**Збірник наукових праць  
Заснований у 2008 р.**

**ВИПУСК 14**

**Київ – 2014**

УДК 502; 338  
ББК 20.Ія43  
Е 45

**Р е д а к ц і й н а к о л е г і я**

**Головні редактори** - Волошкіна О.С., *д-р техн. наук, проф.*  
- Трофимчук О.М., *д-р техн. наук, проф., чл.-кор. НАНУ*  
**Відповідальний секретар** - Берчун В.П.

**Ч л е н и к о л е г і ї:**

**Білявський Г.О.,** *д-р геол.-мін. наук, проф.*  
**Биченок М.М.,** *д-р техн. наук*  
**Вижва С.А.,** *д-р геол. наук, проф.*  
**Довгий С.О.,** *д-р фіз.-мат. наук, проф., чл.-кор. НАНУ*  
**Заграй Я.М.,** *д-р хім. наук, проф.*  
**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.*  
**Малкін Е.С.,** *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.*  
**Радчук В.В.,** *д-р геол. наук*  
**Рибаков Л.О.,** *д-р техн. наук*  
**Стрижак О.Є.,** *канд. техн. наук*  
**Трофімович В.В.,** *канд. техн. наук, проф.*  
**Тугай А.М.,** *д-р техн. наук, проф.*  
**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  
Інститут телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України  
(протокол № 2 від 04.02.2014 р.)

**Е45 Екологічна безпека та природокористування:** Зб. наук. праць / М-во освіти і науки України, Київ. нац. ун-т буд-ва і архіт., НАН України, Ін-т телекомунікацій і глобал. інформ. простору; редкол.: О.С. Волошкіна, О.М. Трофимчук (голов. ред.) [та ін.]. – К., 2014. – Вип. 14. – 227 с.: іл. – Бібліогр. в кінці ст.

**ISBN 978-966-2633-24-5**

**УДК 502; 338**  
**ББК 20.Ія43**

Свідоцтво про державну реєстрацію наукового збірника «Екологічна безпека та природокористування» серія КВ № 14146-3117Р від 27.05.2008 р.

Збірник наукових праць включений до списку наукових фахових видань України (затверджено Постановами Президії ВАК України №1-05/3 від 14 квітня 2010 р. за напрямом «технічні науки» та № 1-05/8 від 22 грудня 2010 р. за напрямом «геологічні науки»).

Автори опублікованих матеріалів несуть відповідальність за добір і точність наведених цитат, формул, власних імен та інших відомостей.

**Адреса редакції:** 03186, Київ, Чоколівський бульв., 13  
Інститут телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України  
Тел. (044) 245-87-97  
E-mail: itelua@kv.ukrtel.net  
© КНУБА, 2014  
© ІТГПІ, 2014

**ISBN 978-966-2633-24-5**

---

---

## ЗМІСТ

### *Розділ 1. ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА*

**Є.О. Яковлєв**

Стратегічні фактори еколого-геологічного ризику видобутку сланцевого газу у нафтогазоносних регіонах України..... 5

**В.Г. Бурачек, Т.Н. Малик, А.С. Олинович, А.Л. Прокопенко**

Повышение экологической безопасности территорий с техногенноопасными объектами за счет автоматизации геодезического мониторинга..... 19

**Н.А. Новохацька, О.М. Трофимчук**

Технологія інвентаризації місць видалення відходів методами дистанційного зондування Землі..... 31

**М.В. Ваколюк**

Вимірювання концентрації CO<sub>2</sub> в атмосфері супутником GOSAT та дослідними вежами..... 41

**А.І. Горова, Ю.В. Бучавий, А.В. Павличенко, І.Г. Миронова**

Удосконалення методів оцінки якості атмосферного повітря із використанням рослин-індикаторів та геоінформаційних технологій..... 53

**Є.С. Анпілова, В.І. Клименко, Д.Л. Крета, О.М. Трофимчук**

Просторовий аналіз розповсюдження забруднень поверхневих вод і ґрунтів засобами ДЗЗ та ГІС..... 59

**О.В. Цікало, С.П. Іванюта**

Аналіз досвіду країн ЄС у сфері запобігання негативним наслідкам стихійних лих..... 69

### *Розділ 2. ОСНОВИ ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ*

**В.М. Удод, С.М. Абу Діб**

Екологічна оцінка стану природно-антропогенних ландшафтів в межах дії інженерних лісозахисних конструкцій..... 80

**К.Г. Романчук, Д.В. Стефанишин**

Імовірнісний аналіз причин аварійного переповнення водосховища-охолоджувача Хмельницької АЕС ..... 86

**В.О. Повстень, М.М. Коршун, Т.І. Дмитруха**

Захист людей від випаровувань ртуті у забруднених нею приміщеннях різного призначення..... 95

---

## ЗМІСТ

<b>С.М. Маджд</b> Оцінка техногенного впливу авіапідприємств на стан водойм .....	101
<b>С.Я. Хруник</b> Прогнозування впливу на довкілля використання твердого альтернативного палива в цементній промисловості.....	107
<b>А.В. Ошкадер</b> Оценка современного экологического состояния артезианских скважин на территории Керченского полуострова.....	116
 <b>Розділ 3. ІНФОРМАЦІЙНІ РЕСУРСИ ТА СИСТЕМИ</b>	
<b>М.О. Попов, І.Д. Семко, І. Козак</b> Оцінювання індексу листкової поверхні за даними авіаційної лідарної зйомки.....	126
<b>С.К. Полумієнко, Л.О. Рибаків</b> Щодо оцінки сталості технологічного розвитку .....	140
<b>И.Н. Симонов</b> Полевая теория структурных частиц материи и новые аспекты экологии .....	154
<b>О.Є. Толчевська, Ю.Г. Коняєв</b> ГІС технології в землеустрої.....	168
<b>О.Є. Стрижак</b> Інструменти інформаційно-аналітичного супроводу процесів моніторингу.....	180
<b>В.А. Васянин, Л.П. Ушакова</b> Структуры данных и процедуры редукции маршрутов в задачах распределения поток в коммуникационных сетях.....	192
<b>В.В. Радчук, А.Е. Гречановский, А.Б. Брик, Б.Г. Шабалин</b> Компьютерное моделирование радиационно-стимулированных процессов в минералах в связи с решением минералогических, материаловедческих и экологических задач (часть вторая).....	206
<b>До відома авторів</b> .....	225

УДК 553.981

© Є.О. Яковлєв, д-р техн. наук

Національний інститут стратегічних досліджень, м. Київ

### СТРАТЕГІЧНІ ФАКТОРИ ЕКОЛОГО-ГЕОЛОГІЧНОГО РИЗИКУ ВИДОБУТКУ СЛАНЦЕВОГО ГАЗУ У НАФТОГАЗОНОСНИХ РЕГІОНАХ УКРАЇНИ

*У статті проаналізовані стратегічні фактори еколого-геологічного ризику видобутку сланцевого газу у нафтогазоносних регіонах України. Видобуток сланцевого газу на основі фрекінг-технології супроводжується формуванням у глибоких горизонтах на великих площах техногенних проникних високонапірних зон. Їх особливістю є збільшення проникності глибоких водоносних горизонтів та формування висхідної міграції токсичних забруднень із фрекінг-зони у горизонти прісних підземних вод та поверхневі водні об'єкти (ріки, озера, джерела). Актуальними є дослідження з розробки нормативно-правової та науково-методичної бази використання фрекінг-технології експлуатації родовищ сланцевого газу.*

**Ключові слова:** сланцевий газ, фрекінг-технологія, техногенна завантаженість, еколого-геологічний ризик.

#### Вступ

Сучасна економіка України за оцінками провідних вчених відрізняється аномальним енерго-ресурсоспоживанням, параметри якого в 3–5 разів перевищують показники розвинених країн. Значною мірою це пов'язано з переважанням сировинно-перероблюючих, металургійної та хімічної галузей [1–5].

За наявними оцінками на території України розробляється понад 3000 родовищ мінеральної сировини (97 видів) і зараз функціонує більше 2000 гірничо-видобувних підприємств, екологічний вплив яких має прояв на 20% території держави (забруднення підземних, поверхневих вод та ландшафтів, порушення рівноваги надр).

Середньорічне споживання паливно-енергетичних ресурсів складає до 80 млн. тонн вугілля, 53 млрд. м<sup>3</sup> газу, 12 млн. тонн нафти. При цьому до 75% споживання вуглеводнів базується на імпорті, що формує фактор загрози національній безпеці. З видобутком, переробкою і використанням мінерально-сировинних ресурсів (МСР) пов'язано формування до 43–45% ВВП та до 60% експортних надходжень, що є ознаками сировинної економіки.

За оцінками фахівців Держгеолслужби Мінприроди та Національної АН України (проф. Рудько Г.І, к. г.-м. наук Люта Н.Г., проф. Коржнев М.М., проф. Фесик М.А., проф. Міщенко В.С.) більшість розвинутих гірничо-видобувних районів (Донбас, Кривбас, Центрально-Український уранорудний, Східний та Західний нафто-газовидобувні та ін.) характеризуються незворотними порушеннями та екологічно небезпечними рівнями забруднення навколишнього середовища з одночасною деградацією біосфери, а більшість шахт і кар'єрів досягли критичних глибин (1,5 та 0,4 км, відповідно) при аномальних рівнях енергоємності видобутку МСР на одиницю продукції.

Таким чином, подальший розвиток гірничо-видобувного комплексу України за умов ринкової економіки та зростання конкуренції у надрокористуванні пов'язаний із пошуком нових власних джерел енергетичних ресурсів, в першу чергу вуглеводневих, які мають знижений екологічний вплив та найбільшу здатність до транспортування до об'єктів споживання [1–4].

Принципово нова схема розвитку структури видобутку та використання вуглеводневої енергосировини у світі сьогодні формується на досвіді США з освоєння ресурсів сланцевого та центральноструктурного газу (shale gas, tight gas). За попередніми оцінками, родовища сланцевого газу (СГ) більш-менш рівномірно розповсюджені у надрах більшості держав нашої планети, що створює умови їх ефективного використання при дотриманні технологічних і екологічних параметрів безпеки [2–4, 9, 11, 12].

### **1. Регіональні перспективи видобутку сланцевого газу в Україні**

Значна залежність економічного розвитку України від зовнішніх джерел енергопостачання вимагає від керівництва держави все активніше займатися питаннями енергодиверсифікації. Однією з складових цього процесу є розробка нових родовищ вуглеводнів, зокрема сланцевого газу та газу щільних колекторів тощо. Щодо СГ привабливим є факт формування його покладів в межах більшої частини територій Східного і Західного нафтогазоносних регіонів України, а також наявність розвиненої мережі газопроводів, які можуть забезпечити оперативну доставку видобутого газу. Крім того, це виключає витрати значних коштів для будівництва нових трубопроводів [8, 9, 11, 12].

У квітні 2011 року було оприлюднено аналіз Американської інформаційної енергетичної агенції (U.S. EIA) «Світові ресурси сланцевого газу: аналіз 14 регіонів за межами США». Відповідно до цього документу Україна має досить великі запаси сланцевого газу, поклади якого за геолого-економічними оцінками підрозділів НАН та Держгеолслужби Мінприроди України є перспективними для промислового освоєння (*табл. 1*).

В той же час, загальнодержавний баланс запасів традиційних вуглеводнів в межах геологічних структур України (Східний, Західний, Південний регіони) виглядає досить напруженим (*табл. 2*). Геолого-ресурсна і геолого-економічна складність сучасного видобутку нафти, газу та газоконденсату пов'язана з розробкою малих і глибоких родовищ [5, 7–9, 11, 12].

**Таблиця 1 – Порівняння запасів сланцевого газу в країнах Європи з наявними запасами природного газу, виробництвом та споживанням**

Держави	2009 р. ринок природного газу, млрд. м <sup>3</sup>			Доведені запаси природного газу, млрд. м <sup>3</sup>
	виробництво	споживання	імпорт (експорт)	
Франція	0,85	49,00	98%	56,66
Німеччина	14,45	92,63	84%	175,64
Нідерланди	79,04	48,72	(62%)	1388,10
Норвегія	103,40	4,53	(2156%)	2039,66
Великобританія	59,21	88,10	33%	254,96
Данія	8,50	4,53	(91%)	59,49
Швеція	–	1,13	100%	
Польща	5,95	16,43	64%	164,30
Турція	0,85	35,13	98%	5,67
Україна	20,40	44,19	54%	1104,82
Литва	–	2,83	100%	
Інші	13,60	0,27	50%	76,77

**Таблиця 2 – Баланс запасів вуглеводнів в геологічних структурах України**

Регіони	Розвідані запаси (станом на 2009 р.)			Видобуток з початку роботи		
	Нафта (млн. т)	Газ, млрд. м <sup>3</sup>	Газоконденсат, млн. т	Нафта (млн. т)	Газ, млрд. м <sup>3</sup>	Газоконденсат, млн. т
Україна	112	1014,5	61,7	315,4		72,6
Східний	65,5	810,7	56,3	205,1		68,6
Західний	40,1	132,8	2,6	110,0	298,2	2,7
Південний	6,4	71,0	2,8	0,3	29,9	1,3

*Довідково: Максимум річного видобутку нафти в Україні було досягнуто в 1972 р. (14,4 млн. т), а газу – в 1976 р. (68,3 млрд. м<sup>3</sup>). Сучасний видобуток нафти стабілізувався на рівні 3,8–4,2 млн. т/рік, а газу – 19,5–20,5 млрд. м<sup>3</sup>/рік. Враховуючи значний розвиток енергоємних галузей, Україна залишається країною з найбільшим у світі річним споживанням газу на душу населення – до 1,5 тис. м<sup>3</sup>, що на 30–50% перевищує показники країн ЄС.*

На території України розглядається два перспективних регіони з покладами сланцевого газу: Дніпровсько-Донецький та Люблінський із запасами 1,36 трлн. м<sup>3</sup> та 4,22 трлн. м<sup>3</sup>, відповідно (рис. 1).

З цих 5,58 трлн. м<sup>3</sup> СГ в кінцевому випадку можуть бути технічно вилучені 1.2 трлн. м<sup>3</sup> (до 20%), що дозволить суттєво посилити власну енерго-ресурсну базу вуглеводнів в Україні. За умови використання лише технічно доступного сланцевого газу, на рівні споживання 2012 року, доведених запасів цих ділянок вистачить на 30–35 років.

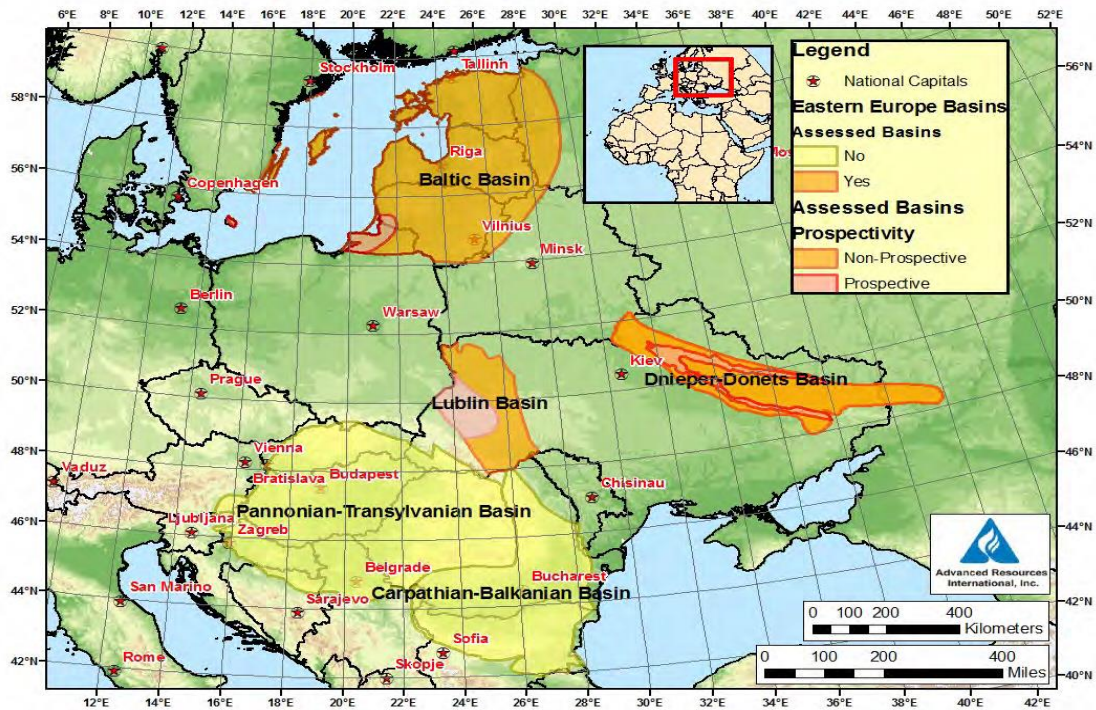


Рис. 1 – Схема розміщення басейнів сланцевого газу в Європі

## 2. Оцінка екологічної небезпеки техногенних змін стану геологічного середовища у процесі видобутку сланцевого газу

Видобуток СГ пов'язаний із техногенним створенням у стиснутих газоводонасичених шарах, які залягають на глибині 2,5–4,5 км, просторово розвинутих зон високопроникної тріщинуватості. Для цього використовується фрекінг-процес (ФП – frace making), який відрізняється від традиційного гідророзриву високоенергетичним гідрогеомеханічним впливом на слабопроникні газоводонасичені шари шляхом нагнітання у горизонтальні (до 1,0–1,5 км і більше) або нахилені свердловини суміші з води (96–97%), піску (1,5–2%), хімічно- та поверхнево-активних речовин (ПАР).

Аналіз технологічних параметрів ФП (тиски, динаміка пружньо-пластичних деформацій фрекінг-зони, тріщиноутворення та ін.) свідчить, що до основних еколого-техногенних загроз та геолого-економічних ризиків промислової розробки родовищ сланцевого газу у нафтогазоносних структурах України, порівняно з традиційними газовими родовищами, можна віднести наступні:

- 1) великі енергетичні (гідрогеодеформаційні) та фізико-хімічні впливи на глибокі горизонти геологічного середовища, для чого необхідні потужне обладнання, висококваліфікований персонал, нормативно-правова адаптація сучасних технологій та дуже суттєві інвестиції;
- 2) малий строк функціонування експлуатаційних свердловин: навіть новітні технології (горизонтальне буріння, комбінований гідророзрив на основі кульової перфорації та хімічної обробки), які збільшують площу контакту фільтруючої частини свердловини з газоносною породою в 30–50 разів, забезпечують її економічно ефективне функціонування до 3–8 років (для порівняння свердловини з видобутку вільного газу функціонують 10–15 і більше років);



3) підвищена агресивність сланцевого газу до металу (за досвідом промислового видобутку, транспортування та використання у США) призводить до скорочення терміну експлуатації газопроводів до 2 разів та зменшення їх енерговіддачі;

4) зменшення окупності інвестицій до 10–12 років (у ряді регіонів США реальна собівартість сланцевого газу сягає 212–283\$ на 1 тис. м<sup>3</sup>) порівняно з 5–7 роками при видобутку традиційного газу;

5) на відміну від газonosних площ США, де технологічні параметри геологічного середовища вивчені дуже добре і є сприятливими для видобутку (глибина 1.5–3.0 км, незначна тектонічна порушеність, знижена міцність порід), площі розповсюдження відкладів зі сланцевим газом в Україні не досліджені настільки, щоб можна було з високою вірогідністю оцінювати запаси та витрати на видобуток шляхом побудови вірогідних геолого-економічних та бізнес-моделей, тим більше, що собівартість сланцевого газу сильно залежить від глибини та структурно-геодинамічних умов видобутку [5, 6, 7–12];

6) небезпека довгострокового забруднення підземної гідросфери, в т.ч. стратегічно важливих горизонтів прісних вод питної якості та родовищ лікувальних мінеральних ресурсів, внаслідок формування при використанні фрекінг-процесу деформацій регіональних водотривів, техногенних тріщинно-проникних зон із великою кількістю (тис. м<sup>3</sup>) токсичних технологічних сполук, радону та природних радіонуклідів, які здатні до міграції у підземні та поверхневі джерела питно-господарського водопостачання;

7) розвиток локальних деформацій денної поверхні та техногенних сейсмо-геофізичних явищ (глибинні гідрогеомеханічні поштовхи);

8) суттєві збільшення еколого-техногенних навантажень на існуючу інженерну інфраструктуру, які обумовлені вилученням значних земельних площ під шляхову, трубопровідну та складську інфраструктуру, залучення з ризиком наступного забруднення великих обсягів водних ресурсів (4–20 тис. м<sup>3</sup> на одну видобувну свердловину).

Для забезпечення об'ємного розвитку високопроникної тріщинуватості попередньо виконується просторовий кульовий простріл пристовбурного породного масиву горизонтальних свердловин на глибину до 0,5–0,7 м з наступною закачкою піску та ПАВ. Об'єм закачки технологічного розчину при ФП у 100–120 м секції горизонтальних свердловин сягає 600–1500 м<sup>3</sup>, а витрати часу 3–7 годин; при цьому величина тиску  $P_0$  переважно визначається двома складовими: геостатичним тиском (вагою) вищезалягаючих порід та їх міцністю на розрив перпендикулярно нашаруванню  $\sigma_{\perp}$ :

$$\text{таким чином } P_0 = \gamma z + \sigma_{\perp},$$

де  $\gamma$ ,  $h$  – відповідно, середня об'ємна вага та товщина шару порід, що залягають вище горизонту СГ,  $\gamma = 2,2 \text{ т/м}^3$ , розрахункове значення  $h = 3000\text{--}5000 \text{ м}$ ;

$\sigma_{\perp}$  – значення міцності осадових ущільнених порід на розрив перпендикулярно нашаруванню; за дослідними даними  $\sigma_{\perp} = 150\text{--}250 \text{ кг/см}^2$  (15–25 МПа).

У відповідності з вищенаведеними параметрами тиск ФП сягає 800–1400 кг/см<sup>2</sup> (80–140 МПа), що забезпечує просторовий розвиток газо-водопроникних тріщин на відстань від 150–250 м до 350–500 м (2%), інжекцію в їх простір 150–250 м<sup>3</sup> кварцового піску на

1 видобувну свердловину для забезпечення довгострокового збереження розкриття та газоводопроникнення тріщин.

Слід відмітити, що реологічне (дуже повільне) стискання тріщинно-порового простору фрекінг-зони (ФЗ) зменшує у часі його проникність і тому економічно ефективно функціонування свердловин на СГ сягає у середньому 3–5–7 років (термін експлуатації свердловин на традиційний газ дорівнює 10–15–25 років). У зв'язку з цим відбувається збільшення питомої щільності видобувних свердловин на родовищах СГ (до 6–15 св/км<sup>2</sup>), що створює у продуктивних горизонтах регіональні пластово-тріщинні системи та зони деформацій регіональних перекриваючих водотривів з ризиком їх локальних руйнувань. Це суттєво порушує еколого-гідрологічні умови товщ розповсюдження СГ, які відносяться до зон уповільненого водообміну (ЗУВ) високомінералізованих вод (300–350 г/дм<sup>3</sup>), і формує ризики їх техногенної міграції до вищезалюгаючих горизонтів прісних вод (до 1–3 г/дм<sup>3</sup>) зони активного водообміну (ЗАВ).

В цілому у процесі техногенної еволюції гідрогеофільтраційної системи ФЗ можна виділити 3 фази:

1) просторового розвитку вздовж стовбура горизонтальної або нахиленої свердловини за умови пружно-пластичних деформацій мережі проникних тріщин, відкритість яких фіксується піщаним матеріалом при одночасному заповненні токсичним технологічним розчином; у процесі розвитку фрекінг-тріщинуватості існує ризик руйнівних деформацій вищезалюгаючих слабопроникних шарів та периферійного розвитку гідравліко-фільтраційного зв'язку ФЗ з проникними тектонічними зонами. Останнє є основою формування інжекційного висхідного потоку токсичних технологічних забруднень до прісноводних горизонтів ЗАВ;

2) площадної висхідної гідрогеоміграції у вигляді повільного дифузійно-конвективного потоку залишків маломінералізованих технологічних розчинів під впливом реологічного скорочення тріщинного простору ФЗ та їх зменшеної густини ( $\gamma_{пв} = 1000 \text{ кг/м}^3$ ) порівняльно з мінералізованими ( $M = 00\text{--}400 \text{ кг/м}^3$ ) поровими розчинами ( $\gamma_{мв} = 200 \text{ кг/м}^3$ ); екологічно небезпечною складовою даної фази розвитку ФЗ можна вважати поступове забруднення порових розчинів вищезалюгаючих горизонтів ЗУВ та ЗАВ.

3) розвитку у ФЗ гідрогеодеформаційного поля пружних напружень з накопиченням потенційної енергії та ризиком деформацій денної поверхні або проявів техногенних мілкофокусних землетрусів.

Далі наводяться орієнтовні експертні оцінки часових і енергетичних показників вищезазначених ефектів еволюції ФЗ з урахуванням гідрогеофільтраційних і геодинамічних процесів.

1. Ризик формування гідравліко-фільтраційного зв'язку ФЗ з проникними тектонічними структурами оцінюється за результатами дешифрування матеріалів ДЗЗ і визначення «питомої щільності» мережі лінеаментних структур (рис. 1, 2).

За результатами математичної обробки знімків ДЗЗ в районі першої пошукової свердловини (акад. Лялько В.І., д.г.н. Азімов О.Т.) на Юзівській площі питома щільність лінеаментних зон складала 0,25 км/км<sup>2</sup>.



Рис. 1 – Фрагмент «Карта розривних порушень та основних зон лінеаментів у зоні дослідної свердловини на сланцевий газ (Юзівська площа, Харківська обл.)» М 1: 1000000 [Крылов Н.А. и др., 1988]



Рис. 2 – Збільшений фрагмент схеми результатів регіонального структурного дешифрування радіолокаційних даних Д33 на фоні синтезованого сканерного багатозонального КЗ LANDSAT ETM+ із супутника «LANDSAT-7» від 01.06.2002 р. (7-ий, 4-ий і 2-ий канали, псевдокольори ; акад. НАНУ Лялько В.І., д.г.н. Азімов О.Т.)

Лінійна щільність техногенної тріщинуватості  $\Phi_3$  у типовому кластері (США, штат Пенсільванія) із 6 горизонтальних свердловин (рис. 3) складає  $1,5\text{--}3,0 \text{ км/км}^2$ , тобто від 3 до 6 разів більше.

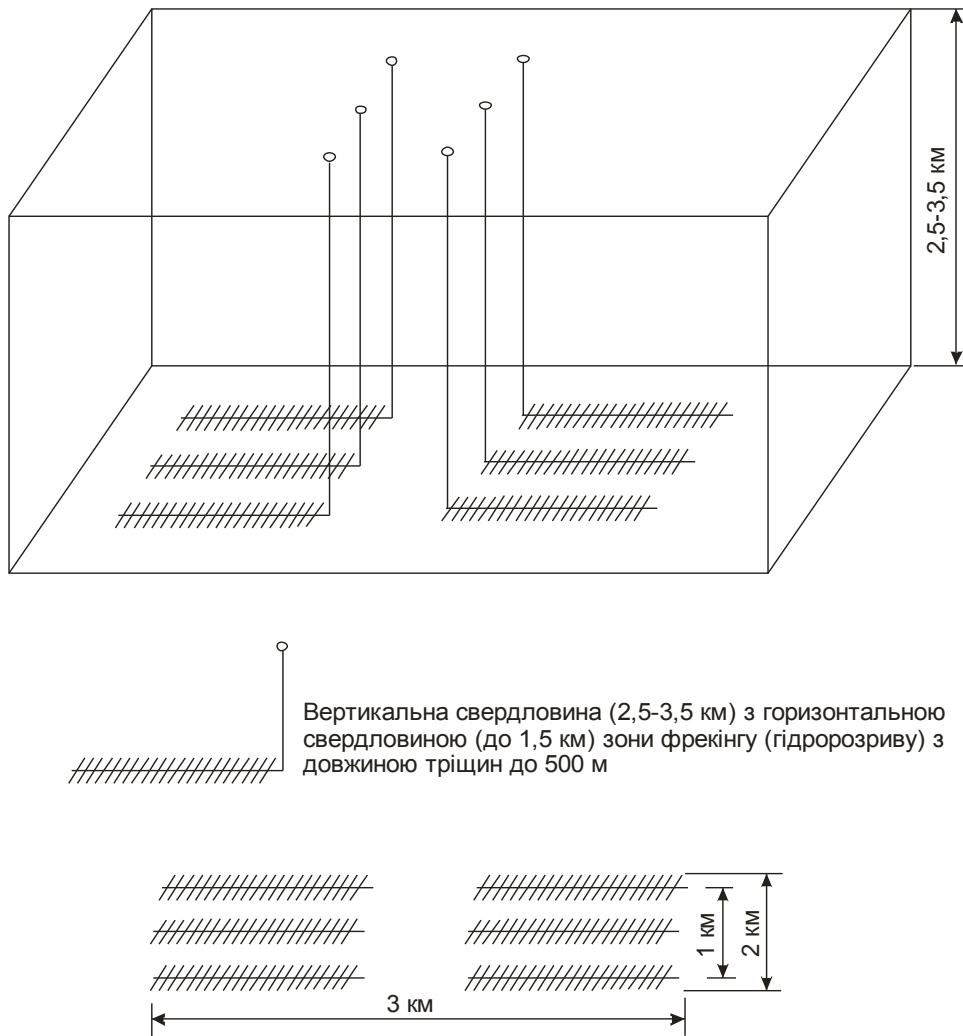


Рис. 3 – Типова схема кластера видобувних свердловин (штат Пенсільванія)

Результати розрахунку за вищенаведеною схемою свідчать про суттєве зростання вразливості до забруднення горизонтів прісних підземних водних об'єктів в межах нафтогазоносних структур внаслідок дії чинників фрекінг-процесу. Наявні регіональні оцінки за даними математичного моделювання водо-теплопереносу (акад. НАНУ Лялько В.І., акад. НАНУ Шестопапов В.М., к. г.-м. н. Литвак Д.Р. та ін.), проникності ( $K_T = 10^{-4}$  м/добу) і активної пористості ( $n_T = 10^{-3}$ ) тектонічних зон дозволяють виконати орієнтовний розрахунок часу висхідної міграції забруднень  $t_m$  із фрекінг-зони на глибині  $H_{\Phi_3} = 3000$  м до ґрунтового водоносного горизонту (ГрВГ).

Згідно із залежністю Дарсі  $t_m \approx H_{\Phi_3}/V_m$ , де  $V_m$  – середня швидкість висхідної міграції забруднень технологічного розчину. Середнє значення  $V_m$  може бути розраховано за рівнянням  $V_m = K_T/i/n_T$ , де  $i$  – градієнт висхідного потоку у гідравліко-фільтраційній системі «зона

фрекінгу – проникна тектонічна структура»,  $n_T$  – активна пористість тектонічної зони. За даними математичного моделювання водо-теплопереносу у глибоких горизонтах ЗУВ  $n_T = 10^{-3} \div 10^{-4}$ .

Допускаючи лінійне зниження у часі тиску у фрекінг-зоні від початкового ( $P_0 = \gamma_n H + \sigma_{\perp}$ ) до гідростатичного, при якому зупиняється вивільнення сланцевого газу, визначимо середню величину тиску висхідної міграції:

$$P_{\text{сер}} = [(\gamma_n H_{\text{фз}} + \sigma_{\perp}) + H_{\text{фз}}] / 2,$$

де  $\gamma_n$  – об'ємна густина порід,  $\gamma_n \approx 2,2 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$ ;

$H_{\text{фз}}$  – середня глибина фрекінг-зони (процесу);  $H_{\text{фз}} = 3000 \text{ м} = 300 \text{ МПа}$ ;

$\sigma_{\perp}$  – міцність сланцево-газоносних порід на розтягіння (розрив) нормально нашаруванню; за літературними даними  $\sigma_{\perp} \approx 25 \text{ МПа} (300 \text{ кг/см}^2)$ .

У відповідності з вищенаведеними даними величина градієнту висхідної міграції буде дорівнювати

$$i = P_{\text{сер}} / H_{\text{фз}} = [(\gamma_n H_{\text{фз}} + \sigma_{\perp}) + H_{\text{фз}}] / 2 H_{\text{фз}} = [(660 + 300) + 300] / 2 \cdot 300 \approx 2,1$$

а час досягнення ГрВГ

$$t_m = H_{\text{фз}} / (ki/n_T) = 3000 / [(10^{-4} \cdot 2,1) / (10^{-3} \div 10^{-4})] \approx 14,2 \cdot 10^3 \div 1420 \text{ діб} \approx 40 \div 4 \text{ років}.$$

Слід відмітити, що орієнтовні оцінки часу можливої висхідної міграції технологічних забруднень із ФЗ співпадають з терміном експлуатації фрекінг-зони ( $t_{\mu} \geq 5$  років) та з проявами у США численних локальних забруднень підземних і поверхневих джерел водопостачання ( $t_b > 20 \div 30$  років).

2. Орієнтовний час площадної висхідної міграції технологічних забруднень ФЗ крізь суцільний породний масив оцінюються з умови, що рушійним фактором висхідної гідрогеоміграції у даному випадку є різниця густини прісноводного технологічного розчину ( $\gamma_{\text{пв}} = 1000 \text{ кг/м}^3$ ) та мінералізованих порових розчинів газозміщуючих порід ( $\gamma_{\text{пор}} = 1200 \text{ кг/м}^3$ ).

При глибині фрекінг-зони  $H_{\text{фз}} = 3000 \text{ м}$  і лінійному зниженні різниці щільності в інтервалі «зона фрекінгу – ГрВГ» середнє значення градієнту висхідної фільтрації складе

$$i_{\phi} = (\gamma_{\text{пор}} - \gamma_n) H_{\text{фз}} / 2 H_{\text{фз}} = 0,1.$$

За формулою Дарсі час висхідної фільтрації у суцільному породному масиві складе

$$t_{\text{пм}} = H_{\text{фз}} [(k_m \cdot i_{\phi}) / n_{\text{пм}}],$$

де  $k_{\text{пм}}$  – середня проникність суцільного породного масиву від фрекінг-зони до ГрВГ;  
 $n_{\text{пм}}$  – активна пористість суцільного породного масиву (за даними лабораторних досліджень та математичного моделювання глибоких горизонтів ЗУВ, в т. ч. полігонів захоронення токсичних стоків  $n_{\text{пм}} = 10^{-3}$ ;  
за формулою Тіма-Каменського

$$k_{\text{пм}} = H_{\text{ФЗ}} / [(m_{\text{пр}}/k_{\text{пр}} + m_0/k_0)],$$

де  $m_{\text{пр}}$  – товщина проникних шарів,  $m \approx 500\text{м}$ ,  
 $k_{\text{пр}}$  – середній коефіцієнт фільтрації проникних шарів,  $k_{\text{пр}} = 2,0$  м/добу;  
 $m_0, k_0$  – відповідно, середні значення товщини і коефіцієнтів фільтрації слабопроникних (розділяючих) шарів (т. зв. регіональних водотривів); сумарна товщина  $m_0 = (3000 - 500)2500$  м,  
 $k_0 = (2 \div 5) \cdot 10^{-5}$  м/добу (за даними Климчука А.Б. щодо проникності карстово-провідних систем).

Тоді  $k_{\text{пм}} \approx 3000 / [(500/2) + (2500 / (2 \div 5) \cdot 10^{-5})] = 2,4 \cdot 10^{-5} \div 6 \cdot 10^{-5}$  м/добу, а орієнтовний час висхідної (дифузійно-конвективної) міграції технологічних забруднень крізь суцільний породний масив складе  $t_{\text{пм}} = 3000 / [(2,4 \cdot 10^{-5} \div 6 \cdot 10^{-5}) \cdot 10^{-1}] / 10^{-3} = 2500 + 63000$  діб  $\approx 70 \div 170$  років. Слід прийняти до уваги, що в умовах ГС існує можливість значного зниження концентрації забруднень за рахунок впливу сорбції і регіонального руху підземного потоку у системі горизонтів ЗАВ.

Отримані оцінки швидкості висхідної міграції технологічних забруднень по проникних тектонічних зонах (від перших років до десятків) та крізь суцільний породний масив (від десятків до сотень років) є орієнтовними, враховуючи прискорення висхідних потоків внаслідок утворення у зоні фрекінгу газОВО-водної емульсії, в'язкість якої у десятки разів менша. Тому прискорений висхідний рух із ФЗ вуглеводневих газів є фактором, який здатний призвести до зміни структури газогеохімічного поля у верхній зоні геологічного середовища, в першу чергу внаслідок прискореної міграції газів по тектонічних і послаблених (лінеаментних) зонах. Таким чином, виявлення у початкову фазу проведення фрекінг-процесу зміни фонові структури газогеохімічного поля є ознакою порушення гідрогеофільтраційної ізолюваності ФЗ, а також небезпеки забруднення горизонтів прісних підземних вод і поверхневих водних об'єктів.

Ризик геопросторового забруднення підземної гідросфери на площах видобутку СГ уявляється доцільним додатково оцінити за консервативною балансовою схемою співвідношення об'єму води для розчину забруднень  $Q_{\text{бр}}$  до безпечних концентрацій  $C_{\text{гдк}}$  з об'ємом порових розчинів  $V_{\text{пор}}$ , які залягають вище ФЗ:

$$Q_{\text{бр}} = V_{\text{бр}} / C_{\text{гдк}} \leq V_{\text{пм}} * n_{\text{пм}},$$

де  $V_{\text{бр}}$ ,  $V_{\text{пм}} * n_{\text{пм}}$  – відповідно, питомі об'єми остаточних токсичних розчинів у ФЗ та порових вод у перекриваючому ФЗ породному масиві  $\text{м}^3/\text{км}^2$ ; за даними [2, 3]  $V_{\text{бр}} \sim 400\text{м}^3/\text{км}^2$ ,

у більшості випадків Сгдк  $\sim 1.0-0.1$  мг/дм<sup>3</sup> (відносна доля  $10^{-6}-10^{-7}$ ), при глибині ФЗ = 3000 м  
 $V_{\text{пм}} = 3 \cdot 10^9$  м<sup>3</sup>/км<sup>2</sup>;

$n_{\text{пм}}$  – загальна пористість порід вище ФЗ,  $n_{\text{пм}} = 0.2$ .

Із результату вирішення вищенаведеної балансової залежності слідує, що

$$Q_{\text{бр}} = 400 / (10^{-6} - 10^{-7}) = 4 \cdot 10^8 - 4 \cdot 10^9 \text{ м}^3,$$

а об'єм порових вод вище ФЗ

$$V_{\text{пм}} \cdot n_{\text{пм}} = 3 \cdot 10^9 \cdot 0.2 = 6 \cdot 10^8 \text{ м}^3.$$

Таким чином, залишки технологічних розчинів у ФЗ в окремих випадках здатні до довгострокового забруднення підземних вод ЗУВ та ЗАВ.

З метою визначення площ ділянок, які мають мінімальний ризик забруднення підземних і поверхневих вод при використанні технології фрекінга, нами була виконана геопросторова оцінка співвідношення площ оптимальних кластерів видобувних свердловин на сланцевий газ та питомої щільності лінеаментів за даними ДЗЗ (рис. 1–3). Отримані результати засвідчили, що екологічно безпечні ділянки з видобутку СГ в межах Юзівської площі складають 60–65%, а Олеської – 45–55%, що обумовлено підвищеною тектонічною порушеністю останньої.

Отримані дані дозволяють дійти висновку про доцільність випереджаючого районування територій пошуково-розвідувальних робіт на сланцевий газ за геодинамічною стійкістю на основі комплексного аналізу матеріалів ДЗЗ та газогеохімічної зйомки.

3. Накопичення потенціальної енергії у фрекінг-зоні у процесі гідрогеомеханічних деформацій стискання та формування тріщинуватої системи за наявним досвідом (США, Британія) може сягати величини провокування вертикального зміщення локальних породних масивів по площині тектонічних і послаблених зон, в т.ч. у вигляді сейсмострушувань. В загальному плані кількість потенційної енергії у фрекінг-зоні дорівнює

$$E_{\text{пот}} = \rho_{\text{фп}} V_{\text{ф}},$$

де  $\rho_{\text{фп}}$  – середній тиск фрекінг-процесу, для глибини 3000 м  $\rho_{\text{фп}} = 90$  МПа (900 кг/см<sup>2</sup>);

$V_{\text{ф}}$  – середній об'єм закачки технологічного розчину у свердловину з тиском  $\rho_{\text{фп}}$ ,  
 $V_{\text{ф}} \approx 10 \cdot 10^3$  м<sup>3</sup>;

$E_{\text{пот}} = 90 \cdot 10^6 \text{ Па} \cdot 10^4 \text{ м}^3 \approx 0,9 \cdot 10^{12}$  Дж.

Згідно із залежністю, що наведена у [7], вищезазначений енергетичний рівень струшування (подрібнення) породного масиву є еквівалентним землетрусу магнітудою 3,5–4 (4–5 балів шкали МСК-64). Слід відмітити, що подібний рівень сейсмострушувань на ділянках видобутку сланцевого газу відмічався у США, Англії та на полігонах захоронення токсичних стоків (США, Росія та ін.).

**Висновки і рекомендації**

1. Фрекінг-технологія є досконалою технологією щодо вилучення вуглеводнів із глибоких шарів (2,5–4,5 км) слабопроникних порід шляхом їх гідрогеомеханічного подрібнення і створення високопроникних довгоіснуючих (до 5–8 років) зон, заповнених механічними домішками і токсичними технологічними розчинами.

2. Створення глибинних високопроникних фрекінг-зон призводить до довгострокових порушень геомеханічної цілісності, геоенергетичної і гідрогеофільтраційної рівноваги глибоких горизонтів геологічного середовища.

3. Видобуток сланцевого газу на основі фрекінг-технології супроводжується формуванням у глибоких горизонтах на великих площах (сотні-тисячі кв. км) техногенних проникних високонапірних зон. Їх особливістю є збільшення проникності глибоких водоносних горизонтів та формування висхідної міграції токсичних забруднень із фрекінг-зони у горизонти прісних підземних вод та поверхневі водні об'єкти (ріки, озера, джерела).

4. Площинне формування при видобутку сланцевого газу високопроникних тріщинних зон призводить до гідрогеофільтраційної і геохімічної перебудови глибинних горизонтів високомінералізованих вод, зони уповільненого водообміну та багаторазової активізації їх взаємодії з вищезалігаючими прісноводними горизонтами та поверхневими водними об'єктами.

5. Тріщинно-поровий простір фрекінг-зон є колектором великих залишкових об'ємів токсичних технологічних розчинів, які здатні до масштабного просторово-часового забруднюючого впливу на горизонти прісних вод і поверхневі водні об'єкти.

6. Провідними шляхами прискореної міграції токсичних технологічних забруднень із зон техногенного тріщиноутворення при видобутку сланцевого газу є проникні тектонічні порушення, які найбільш вірогідно діагностуються за матеріалами ДЗЗ та газогеохімічних зйомок.

Приймаючи до уваги великий енергопотенціал сланцевого газу в межах нафтогазоносних структур Східного та Західного регіонів України, їх значну структурно-тектонічну порушеність, техногенну навантаженість та підвищену екологічну чутливість геологічного середовища до механічних, фізичних та хімічних чинників впливу фрекінг-технології, уявляється необхідним виконання:

1) Випереджаючої оцінки тектонічної порушеності (суцільності) породного масиву в межах сланцевогазоносних структур на базі аналізу матеріалів ДЗЗ та визначення структури газогеохімічного поля ділянок пошуково-розвідувальних робіт на сланцевий газ.

2) Удосконалення структури моніторингу параметрів газогеохімічного поля, рівневого і хімічного режиму підземних і поверхневих вод, геохімічного стану ландшафтів в межах родовищ сланцевого газу.

3) Досліджень сорбційно-десорбційних властивостей мінерального скелету і порових розчинів породного масиву над зоною крекінга з метою визначення захисної здатності геологічного середовища на ділянках видобутку сланцевого газу.

4) Розробки математичних моделей техногенно-геологічних систем (ТГС) «зона фрекінгу – геологічне середовище» з метою визначення гранично-припустимих параметрів



фрекінг-процесу на стадіях геолого-пошукових і експлуатаційних робіт, а також прогнозу довгострокового впливу залишків токсичних технологічних розчинів у фрекінг-зоні на якість підземних і поверхневих вод.

5) Досліджень з розробки нормативно-правової та науково-методичної бази щодо використання фрекінг-технології при геологічному вивченні та експлуатації родовищ сланцевого газу.

### **Список використаної літератури**

1. Адаменко О.М. Екологічні проблеми розвідки і видобутку сланцевих газів на Олеській площі. Екологічне та збалансоване ресурсокористування, 2013, № 2 (8), С. 4–12.
2. Довгий С.О., Євдощук М.І., Коржнев М.М. та ін. Енергетично-ресурсна складова розвитку України. Київ, Ніка-Центр, 2010, 263 с.
3. Якушенко Л.М., Яковлев Є.О. Перспективи видобутку сланцевого газу в Україні: екологічні аспекти. Аналітична записка НІСД, 2012, 12 с.
4. Рябцев Г.Л., Сапегін С.В. (ред.). Сучасні проблеми державної політики у сфері видобутку нетрадиційних вуглеводнів в Україні. Київ, НТЦ «Психея», 2012, 239 с.
5. Довгий С.О., Коржнев М.М., Курило М.М. та ін. Екологічні ризики, збитки та раціональні межі використання надр в Україні. Київ, Ніка-Центр, 2012, 316 с.
6. Лялько В.І., Попов М.А. Спутниковые методы поиска полезных ископаемых (2-е изд.). Карбон-ЛТД, Киев, 2012, 436 с.
7. Ломниц Ц., Розенблют (ред.) Сейсмический риск и инженерные решения. Москва, «Недра», 1981, 683 с.
8. Рудько Г.І. (ред.) Геолого-економічна оцінка родовищ корисних копалин України та проблеми надрокористування (зб. наукових праць). Київ-Чернівці, «Букрек», 2013, 307 с.
9. Шестопалов В.М. (ред.) Водообмен в гидрогеологических структурах Украины. Водообмен в гидрогеологических структурах и Чернобыльская катастрофа: в 2 книгах. Киев, «Карбон-ЛТД», 2001, 860 с.
10. Лукін О.Ю., Щукін М.В. Проблеми нафтогазоносності великих глибин / Проблеми нафтогазоносності глибоко занурених горизонтів осадових басейнів України. Зб. наук. праць. – Івано-Франківськ: Факел, 2005. – С. 18–21.
11. Price L.C. Organic geochemistry of core samples from an ultra-deep hotwell (300<sup>0</sup>C, 7 km) // Chemical Geology. – 1982. Vol. 37. – № 3/4. – P. 215–228.
12. Гожик П.Ф. и др. Нефть и природный газ на континентальном склоне Европы / Геология и полезные Мирового океана, 2010, № 1. – С. 5–47.

*Стаття надійшла до редакції 09.01.14 українською мовою*

© Е.А. Яковлев

**СТРАТЕГИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ ЭКОЛОГО-ГЕОЛОГИЧЕСКОГО РИСКА ДОБЫЧИ  
СЛАНЦЕВОГО ГАЗА В НЕФТЕГАЗОНОСНЫХ РЕГИОНАХ УКРАИНЫ**

*В статье проанализированы стратегические факторы эколого-геологического риска добычи сланцевого газа в нефтегазоносных регионах Украины. Добыча сланцевого газа на основе фрекинг-технологии сопровождается формированием в глубоких горизонтах на больших площадях техногенных проницаемых высоконапорных зон. Их особенностью является увеличение проницаемости глубоких водоносных горизонтов и формирование восходящей миграции токсичных загрязнений из фрекинг-зоны в горизонты пресных подземных вод и поверхностные водные объекты (реки, озера, источники). Актуальны исследования по разработке нормативно-правовой и научно-методической базы использования фрекинг-технологии эксплуатации месторождений сланцевого газа.*

© E.O. Yakovlev

**STRATEGIC FACTORS OF ECOLOGICAL AND GEOLOGICAL HAZARD SHALE GAS  
IN THE OIL AND GAS REGION UKRAINE**

*This paper analyzes the strategic factors of ecological and geological risk of shale gas in the oil and gas regions of Ukraine . Extraction of shale gas based freking-technology is accompanied by the formation of deep levels in large areas of permeable man-made high-pressure zones. It's feature is the increase in the permeability of the deep aquifer formation and upward migration of toxic contaminants from freking-zone horizons in fresh groundwater and surface water (rivers, lakes, springs). Relevant research is to develop the regulatory and methodological framework using technology frekinh exploitation of shale gas.*

УДК 528.48; 631.4

© **В.Г. Бурачек**, д-р техн. наук, професор;  
**Т.Н. Малик**, старший преподаватель;  
**А.С. Олинович**, старший преподаватель;  
**А.Л. Прокопенко**, доцент, канд. техн. наук

Университет новейших технологий, г. Киев

## ПОВЫШЕНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ТЕРРИТОРИЙ С ТЕХНОГЕННООПАСНЫМИ ОБЪЕКТАМИ ЗА СЧЕТ АВТОМАТИЗАЦИИ ГЕОДЕЗИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА

*В статье рассмотрен вариант экологической безопасности техногенноопасных территорий при применении автоматической системы контроля геометрических параметров инженерных объектов в реальном масштабе времени.*

**Ключевые слова:** двойная фотоэлектрическая цепочка, контроль сооружений.

**Актуальность темы исследования.** Разрушения инженерных сооружений или их конструктивных частей в большинстве случаев приводят к потере ценностей или даже к человеческим жертвам. В свою очередь, непосредственное возникновение чрезвычайной ситуации приводит к извлечению из бюджета больших средств на ликвидацию ее последствий. В связи с этим проблема контроля состояния конструкций сооружений и своевременное предупреждение о возникновении опасной ситуации в сооружении является актуальным и обуславливает появление новых способов и систем оперативного автоматического контроля. Именно контроль пространственного положения конструкций с частотой, учитывающей динамику деформаций сооружений, позволяющий прогнозировать аварии, дающий возможность своевременно принять меры по укреплению сооружения, ремонту его элементов играет важную роль в правильной эксплуатации инженерных сооружений.

**Постановка проблемы.** Известно немало случаев значительного и даже полного разрушения покрытий, приводящих к частичному разрушению или полной непригодности инженерного сооружения. За последние годы часто рушатся уникальные сооружения, например, покрытия стадионов (2010 г. – повреждение покрытия футбольного стадиона «Шальке», Германия; 2010 г. – полное разрушение покрытия стадиона в г. Миннеаполисе, США; 2011 г. – повреждение покрытия стадиона в нидерландском городе Энсхед), торговоразвлекательные заведения (2010 г. – обвал покрытия супермаркета Теско в г. Сканторп, Англия; 2006 г. – разрушено покрытие ледового комплекса в г. Бад-Райхенхаль, Бавария, Германия), складские сооружения, аэропорты (2004 г. – разрушено покрытие терминала 2Е аэропорта Шарль де Голль, Париж, Франция). В Украине и России также происходят случаи

разрушения покрытий сооружений. Например, разрушение покрытий развлекательных и торговых центров (2011 г. – обвал покрытия в торговом центре Sky Mall в Киеве, 2010 г. – обвал покрытия продуктового рынка в г. Боярка Киевской области, 2004 г. – обвал покрытия аквапарка «Трансвааль-парк» в Москве, 2011 г. – обвал стеклянного покрытия торгового центра «О'кей» в Санкт-Петербурге).

Именно вследствие конструктивных ошибок, экономии на качественном оборудовании и материалах, бесконтрольного использования сооружений разрушаются сложные инженерные сооружения, их элементы, что приводит к потере ценностей и человеческим жертвам.

Анализ статистических данных по поводу причин крупных промышленных экологических аварий в Европе свидетельствует, что более 85% из них случаются из-за недостатков систем управления безопасностью (СУБ). Предъявление новых требований, касающихся защиты населения и окружающей среды, привело к появлению директивы Совета ЕС 96/82/ЕС от 9 декабря 1996 г. «О предотвращении крупных аварий на объектах, где используются опасные вещества» (Севезо II) [1].

Конечно, украинское законодательство тоже обеспечено некоторыми законами Украины, касающимися экологической и техногенной безопасности. Так, в законе Украины «Об основах национальной безопасности Украины» [2] среди приоритетов национальных интересов Украины наряду с «сохранением и укреплением научно-технологического потенциала, утверждением инновационной модели развития» сосредоточено внимание на «обеспечении техногенно-безопасных условий жизнедеятельности граждан и общества». Однако, как составляющая национальной безопасности Украины экологическая и техногенная безопасность в указанном Законе не выделена в отдельную сферу. На сегодняшний день в украинской законодательной базе отсутствует как Концепция, так и Стратегия обеспечения экологической и техногенной безопасности.

На данное время центральным правовым актом в этой области является Закон Украины «Об объектах повышенной опасности». Появление этого закона является логичным результатом процесса гармонизации украинского законодательства с европейским и прямым влиянием Директивы Севезо II. На данное время Закон Украины «Об объектах повышенной опасности» является украинской копией Директивы Севезо II, а по своему правовому статусу – фактически играет роль Закона «О техногенной безопасности». Но из поля зрения этого закона выпадают другие виды опасных объектов, на которых отсутствуют опасные вещества и на которых, соответственно Постановлению Кабинета Министров Украины «О порядке квалификации чрезвычайных ситуаций» [3], могут произойти следующие ситуации:

- 1) транспортные аварии,
- 2) внезапное разрушение сооружений,
- 3) аварии на электроэнергетических системах,
- 4) аварии на системах жизнеобеспечения;
- 5) аварии систем связи и телекоммуникаций,
- 6) аварии на очистных сооружениях,
- 7) гидродинамические аварии.

Кроме того, для Украины характерно свое типовое распределение чрезвычайных ситуаций экологического характера, которое сохраняется на протяжении длительного периода. На примере данных за 2003 год [4]:

- 1) аварии на транспорте – 31%;
- 2) пожары, взрывы – 39%;
- 3) аварии на системах жизнеобеспечения – 14%;
- 4) внезапное разрушение сооружений – 5%;
- 5) аварии в электроэнергетических системах – 5%;
- 6) присутствие в окружающей среде вредных веществ – 3%;
- 7) аварии с выбросом (угрозой выброса) опасных химических веществ (кроме аварий на транспорте) – 1%;
- 8) аварии с выбросом (угрозой выброса) радиоактивных веществ (кроме аварий на транспорте) – 1%;
- 9) аварии на очистных сооружениях – 1%.

Из статистических данных видно, процент аварий, не связанных с использованием химических веществ, весьма высок. Общая изношенность инженерных сооружений, конструкций, оборудования и инженерных сетей во всех секторах экономики, в случае отсутствия срочных мер, может изменить это распределение также за счет потенциально опасных объектов не «химического» профиля. Существует неприятный прогноз увеличения аварий типа «внезапное разрушение сооружений».

Таким образом, для уменьшения последствий аварий и повышения экологической безопасности необходимо разрабатывать новые методы контроля геометрического состояния сооружений, которые бы позволили проводить автоматизированный мониторинг в реальном масштабе времени.

Различные способы и методы контроля объектов с повышенным уровнем экологической и техногенной опасности, в первую очередь, должны быть направлены на предотвращение или снижение вероятности возникновения экологических и техногенных катастроф.

Одним из важнейших способов контроля экологических и техногенных аварий является мониторинг, т.е. постоянное наблюдение за объектами с повышенной вероятностью возникновения аварий. Задачей мониторинга является сбор данных для точного анализа и прогноза поведения объектов при чрезвычайной ситуации.

В статье предложена система автоматизированного контроля инженерных сооружений с повышенной техногенной и экологической опасностью, таких как гидротехнические комплексы, АЭС, плотины, каналы, шахты, предприятия химической и нефтехимической промышленности, магистральные нефте-газопроводы и др.

**Обзор предыдущих публикаций.** В настоящее время контроль геометрии сложных инженерных сооружений производится как традиционными, так и современными методами и средствами. Классические общеизвестные методы определения деформаций сооружений основаны на геодезических методах [5] (методах высокоточного нивелирования [6], гидро-статического и тригонометрического нивелирования), фотограмметрических методах [7],

методе теодолитного хода [8]. На сегодняшний день наибольшее применение получили современные методы, основанные на использовании современных геодезических приборов. Самый дорогой и самый быстрый способ определения геометрических параметров инженерных сооружений – лазерное сканирование. Более распространенные современные средства для определения деформаций инженерных сооружений – это GPS-приемники, оптико-электронные тахеометры и разнообразные датчики деформаций (волоконно-оптические датчики деформаций, поверхностные наклонометры, струнные тензодатчики, прямой и обратный отвесы) [9, 10, 11].

Общим недостатком традиционных методов определения деформаций является большой объем ручных (визуальных) измерений и настройки приборов, сложность использования этих методов при автоматическом или автоматизированном мониторинге сооружения. А недостаток почти всех современных методов контроля инженерных сооружений – это невозможность получения данных контроля в реальном режиме времени. Исключение составляют роботизированные электронные тахеометры, работающие на конкретном объекте в режиме реального времени. Но недостатком этого способа является то, что один или несколько очень дорогих тахеометров будут задействованы только на одном объекте.

Итак, если обеспечить геодезический контроль пространственного положения конструкций с частотой, учитывающей динамику деформаций сооружений, и прогнозировать аварии, то можно своевременно принять меры по укреплению сооружения, ремонту ее элементов или, на крайний случай, – в момент возникновения и развития недопустимых деформаций – эвакуировать людей, ценные грузы, материалы, оборудование и т.д. В свою очередь, непосредственное возникновение чрезвычайной ситуации приводит к изъятию из бюджета больших средств на ликвидацию ее последствий.

**Постановка задания.** Целью предлагаемого способа является автоматизированный мониторинг экологических и техногенноопасных объектов.

**Методика исследования.** Коротко ознакомимся с методикой построения точного прибора с названием «Двойная фотоэлектрическая цепочка (ДФЭЦ)» для контроля створа [12].

На рис. 1 изображены основные блоки на линейном участке инженерного сооружения [12], где обозначены:

- 1\*, n – приборы ДФЭЦ;
- 5 – блок управления;
- 6 – блок регистрации и обработки информации;
- 7 – блок преобразования информации;
- 8 – блок приема и передачи информации;
- 9 – блок записи и хранения информации.

Лучи света между приборами ДФЭЦ обозначены толстыми линиями со стрелками, показывающими направление лучей света от источников света к приемникам (цифровым камерам). На схеме (рис. 1) отражены две фотоэлектрические цепочки: верхняя и нижняя (приборы 1\*... n-1\*).

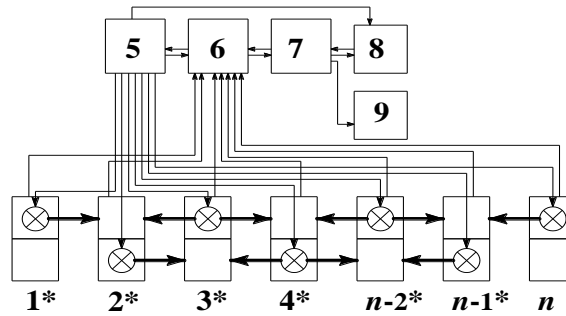


Рис. 1 – Основные электронные блоки системы

Каждое такое устройство, входящее в систему [12], размещено на участке между блоками опорных геодезических знаков-реперов (на рис. 1 это опорные знаки приборов  $1^*$ ,  $2^*$  и  $n-1^*$ ,  $n$ ). Каждый блок  $1^*, n$  установлен на стабильной основе в месте нахождения деформационной марки и жестко соединен с последней. Все блоки идентичны. Строение оптико-электронного прибора точной ДФЭЦ схематически представлено на рис. 2 [13, 18], где обозначено:

- 10 – объективы цифровых фотокамер;
- 11 – фотоприемные матрицы с усилителями;
- 12 – двусторонний источник света;
- 13 – лучи света от источника света 12, идущие в объективы цифровых фотокамер соседних блоков;
- 14 – лучи света, идущие от источника света 12;
- 15 – корпус блока, в котором жестко закреплены все элементы 10, 11, 12.

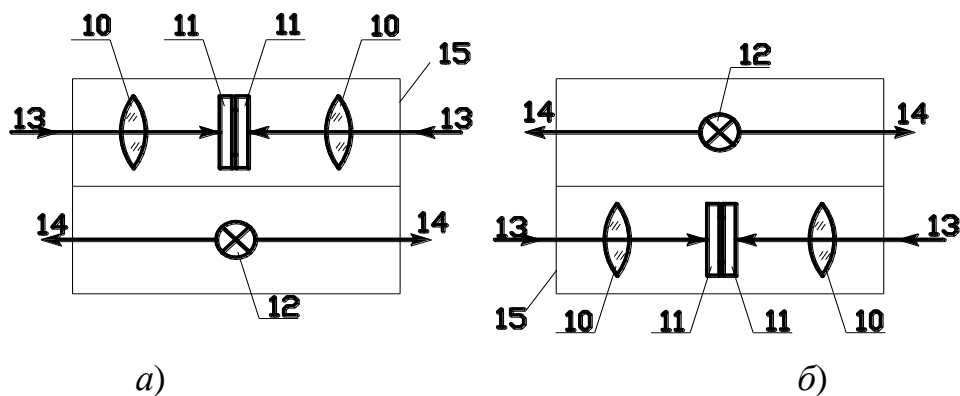


Рис. 2 – Строение прибора точной ДФЭЦ

Приборы  $1 \dots n$  ДФЭЦ жестко установлены своими корпусами 15 на конструкциях инженерного сооружения и, по сути, являются деформационными реперами (марками), при этом соседние приборы чередуются так, как это показано на рис. 2. Геометрическая ось светового потока совпадает или параллельна общей оптической оси системы, и изображение источников света 12, сформированное каждым объективом, будет находиться в определенной точке рабочей мишени соответствующего многоэлементного фотоприемника. Чтобы

измерить величину изменения наклона световых лучей, необходимо измерить величину линейного смещения изображения пучка лучей, сформированного объективом, в рабочей плоскости фотоприемника. При включении системы ДФЭЦ световые потоки от источников света (фильтрующихся диафрагмами в светопроводы) падают на объективы, которые фокусируют изображение источников света на мишенях фотоприемников.

В фотоэлектрических каналах двух фотоэлектрических цепочек с фотоприемников в блок поступают электрические сигналы о величинах отклонений изображений источников света от номинального положения, введенных в память устройства (в блок 9) при первичном включении двойной цепочки.

При горизонтальном размещении оси схемы ДФЭЦ (13, 10, 11, 11, 10, 13) (рис. 2) получаем сумму отсчетов на фотоприемниках (матрицах) 11, которые равны нулю. Очевидно, что при отклонении блока источника света 12 на величину  $\Delta$  световой луч от источника 12 войдет в объектив цифровой фотокамеры блока 10 под углом  $\gamma$  и на фотоприемнике (матрице) 11 будет снят отсчет "-a".

Очевидно, что  $\Delta = -S \cdot \operatorname{tg} \gamma$ , а  $\Delta = -f_1' \cdot \operatorname{tg} \gamma$ . При этом, учитывая малость углов и пренебрегая погрешностями второго и выше порядков, можно записать  $\Delta = \frac{S}{f_1'} a$ . Напомним, что  $a$  – отсчет в пикселях, а  $\Delta$  – отклонение деформационной марки в мм.

Очевидно, что с матрицы  $i$ -го прибора ДФЭЦ будет получен отсчет, равный сумме:  $\varpi_i = -a_{i-1} + 2a_i - a_{i+1}$ , что соответствует сумме отклонений  $+\Delta_{i-1} - 2\Delta_i + 2\Delta_{i+1}$ .

Рассмотрим взаимосвязь отсчетов положения изображений источников света на фотоприемных матрицах приборов ДФЭЦ. В таблице 1 показаны суммы на матрицах приборов ДФЭЦ, содержащих 9 точек, из которых точки 1, 2 и 8, 9 – опорные реперы.

**Таблица 1 – Содержание суммарных отсчетов на матрицах ДФЭЦ**

№ приборов ДФЭЦ Отсчеты $\varpi_i$	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$\varpi_2$	$-a_1$	$+2a_2$	$-a_3$						
$\varpi_3$		$-a_2$	$+2a_3$	$-a_4$					
$\varpi_4$			$-a_3$	$+2a_4$	$-a_5$				
$\varpi_5$				$-a_4$	$+2a_5$	$-a_6$			
$\varpi_6$					$-a_5$	$+2a_6$	$-a_7$		
$\varpi_7$						$-a_6$	$+2a_7$	$-a_8$	
$\varpi_8$							$-a_7$	$+2a_8$	$-a_9$
$\sum \varpi_i$	$-a_1$	$+a_2$						$+a_8$	$-a_9$



Таблиця 2 – Содержание значений отклонений ДФЭЦ, соответствующих отсчетам  $\varpi_i$

№ приборов ДФЭЦ / Отсчеты $\varpi_i$	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$\varpi_2$	$+\Delta_1$	$-2\Delta_2$	$+\Delta_3$						
$\varpi_3$		$+\Delta_2$	$-2\Delta_3$	$+\Delta_4$					
$\varpi_4$			$+\Delta_3$	$-2\Delta_4$	$+\Delta_5$				
$\varpi_5$				$+\Delta_4$	$-2\Delta_5$	$+\Delta_6$			
$\varpi_6$					$+\Delta_5$	$-2\Delta_6$	$+\Delta_7$		
$\varpi_7$						$+\Delta_6$	$-2\Delta_7$	$+\Delta_8$	
$\varpi_8$							$+\Delta_7$	$-2\Delta_8$	$+\Delta_9$
$\sum \varpi_i$	$+\Delta_1$	$-\Delta_2$						$-\Delta_8$	$+\Delta_9$

В таблице 1 обозначено  $\sum \varpi_i = -a_1 + a_2 + a_8 - a_9$ , что соответствует содержанию значений  $\Delta_1, \Delta_2, \Delta_8, \Delta_9$  положения опорных знаков с известными координатами в таблице 2.

Отсчеты на матрице  $\varpi_i$  образованы суммами углов  $\gamma_{i-1}, \dots, \gamma_{i+1}$ , при этом углы  $180^\circ - |\varpi_i|$  в полигонометрическом ходе на рис. 3 – это правые углы, а  $180^\circ + |\varpi_i|$  – левые углы.

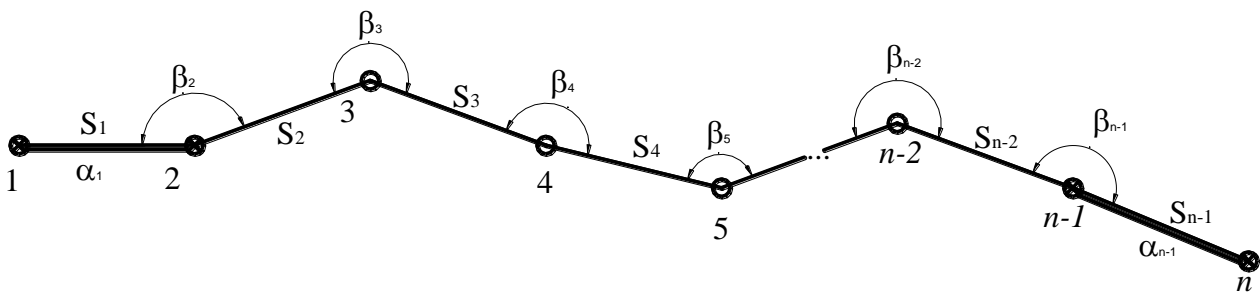


Рис. 3 – Схема разомкнутого хода полигонометрии, опирающегося на два базиса

1, 2, ..., n – пункты хода полигонометрии;

1–2 і n–1 – n – базисы;

$S_1 \dots S_n$  – стороны хода полигонометрии;

$\beta_2, \beta_3, \dots, \beta_{n-1}$  – углы, измеряемые между направлениями сторон хода;

$\alpha_1$  і  $\alpha_{n-1}$  – исходные дирекционные углы.

Суть метода высокоточной ДФЭЦ для контроля створа. Представим схематически фрагмент высокоточной ДФЭЦ для контроля створа инженерных конструкций (рис. 4). Высокоточная ДФЭЦ состоит из двух створных линий, параллельных друг другу [14].

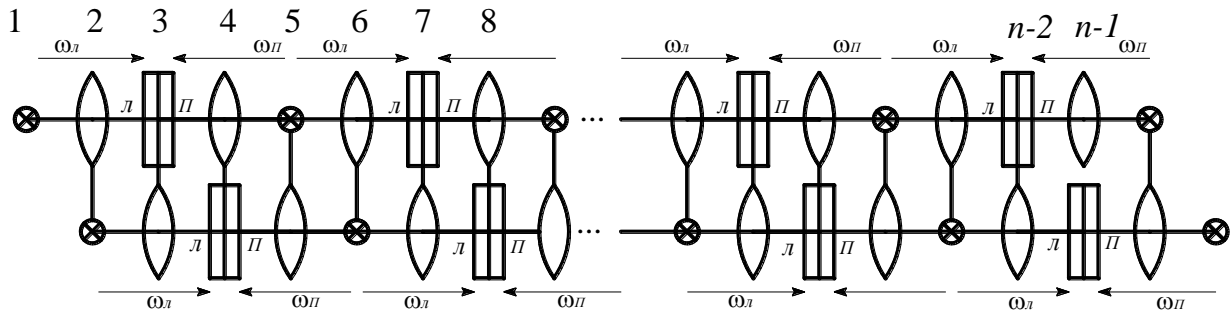


Рис. 4 – Схема фрагмента высокоточной ДФЭЦ для контроля створа

На рис. 4 обозначены:

- 1 – источник света;
- 2 – объектив цифровой камеры верхней линии ДФЭЦ, которая соединена с источником света нижней линии;
- 3 – фотоприемник (двойная матрица) и объектив цифровой камеры;
- 4 – объектив цифровой камеры и фотоприемник (двойная матрица);
- 5 – источник света и объектив цифровой камеры;
- 6 – как позиция 2, т.е. объектив цифровой камеры и источник света;
- 7 – как позиция 3;
- 8 – как позиция 4;
- $n-1$  – как позиция 3 или 7;
- $n$  – как позиция 4 или 8 [14].

Перечисленные блоки 1... $n$  – это жестко соединенные в едином корпусе элементы приборов ДФЭЦ. Отличия от варианта точной сети ДФЭЦ следующие:

- чередование элементов (объектив, источник света, двойная матрица) друг с другом и по расположению в верхней и нижней линиях;
- как видно из рис. 4, образованные элементами цифровые камеры имеют большие фокусные расстояния – до единиц метров, за счет чего существенно повышается точность измерений.

На рис. 4 показан принцип работы высокоточной ДФЭЦ, который заключается в следующем: световой луч от источника света 1 проходит через объектив 2 и попадает на фотоприемную двойную матрицу 3л, с которой снимается отсчет  $\varpi_{3л}$ , (направление такого светового луча – слева направо – обозначим условно л). Направление стрелки справа налево (обозначим условно П) – световой луч от источника света 5 проходит через объектив 4 и попадает на фотоприемную двойную матрицу 3П, с которой снимается отсчет  $\varpi_{3П}$ . Аналогично работает вся цепочка.

Составим таблицу 3 для отсчетов  $\varpi'_i$  на левых и правых фотоприемных матрицах приборов ДФЭЦ, изображенных на рис. 4, что состоит из 10 деформационных марок.

Анализ данных таблицы 3 позволяет сделать следующие выводы:

1. В общем случае отклонения световых лучей источников света для каждой левой и правой фотоприемных матриц приборов ДФЭЦ будут следствием суммы отклонений деформационных марок в каждом канале «источник света – объектив цифровой камеры – фотоприемная матрица (левая или правая)»

2. Очевидно, что отсчет по каждой из фотоприемных матриц будет содержать величины  $a_i$ , соответствующие отклонениям  $\Delta_i$ :

$$\varpi'_{II} = -a_{i-2} + 2a_{i-1} - a_i,$$

$$\varpi'_{III} = -a_i + 2a_{i+1} - a_{i+2}.$$

3. Также очевидно, что отсчет по каждой из фотоприемных матриц соответствует сумме отсчетов по двойным фотоприемным матрицам в точной системе ДФЭЦ (табл. 3) и несет информацию про угол при вершине полигонометрических ходов.

Таблица 3 – Содержание измеренных значений отсчетов  $\varpi'_i$  для высокоточной ДФЭЦ (рис. 4)

№ приборов ДФЭЦ Отсчеты $\varpi'_i$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$\varpi'_2$	$-a_1$	$+2a_2$	$-a_3$							
$\varpi'_4$			$-a_3$	$+2a_4$	$-a_5$					
$\varpi'_3$		$-a_2$	$+2a_3$	$-a_4$						
$\varpi'_5$				$-a_4$	$+2a_5$	$-a_6$				
$\varpi'_6$					$-a_5$	$+2a_6$	$-a_7$			
$\varpi'_8$							$-a_7$	$+2a_8$	$-a_9$	
$\varpi'_7$						$-a_6$	$+2a_7$	$-a_8$		
$\varpi'_9$								$-a_8$	$+2a_9$	$-a_{10}$
$\sum \varpi'_i$	$-a_1$	$+a_2$							$+a_9$	$-a_{10}$

В таблице 3 обозначено:

$\varpi'_i$  – отсчеты на матрицах приборов ДФЭЦ;

$a_i$  – составляющие отсчетов  $\varpi'_i$  на матрицах приборов ДФЭЦ.

Таблиця 4 – Значения отсчетов на матрицах, которые соответствуют величинам суммарных отклонений  $\Delta_i$  в ДФЭЦ

№ приборов ДФЭЦ Отклонение $\varpi_i$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$\varpi'_2$	$+\Delta_1$	$-2\Delta_2$	$+\Delta_3$							
$\varpi'_4$			$+\Delta_3$	$-2\Delta_4$	$+\Delta_5$					
$\varpi'_3$		$+\Delta_2$	$-2\Delta_3$	$+\Delta_4$						
$\varpi'_5$				$+\Delta_4$	$-2\Delta_5$	$+\Delta_6$				
$\varpi'_6$					$+\Delta_5$	$-2\Delta_6$	$+\Delta_7$			
$\varpi'_8$							$+\Delta_7$	$-2\Delta_8$	$+\Delta_9$	
$\varpi'_7$						$+\Delta_6$	$-2\Delta_7$	$+\Delta_8$		
$\varpi'_9$								$+\Delta_8$	$-2\Delta_9$	$+\Delta_{10}$
$\sum \varpi'_i$	$+\Delta_1$	$-\Delta_2$							$-\Delta_9$	$+\Delta_{10}$

В таблице 4 обозначено:

$\Delta_i$  – отклонения деформационных марок в приборах ДФЭЦ.

Конечно, сумма отклонений  $\sum_{i=3}^{n-2} \varpi'_i$  определит невязку, которую обозначим как  $f_H$ . Невязка  $f_H$  распределяется между значениями отклонений пунктов 3, 4, ...,  $n-2$  по высоте согласно классическим методам геодезии [15, 16]. Также необходимо отметить, что каждое значение отклонений  $\Delta_i$  на пунктах 3, 4, ...,  $n-2$  будет содержать случайную погрешность  $\sigma_{\Delta}$ .

Если выполнить сравнение таблиц определения отклонений точной ДФЭЦ (табл. 2) и высокоточной ДФЭЦ (табл. 4), то можно обратить внимание, что сумма отклонений  $\varpi_i$  из таблицы 2 по двум матрицам равна сумме отклонений по каждой из двух матриц (левой и правой) из таблицы 4.

Таким образом, из таблицы 3 следует, что сумма отсчетов в ДФЭЦ будет равна

$$\sum \varpi'_i = -a_1 + a_2 + a_9 - a_{10},$$

а из таблицы 4 следует, что сумма отклонений будет равна

$$+\Delta_1 - \Delta_2 - \Delta_9 + \Delta_{10},$$

где значения  $\Delta_1, \Delta_2, \Delta_9, \Delta_{10}$  – известные координаты опорных геодезических знаков, а величины отклонений  $\Delta_3 \dots \Delta_8$  ( $\Delta_8 = \Delta_{n-2}$ ) – значения отклонений от номинальных для блоков 3, ..., 8 ( $8 = n - 2$ ) [14].

Аналогично варианту точной ДФЭЦ, суммы отсчетов по двум матрицам каждого прибора ДФЭЦ являются результатом измерения углов при вершинах хода. При равных расстояниях  $S_1 = S_2 = \dots = S$  из выражения для вытянутого хода полигонометрии, опирающегося на базисы 1–2 і  $n-1 - n$  (рис. 3), получим координаты других точек по классическим формулам геодезии [17].

**Выводы.** Методика высокоточной ДФЭЦ позволяет осуществлять контроль пространственного геометрического положения элементов сложных инженерных сооружений во время эксплуатации, позволяет предсказать критические линейные и угловые медленные изменения положения сооружения и предупредить о приближении повреждения в реальном масштабе времени с точным обозначением определенного участка для оперативного реагирования, в итоге обеспечивает экологическую и техногенную безопасность сложных инженерных сооружений. Методика исключает дорогие и ручные (визуальные) геодезические измерения.

### **Список использованной литературы**

1. Council Directive 82/501/EEC (Seveso I) of 24 June 1982 on major accident hazards of certain industrial activities.
2. Закон України від 19 червня 2003 року № 964-IV «Про основи національної безпеки України».
3. Постанова Кабінету Міністрів України від 15 липня 1998 року № 1099 «Про порядок класифікації надзвичайних ситуацій».
4. Національна доповідь про стан техногенної та природної безпеки в Україні у 2003 році.
5. Левчук Г.П., Новак В.Е., Конусов В.Г. Прикладная геодезия. Основные методы и принципы инженерно-геодезических работ. М.: Недра, 1980.
6. Сундаков Я.А. Геодезические работы при возведении крупных промышленных и высотных зданий. М.: Недра, 1980.
7. Лобанов А.Н. Фотограмметрия. М. Недра, 1984.
8. Климов О.Д., Калугин В.В., Писаренко В.К. Практикум по прикладной геодезии. Изыскания, проектирование и возведение инженерных сооружений. – М.: Недра. 1991.
9. Малік Т.М., Нерус О.В. Сучасні методи контролю деформацій інженерних споруд. Матеріали науково-практичної конференції. Наукові аспекти геодезії, землеустрою та інформаційних технологій: Коледж інформаційних технологій та землевпорядкування Національного авіаційного університету, Інститут землевпорядкування та інформаційних технологій при Національному авіаційному університеті. К. НАУ, 2011. – 176 с.
10. Боровий В.О., Борисюк Л.В., Бурачек В.Г. Автоматизація геодезичних вимірювань. Під ред. Борового В.О. – Чернігів, КП «Видавництво – Чернігівські обереги», 2004. – 368 с.

11. Савиных В.П., Ивандиков Я.М., Майоров А.А., Зацаринный А.В., Герасимов И.М., под ред. Савиных В.П. Теория и практика автоматизации высокоточных измерений в прикладной геодезии. – М.: Академический Проект; Альма Матер, 2009. – 394 с.

12. Боровий В.О., Буравльов Є.П., Бурачек В.Г., Крисенко М.В. Система контролю просторового положення елементів конструкцій магістральних нафтогазопроводів. Патент України на винахід № 84605 від 10.11.2008. Бюл. № 21. – 2008.

13. Боровий В.О., Бурачек В.Г., Крисенко М.В., Рябчій В.В., Шульц Р.В. Пристрій для контролю положення елементів інженерної споруди. Патент України на винахід № 82247, 25.03.2008 р. Бюл. № 6. – 2008.

14. Малік Т.М. Методика побудови високоточного подвійного фотоелектричного ланцюга (ПФЕЛ) для контролю створу. / Малік Т.М. / Збірник наукових праць VIII міжнародної науково-практичної конференції «Новітні досягнення геодезії, геоінформатики та землевпорядкування – Європейський досвід» – ISBN 978-966-502-516-0. Чернігів ЧДІЕіУ. – 2012, № 8. – С. 56–63.

15. Большаков В.Д., Левчук Г.П., Новак В.Е. Справочное руководство по инженерно-геодезическим работам. М.: Недра, 1980.– 781 с.

16. Ключин Е.Б., Киселев М.И., Михеев Д.Ш., Фельдман В.Д. Инженерная геодезия, под ред. Д.Ш. Михеева. Учеб. для вузов. – 3-е изд. испр. – М.: Высш. шк., 2002. – 464 с.

17. Куштин И.Ф. Уравнивание геодезических построений: Учебное пособие. – Ростов н/д: Рост. гос. строит. ун-т, 1999.– 136 с.

18. Бурачек В.Г., Олінович А.С., Кривоберець С.В. Інноваційні підходи режимного експрес-аналізу до системи контролю зсувних масивів / Екологічна безпека та природокористування, збірник наукових праць, № 11 Київ-2012, С. 77–87.

*Стаття надійшла до редакції 23.01.14 російською мовою*

**© В.Г. Бурачек, Т.М. Малік, А.С. Олінович, А.Л. Прокопенко  
ПІДВИЩЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ ТЕРИТОРІЙ З ТЕХНОГЕННО  
НЕБЕЗПЕЧНИМИ ОБ'ЄКТАМИ ЗА РАХУНОК АВТОМАТИЗАЦІЇ  
ГЕОДЕЗИЧНОГО МОНІТОРИНГУ**

*У статті розглянуто варіант екологічної безпеки техногеннонебезпечних територій при застосуванні автоматичної системи контролю геометричних параметрів інженерних об'єктів в реальному масштабі часу.*

**© V.G. Burachek, T.M. Malik, A.S. Olinovich, A.L. Prokopenko  
ENVIRONMENTAL SAFETY INCREASING OF AREAS WITH MAN-TRIGGERED AND  
DANGEROUS OBJECTS THROUGH AUTOMATION GEODETIC MONITORING**

*The article describes the ecological safety of man-triggered and dangerous areas when applying automatic control system of geometric parameters of engineering objects in real time.*

УДК 504.064:528.8

© Н.А. Новохацька, наук. співробітник;  
О.М. Трофимчук, д-р техн. наук, проф., чл.-кор. НАН України

Інститут телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України, м. Київ

## ТЕХНОЛОГІЯ ІНВЕНТАРИЗАЦІЇ МІСЦЬ ВИДАЛЕННЯ ВІДХОДІВ МЕТОДАМИ ДИСТАНЦІЙНОГО ЗОНДУВАННЯ ЗЕМЛІ

*У статті пропонується технологія інвентаризації місць видалення відходів методами дистанційного зондування Землі для створення єдиної бази даних та реєстру сміттєзвалищ, що значно підвищить рівень екологічної безпеки на регіональному і державному рівні та дасть можливість розробити комплекс заходів щодо зменшення впливу на довкілля твердих побутових відходів.*

**Ключові слова:** тверді побутові відходи, місця видалення відходів, державний облік, база даних, методи дистанційного зондування Землі, космічні знімки.

**Вступ.** Протягом останнього десятиріччя в Україні продовжує відбуватися прогресуюче накопичення відходів як у промисловому, так і в побутовому секторах. У містах і селищах міського типу України щорічно утворюється понад 50 млн м<sup>3</sup> твердих побутових відходів (ТПВ). Зазвичай відходи акумулюють у місцях видалення відходів (МВВ), а також на стихійних звалищах малої місткості. Розміщення сміття на сьогоднішній день залишається актуальним, сміттєзвалища перенасичені відходами, а нові не відкриваються у зв'язку з відсутністю фінансування, тому на території області утворюється велика кількість несанкціонованих малих стихійних звалищ, які не піддаються достовірному обліку. Вони, як правило, знаходяться в ярах та балках, у лісосмугах, на околицях населених пунктів тощо. Продукти вивітрювання й горіння видалених відходів забруднюють прилеглі землі. Продукти деградації складових відходів забруднюють підземні води, особливо першого водоносного горизонту. Ступінь цього забруднення на більшості звалищ не контролюється системами моніторингу.

Об'єкти, що шкідливо впливають або можуть вплинути на стан довкілля, види та кількість шкідливих речовин, які потрапляють у навколишнє природне середовище, види й розміри шкідливих фізичних впливів на нього підлягають державному обліку (Закон України «Про охорону навколишнього природного середовища», стаття 24). Включенню до реєстру і, відповідно, – паспортизації підлягають усі місця видалення відходів (ті, що функціонують, закриті, законсервовані, постійні, тимчасові тощо).

Відповідно до закону України “Про відходи” оцінку потенційної екологічної небезпеки МВВ України необхідно проводити на підставі всього комплексу наявної інформації, включаючи вихідні дані проектів, матеріали виробничої паспортизації відходів, дані інвентаризаційних карток (якщо вони є) і відомостей прибутково-видаткових документів, дані моніторингу та спеціальних робіт, відомості спеціально уповноважених органів видавничої влади у сфері поводження з відходами, матеріали постійно діючих комісій з питань поводження з безхазяйними відходами при місцевих державних адміністраціях та органах місцевого самоврядування. Також сюди відносяться дані про обсяги накопичення відходів та клас їхньої небезпеки для людини, про наявність в районі розміщення МВВ забруднення вод, ґрунтів, атмосферного повітря та його рівень, про рівень природних та штучних засобів відвертання забруднення навколишнього природного середовища (водотривкі шари порід, ізоляційні екрани тощо), про наявність та рівень моніторингу вод, ґрунтів, атмосферного повітря в районі МВВ, про особливості розташування МВВ, про рівень дотримання вимог експлуатації МВВ тощо.

Законодавство України про відходи також визначає основні принципи діяльності суб'єктів у сфері поводження з відходами, в тому числі обов'язки власників відходів щодо запобігання та відвернення їх негативного впливу на навколишнє природне середовище та здоров'я людини на території України [1].

Проте існують ситуації, коли виявлені відходи не мають власника або їх власник відсутній. Такі відходи вважаються безхазяйними. Поняття, порядок виявлення, обліку та управління безхазяйними відходами визначено у Законі України “Про відходи” від 05.03.1998 р. (ст. 12), «Порядку виявлення та обліку безхазяйних відходів», затвердженому постановою КМУ від 03.08.1998 р. за № 1217. Власники і користувачі земельних ділянок, згідно з чинним законодавством зобов'язані повідомляти відповідні органи місцевої виконавчої влади чи місцевого самоврядування про безхазяйні відходи, які виявлені на земельних ділянках, що перебувають у їх власності або користуванні [2]. Підставами для здійснення процедури визначення відходів також можуть бути: заяви (повідомлення) громадян, підприємств, установ, організацій, засобів масової інформації, результати штатних інспекційних перевірок органів Міністерства екології та природних ресурсів України, санітарно-епідеміологічної служби, органів місцевого самоврядування [3]. Обов'язок ведення обліку безхазяйних відходів покладено на місцеві органи виконавчої влади та органи місцевого самоврядування, які також несуть відповідальність за додержання умов поводження з ними і запобігання негативного впливу на довкілля та здоров'я людей.

Отже, наземний контроль та моніторинг сміттєзвалищ потребує величезних фінансових, часових та людських затрат, а іноді не можливий. Саме тому немає реальної та єдиної бази даних в галузі поводження з ТПВ, важко оцінити складність проблеми, що постала перед державою, та неможливо розробити комплекс заходів щодо зменшення впливу на довкілля ТПВ.

На сьогодні для моніторингу об'єктів, що негативно впливають на довкілля та здоров'я людей, частіше та ширше використовують методи дистанційного зондування Землі (ДЗЗ).



Велика кількість робіт як в Україні, так і закордоном присвячена розгляду питань космічного моніторингу, результати яких дозволяють стверджувати про можливість застосування методів ДЗЗ для дослідження об'єктів накопичення відходів.

**Постановка завдання.** Космічні знімки у поєднанні із наземними методами моніторингу, а також з іншими джерелами інформації (електронні карти, цифрові моделі рельєфу) дають можливість оперативного виявлення, картографування та моніторингу звалищ. Як відомо, у поєднанні з методами ДЗЗ з успіхом використовують засоби геоінформаційних систем (ГІС), що дає можливість синтезувати картографічні моделі просторового розподілу МВВ [4].

Метою даного дослідження є розробка інформаційної технології інвентаризації МВВ, основаної на методах ДЗЗ, для створення єдиної бази даних та реєстру сміттєзвалищ. Це значно підвищить рівень екологічної безпеки на регіональному та державному рівні та дасть можливість розробити комплекс заходів щодо зменшення впливу на довкілля ТПВ.

**Методика проведення досліджень.** Методика виявлення, картографування та моніторингу звалищ включає в себе підбір космічних знімків з необхідними часовими та технічними характеристиками, їх дешифрування з метою виявлення сміттєзвалищ та загрузку результатів в ГІС.

Для успішного виконання зазначених цілей потрібно підібрати космічні знімки надвисокого просторового розрізнення (0,5–1 м), а саме QuickBird, WorldView, GeoEye, Pleiades, Ikonos та інші. Ці знімки дозволяють дешифрувати звалища, проводити вимірювання площі та ін. Зазвичай дешифрування проводять двома основними методами: візуальне і автоматизоване дешифрування. При цьому використовують дешифрувальні ознаки, які поділяються на прямі та непрямі. Прямі дешифрувальні ознаки характеризують властивості об'єкта, що знаходять безпосереднє відображення на знімках. До них відносяться такі ознаки, як геометричні (форма, тінь, розмір), яскравісні (фототон, рівень яскравості, колір, спектральний образ), структурні (текстура, структура). До геометричних відносяться ознаки, пов'язані з розмірами і формою об'єктів на місцевості. Форма є найбільш надійною ознакою, тому що слабо залежить від умов зйомки. До того ж око людини найбільш впевнено розпізнає саме форму об'єктів. Оскільки спектральна яскравість часто залежить від впливу зовнішніх факторів, то при дешифруванні космічних знімків і пошуку змін на місцевості необхідно застосовувати на додачу до алгоритмів, що засновані на перетворенні спектральної яскравості, алгоритми, що використовують структурні ознаки [5].

Так, для звалищ ТПВ характерна неправильна форма, витягування вздовж лінійних об'єктів (автодоріг, ж/д колій, ярів, балок і т. д.) Матеріали та предмети, з яких складаються ТПВ на звалищі, мають високий коефіцієнт відображення, що різко підвищує яскравість на космічних знімках; це такі відтінки, як червоний, білий, світло-жовтий, світло-голубий, синій та ін. Також дуже важлива ознака – дрібнозерниста текстура, що утворюється за рахунок нерівностей поверхні звалища. При дешифруванні космічних знімків використовують інформацію про можливе знаходження звалищ поблизу антропогенних та природних об'єктів.

Виявлення та розпізнавання сміттєзвалищ пропонується проводити у два етапи: виділення об'єкту на зображенні та розпізнавання його класу (рис. 1). На етапі виділення об'єкта необхідно мати карту місцевості в якості апріорної інформації, яку просторово поєднують із зображенням дистанційного зондування, потім формують вектор ознак для кожного пікселя на зображенні, класифікують його і виділяють об'єкт на цьому зображенні. На етапі розпізнавання класу об'єкта формують вектор ознак для кожного об'єкта та безпосередньо розпізнають клас об'єкта на зображенні. При виконанні останнього етапу необхідно врахувати апріорну інформацію (цифрова карта місцевості) та характерні значення ознак, що містяться в базі даних еталонних об'єктів [6]. База даних еталонних об'єктів створюється попередньо з тих полігонів МВВ, які паспортизовані та мають систему моніторингу.

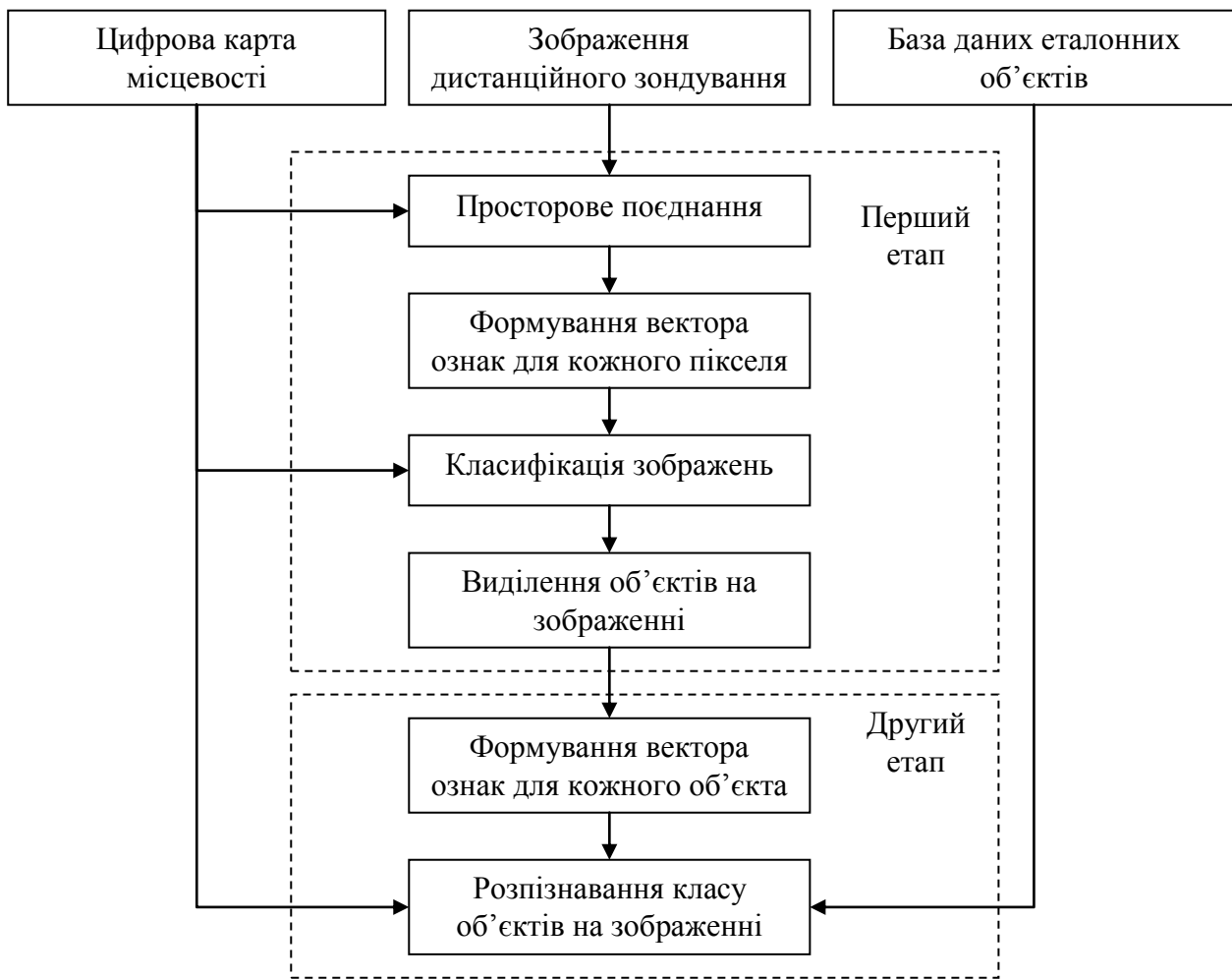


Рис. 1 – Схема виявлення та розпізнавання сміттєзвалищ

**Результати дослідження.** Авторами проводилось дослідження на прикладі Київської області, де станом на 01.01.2013 налічується 30 полігонів для ТПВ загальною площею 255,56 га. Найбільшим за площею в області є полігон ТПВ (15 га), розташований на землях Києво-Святошинського району Київської області на відстані 1,8 км від с. Тарасівка і 1,6 км від с. Крюківщина (рис. 2), саме цей полігон ТПВ був обраним еталонним об'єктом при

дослідженні. Зазначений полігон розташовано в яру біля автодороги, що з'єднує с. Тарасівку і с. Крюківщину і є основним сполученням з м. Київ, що характеризує полігон як дуже зручний та доступний для транспортування сміття. Одним із особливостей полігону є розташування поблизу (1 км) ставку, який має рибогосподарське та рекреаційне значення для населення прилеглих населених пунктів, а постійний дренажний стік утворює невелику річку Сіверку. Таке розташування сміттєзвалища дає підстави стверджувати про наявний постійний і значний вплив на навколишнє природне середовище та здоров'я населення і необхідність детального і систематичного моніторингу стану довкілля поблизу цього потенційно небезпечного об'єкта.



*Рис. 2 – Космознімок та фото полігону ТПВ с. Тарасівка, Києво-Святошинський р-н, Київська обл.*

При дешифруванні космічних знімків, підібраних на територію Київської області, використовували інформацію про можливе знаходження звалищ поблизу антропогенних та природних об'єктів, що дозволило нам виявити та розпізнати несанкціоновані стихійні сміттєзвалища, деякі з яких представлені на рис. 3.



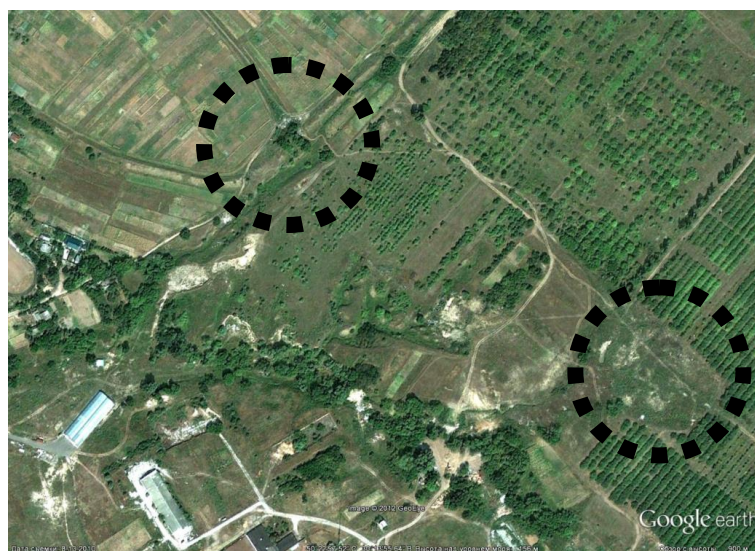
*Рис. 3 – Виявлені несанкціоновані стихійні сміттєзвалища на території Київської обл.*

## **Екологічна безпека та природокористування**

З метою встановлення фактів скорочення або збільшення площі звалища та для контролю виконання заходів з їх рекультивації є доцільним порівнювати різночасові знімки на одну і ту ж саму територію, що гарантує безпомилковий та з незначними витратами моніторинг досліджуваної території (рис. 4 та рис. 5). Нами було порівняно знімки виявленого стихійного сміттєзвалища ТПВ в с. Білогородка, Києво-Святошинського р-на, Київської обл. за 2005 та 2010 роки, на яких видно зміни розміщення сміттєзвалища.



*а) 2005 рік*



*б) 2010 рік*

*Рис. 4 – Виявлення змін розміщення сміттєзвалища на космічних знімках.  
Космознімки с. Білогородка, Києво-Святошинський р-н, Київська обл.: а) 2005 рік; б) 2010 рік*



а) 2005 рік



б) 2008 рік



в) 2010 рік

Рис. 5 – Динаміка заповнення полігону ТПВ. Космознімки полігону ТПВ с. Тарасівка, Києво-Святошинський р-н, Київська обл.: а) 2005 рік; б) 2008 рік; в) 2010 рік

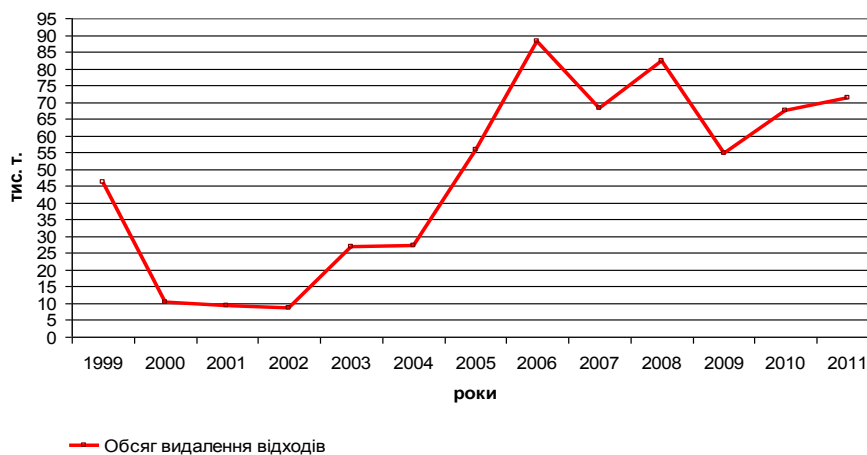
В ході проведення роботи було відібрано також космічні знімки території досліджуваного нами полігону ТПВ біля с. Тарасівка за 2005, 2008 та 2010 роки, за якими проаналізовано динаміку заповнення полігону ТПВ, зміну площі, стан полігона та відповідність фактичних границь полігона дозвільній документації. Для аналізу динаміки накопичення відходів на полігоні було використаний додатковий матеріал, а саме дані паспорту цього полігону (табл. 1).

Протягом усього періоду діяльності полігону накопичення відходів повільно зростає, але з 2005 р. почалося більш різке їх накопичення (рис. б), що призводить до використання більшої площі для складування та частішої зміни відпрацьованих секцій.

*Таблиця 1 – Обсяг видалення відходів полігону ТПВ*

Обсяг видалення відходів, тис. т		
Роки	За попередній рік	Обсяг накопичення видалених відходів
1999	46,128	
2000	10,318	259,528
2001	9,262	269,846
2002	8,734	279,108
2003	26,882	287,842
2004	27,114	314,274
2005	55,89	341,838
2006	88,222	397,728
2007	68,126	485,951
2008	82,195	554,078
2009	54,567	636,273
2010	67,599	690,841
2011	71,293	758,44
2012		829,732

**Обсяг видалення відходів**



**Обсяг накопичення відходів**



*Рис. 6 – Графік обсягів видалення та накопичення відходів*

Отже, інформація, отримана дистанційно за космічними знімками, підтверджується офіційними звітними даними розподілу за часом обсягу видалення та накопичення відходів на полігоні. Отримані дані дають можливість контролю за станом полігону в майбутньому, так як полігон відносно молодий і його заповнення буде продовжуватись (проектна потужність полігону 1 650 000 т).

Для роботи з космічними знімками було залучено засоби програмного комплексу ERDAS IMAGINE, який дає можливість реалізувати широкий спектр функцій їх обробки, візуалізації, аналізу та використовувати географічну інформацію. Вся наявна інформація була інтерпретована в ГІС, де сформована база даних та електронний реєстр сміттєзвалищ для Київської області.

**Висновки.** Розроблена інформаційна технологія інвентаризації сміттєзвалищ, використовуючи методи ДЗЗ для створення єдиної бази даних та реєстру сміттєзвалищ, дозволяє виявляти та розпізнавати несанкціоновані стихійні сміттєзвалища, оперативно отримувати достовірну інформацію про поточний стан досліджуваної території та проводити своєчасний контроль і прогнозувати розвиток негативних явищ і процесів, що значно підвищує рівень екологічної безпеки на регіональному та державному рівні і надає можливість розробки комплексу заходів щодо зменшення впливу на довкілля ТПВ.

#### **Список використаної літератури**

1. Закон України «Про охорону навколишнього природного середовища» від 06.06.95 р. № 214/95.
2. Закон України «Про відходи» від 05.03.1998 р.
3. Постанова КМУ «Порядок виявлення та обліку безхазяйних відходів» від 03.08.1998 р. № 1217.
4. Космічний моніторинг забруднення земель техногенним пилом / Л.Д. Греков, Г.Я. Красовський, О.М. Трофимчук. – К.: Наук. думка, 2007. – 123 с.
5. Гнатушенко В.В. Використання знімків надвисокого просторового розрізнення при моніторингу змін об'єктів земної поверхні / В.В. Гнатушенко // Геометричне та комп'ютерне моделювання. – Х., 2010. – Вип. 26. – С. 14–19.
6. Орешкина Л. В. Обнаружение и распознавание класса объектов на многозональных изображениях дистанционного зондирования // Информатика. – М., 2005. – № 2. – С. 79–85.

*Стаття надійшла до редакції 24.01.14 українською мовою*

**© Н.А. Новохацкая, А.Н. Трофимчук**

#### **ТЕХНОЛОГИЯ ИНВЕНТАРИЗАЦИИ МЕСТ СКЛАДИРОВАНИЯ ОТХОДОВ МЕТОДАМИ ДЗЗ**

*В статье предлагается технология инвентаризации мест накопления отходов методами дистанционного зондирования Земли для создания единой базы данных и реестра свалок, что значительно повысит уровень экологической безопасности на региональном*

*и государственном уровне и позволит разработать комплекс мероприятий по уменьшению воздействия на окружающую среду твердых бытовых отходов.*

**© N.A. Novokhatska, A.N. Trofimchyk  
TECHNOLOGY INVENTORY WASTE DEPOSITS  
METHODS OF REMOTE SENSING**

*In the article the technology inventory of waste accumulation methods of remote sensing to create a single database and registry dumps, which will significantly increase the level of environmental security at the regional and national level and will develop a set of measures to reduce the environmental impact of municipal solid waste.*



УДК: 528.88+551.502.6:(528.837:629.783):551.588.74](100)

© М.В. Ваколюк, провідний інженер відділу

ДУ «Науковий Центр аерокосмічних досліджень Землі ІГН НАН України»

## **ВИМІРЮВАННЯ КОНЦЕНТРАЦІЇ CO<sub>2</sub> В АТМОСФЕРІ СУПУТНИКОМ GOSAT ТА ДОСЛІДНИМИ ВЕЖАМИ**

*У статті відображено аналіз результатів вимірів концентрацій CO<sub>2</sub> в атмосфері, отриманих за допомогою дослідних веж, розташованих в різних країнах світу, та вимірів, здійснених супутником GOSAT (Ibuki). Результати вимірів показують річне коливання рівня концентрації CO<sub>2</sub> в атмосфері та її зростання протягом дослідних періодів. Як приклад розглянуто виміри на територію розміщення станції Хеджхатсол (Угорицина). Отримана порівняльна оцінка вимірів парникового газу, здійснених на даній станції моніторингу за допомогою супутника GOSAT (Ibuki) та дослідної вежі для періоду з січня по вересень 2009 року.*

**Ключові слова:** концентрація CO<sub>2</sub> в атмосфері, GOSAT, FLUXNET, Hegyhatsal.

### **Вступ**

Величина концентрації CO<sub>2</sub> в атмосфері, як одного з чинників кліматичних змін на Землі, вимагає постійного і максимально точного контролю. Кліматичні прогнози, дослідження рослинного покриву, програми розвитку сільського господарства, адаптаційні заходи потребують включення до своїх моделей величини концентрації CO<sub>2</sub> в атмосфері. Парниковий газ CO<sub>2</sub>, як «серцевина» Кіотського протоколу, привертає багатьох науковців світу до його дослідження та вивчення. Відкритим є питання вимірів його концентрації в повітряних масах.

Одним із джерел інформації про вміст величини CO<sub>2</sub> в атмосферному повітрі в різних країнах Землі є наземні виміри, здійснені в межах проекту FLUXNET. Доповненням до наземних вимірів величини концентрації CO<sub>2</sub> в атмосферному повітрі, можуть виступати усереднені стовбцеві виміри молярних фракцій CO<sub>2</sub> (mole fractions), здійснені спектрометром SCIAMACHY космічного супутника Європейського космічного агентства ENVISAT та сенсором TANSO-FTS супутника GOSAT (Ibuki) Японського космічного агентства.

Враховуючи те, що сьогодні супутник GOSAT (Greenhouse Gases Observing SATellite) є єдиним космічним апаратом, що здійснює виміри стовбцевої концентрації CO<sub>2</sub>, а також те, що у 2017 році планується продовження його місії супутником GOSAT-2, доцільно вивчати та порівнювати його можливості та результати вимірів з іншими методами.

## **Виміри CO<sub>2</sub> в межах проекту FLUXNET**

Для здійснення вимірів концентрацій CO<sub>2</sub> в атмосфері та дослідження екосистем різних територій Землі був розпочатий проект FLUXNET, що являє собою глобальну мережу регіональних мереж мікрометеорологічних наземних станцій, які здійснюють виміри потоків атмосферних величин, використовуючи метод мікрохвильових пульсацій, для оцінки обміну потоків CO<sub>2</sub> між атмосферою та рослинним покривом [1, 2].

У проект FLUXNET входять підпроекти, які розподіляються за територією дослідження. Зокрема, виділяють проекти, що розташовані на території Африки – КарбоАфрика (CarboAfrica); Європи – КарбоЄвропа-кластер, КарбоЄвропа IP (CarboEurope-cluster, CarboEurope IP); Канади – Флакнет-Канада (Fluxnet-Canada); дослідження на території Північної Америки, Центральної Америки та Південної Америки об'єднує проект АмериФлак (AmeriFlux); дослідження на території Китаю, Кореї, Таїланду, Японії та інших країн Азії об'єднує проект АзіяФлак (AsiaFlux); дослідження системи земного вуглецю на території Сибіру – TCOSS (Terrestrial Carbon Observatio System Siberia); дослідження на території Австралії та Нової Зеландії об'єднує проект ОзФлак (OzFlux).

Вищезазначені проекти спрямовані на кількісний аналіз, оцінку та прогнозування циклу вуглецю та газів; вимір потоків вуглецю, водяної пари, енергії для різних типів наземних екосистем; збір, узагальнення та опублікування результатів досліджень; кількісну оцінку величин вуглецевих джерел/стоків та їх просторову і часову мінливість. Також результати вимірів використовуються для валідації результатів дистанційного зондування – чистої первинної продуктивності, випаровування та енергетичної абсорбції фітоценозами [2]. Цілі та завдання проектів на різних дослідних станціях відрізняються.

Серед рослинного покриву на території розміщення дослідних веж проекту FLUXNET є хвойні та листяні (листопадні та вічнозелені) ліси помірної зони, тропічні та бореальні ліси, сільськогосподарські культури, луки, чагарники, болота, тундри та території із цілорічним сніговим покривом [2]. Вежі (станції) розміщені на п'яти континентах із широтним розподілом діапазону від 82°пн.ш. до 30°пд.ш..

В кожному дослідному пункті встановлена спеціально обладнана вежа або щогла з комплектами апаратури для проведення вимірів метеорологічних параметрів та показників енерго- і масообміну. На деяких станціях проби повітря беруть за допомогою спеціально обладнаних літаків (наприклад на станції Хеджіхатсол, Угорщина).

Для реєстрації потоків CO<sub>2</sub> використовують метод мікрохвильових пульсацій (eddy covariance method). Даний метод базується на статистичному вимірюванні кореляції між флуктуаціями двох різних величин. Коваріація визначає ступінь, з яким обидві величини змінюються разом [3]. Завдяки вежам оцінюють вертикальний рух імпульсу, теплоти, води, потоків CO<sub>2</sub> в атмосфері.

Реєстрація високочастотних коваріацій між вертикальною складовою швидкості вітру та концентрацією вуглекислого газу, що переноситься у граничному атмосферному шарі завдяки турбулентності, дозволяє оцінити вуглецевий баланс наземної екосистеми, прийнятий

за домінуючий. Метод вихрової коваріації використовують для оцінювання атмосферних потоків CO<sub>2</sub>, що переносяться в атмосферному граничному шарі у вертикальному напрямку [3].

### **Результати вимірів**

Результати вимірів на дослідних станціях наведені в базах даних FLUXNET, де міститься характеристика близько 545 веж, з яких на 411 повністю або частково проводяться дослідження [4]. База даних включає результати вимірів за всіма діючими та завершеними проектами. Дані надаються безкоштовно членам регіональних мереж з усього світу та зацікавленим особам для здійснення наукових досліджень.

По дослідних станціях на офіційних сайтах країн-учасниць проекту FLUXNET наводиться наступна інформація: назва, код та країна розміщення станції; географічні координати станції; статус активності; період та результати вимірів; тип клімату; ландшафтні характеристики; висота вежі; домінуючий видовий склад рослинного покриву та його класифікація; вік насаджень; загальна інформація та історія досліджень на станції; тип вегетації; закріплена організація-дослідник; перелік опублікованих праць за результатами вимірів на даній вежі та інші характеристики.

Щоб побачити результати виміру величин концентрації парникового газу CO<sub>2</sub> над територіями з різним рослинним покривом та кліматичними умовами, розглянемо результати виміру на станціях в різних географічно-кліматичних зонах.

На основі даних [5–9] автором складено таблицю 1, в якій наведена характеристика станцій виміру хімічних елементів, а на рис. 1 на основі даних [5] наведені результати наземних вимірів на наступних станціях: а – Алерт (Канада); б – Каспровий Верх (Польща); в – Паллас (Фінляндія); г, г – Білясток (Польща) на висоті 5 та 300 м відповідно; д, е, є, ж – Хеджіхатсол (Угорщина) на висоті 10, 48, 82 та 115 м відповідно. Методи вимірів на станціях відображені в табл. 1 та на рис. 2.

Як видно з рис. 1, незалежно від території розміщення станції, методу взяття проб та типу рослинного покриву, концентрація CO<sub>2</sub> в атмосферному повітрі зростає.

Так, на станції Алерт (рис. 1, а), яка знаходиться на території Канади з переважаючим арктичного клімату та цілорічним сніговим покривом, за 6 років здійснення вимірів середня концентрація CO<sub>2</sub> в атмосферному повітрі зросла з 362 до 371 ppm. Хоча рослинність відсутня повністю, спостерігається подібність характеру річної циклічності коливання величини CO<sub>2</sub> в атмосферному повітрі із вегетаційним сезоном. Результати вимірів по канадській станції є показовим прикладом результату транскордонного масопереносу речовин атмосферними потоками.

Виміри приземної концентрації CO<sub>2</sub> на станції Каспровий Верх (Польща) (рис. 1, б), яка знаходиться в західних Татрах, на висоті 1987 м над рівнем моря, вказують на їх ріст протягом часового ряду 1997–2010 рр. Коливання концентрації CO<sub>2</sub> в приземному шарі протягом 2007–2010 років сягало меж 390–402 ppm.

Таблиця 1 – Характеристика станцій

Назва станції, країна знаходження	Алерт (Alert), Канада	Каспровий Верх (Kasprowy Wierch), Польща	Паллас (Pallas), Фінляндія	Білясток (Bialystok), Польща	Хеджіхатсол (Hegyhatsal 1, Hegyhatsal 2), Угорщина
Дослідна установа	Керівний комітет проекту Карбо Європа-IP	Гірничо-металургійна академія ім. Станіслава Сташица в м. Кракові (Польща)	Метеорологічний інститут Фінляндії	Інститут біогеохімії Макса Планка (Німеччина)	Університет Етвоша Лорана (Угорщина)
Координати: (Lat, Long)	82.5000, 63.5167	49.2333, 19.9333	67.9667, 24.1167	53.2294, 23.0128	46.9559, 16.6520, 46.9558, 16.6556
ГТОРО30 <sup>1</sup> висота; висота здійснення вимірів, (взяття проб), м	210; 0	1987; 0	560; 5	180; 5, 30, 90, 180, 300	248; 117 та 243; 10, 48, 82, 115
Виміри, що здійснювалися чи здійснюються	безперервні виміри CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> , CO, <sup>222</sup> Rn на станціях приземного рівня; відбір проб CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> , CO, N <sub>2</sub> O, SF <sub>6</sub> , <sup>13</sup> CO <sub>2</sub> , CO <sup>18</sup> O за допомогою колб	безперервні виміри CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> , SF <sub>6</sub> на станціях приземного рівня	безперервні виміри CO <sub>2</sub> , <sup>222</sup> Rn на станціях приземного рівня	безперервні виміри CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> , CO, N <sub>2</sub> O, SF <sub>6</sub> , O <sub>2</sub> /N <sub>2</sub> на висотних вежах; відбір проб CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> , CO, N <sub>2</sub> O, SF <sub>6</sub> , <sup>13</sup> CO <sub>2</sub> , CO <sup>18</sup> O за допомогою колб	безперервні виміри CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> , CO, N <sub>2</sub> O, SF <sub>6</sub> на висотних вежах; безперервні виміри CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> , CO, N <sub>2</sub> O, SF <sub>6</sub> , <sup>13</sup> CO <sub>2</sub> , CO <sup>18</sup> O на станціях приземного рівня; виміри вертикальних профілів CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> , CO, N <sub>2</sub> O, SF <sub>6</sub> , <sup>13</sup> CO <sub>2</sub> , CO <sup>18</sup> O за допомогою літака
Кьопен-Гейгер класифікація клімату (KГСС) <sup>2</sup>	ЕТ- північна тундра	Сfb-теплий та помірний клімат без посушливого сезону з вологим теплим літом	Dfc- холодний клімат, без посушливих сезонів з холодним літом	Сfb-теплий та помірний клімат без посушливого сезону з вологим теплим літом	Сfb-теплий та помірний клімат без посушливого сезону з вологим теплим літом
Тип рослинного покриву	рослинність відсутня, зона цілорічного снігового покриву	висока гірська місцевість, трав'яний покрив	гірська місцевість, трав'яний покрив, подекуди хвойний ліс	невелика ділянка трав'яного покриву оточена хвойним лісом	сільськогосподарські угіддя з щорічною зміною сільськогосподарських та кормових культур, на заході оточена лісовими ділянками

<sup>1</sup> ГТОРО30 (Global 30-Arc-Second digital elevation model) являє собою цифрову модель рельєфу для всього світу з горизонтальним кроком сітки 30 кутових секунд (приблизно 1 км), розроблену Геологічною Службою США.

<sup>2</sup> КГСС – класифікація клімату за В. Кьопліном та Р. Гейгером [10].

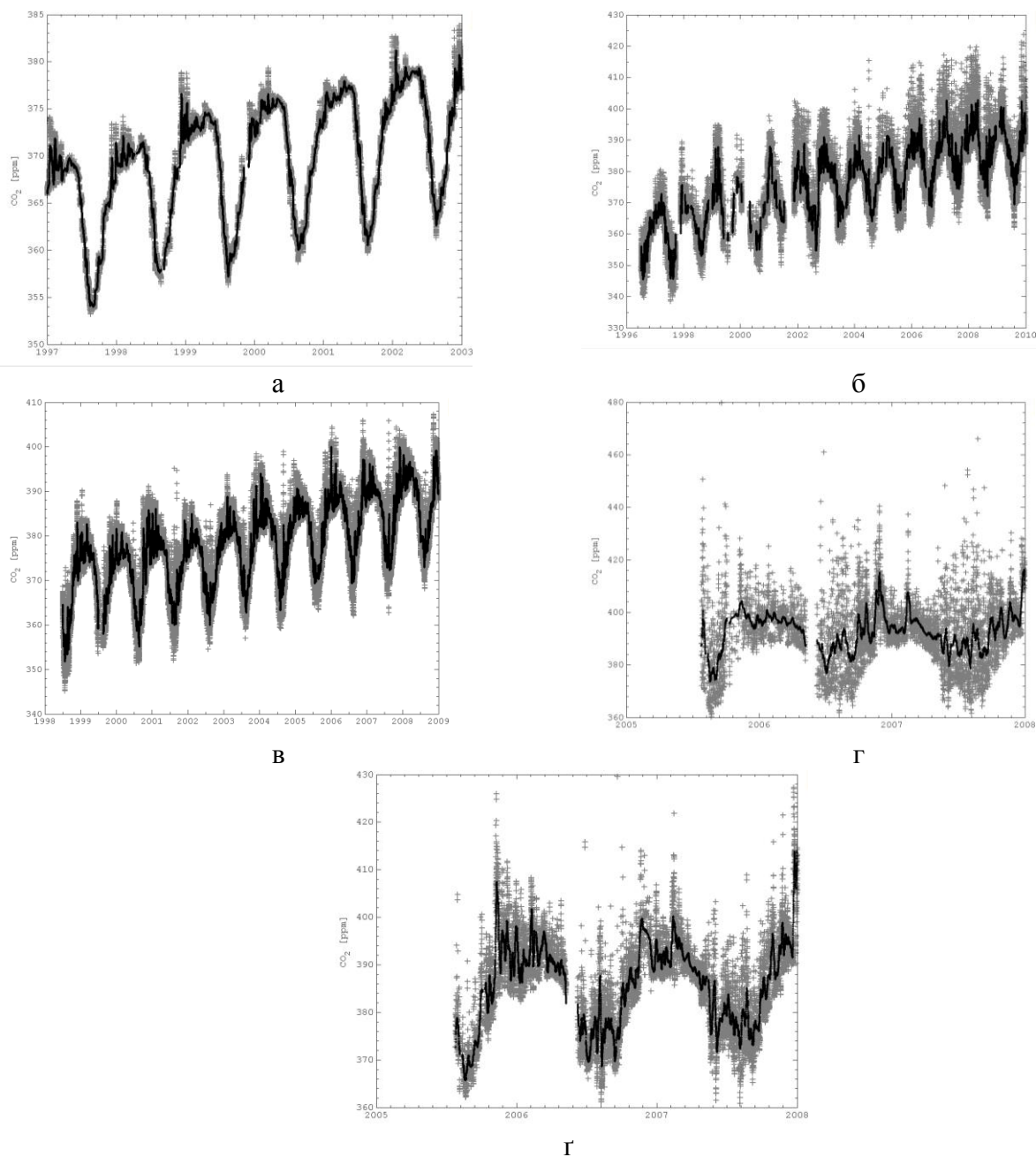


Рис. 1 – Результати вимірів на станціях: а – Алерт (Канада), 0 м; б – Каспровий Верх (Польща), 0 м; в – Паллас (Фінляндія), 5 м; г, Г – Біясток (Польща), 5 та 300 м відповідно [5]

На станції Біясток (Польща) виміри здійснюються на висоті 5, 30, 90, 180 та 300 м. На рис. 1 (г, Г) показано результати вимірів лише на висотах 5 м та 300 м над рівнем земної поверхні. Часовий ряд, який представлений на рис. 1 (г, Г), охоплює відносно короткий період – 25 липня 2005 р. – кінець 2008 року, та показує відмінність в концентрації на різних висотах.

На рис. 1 (д, е, є, ж) показано результати вимірів на станції Хеджіхатсол (Угорщина) на висотах 10, 48, 82 та 115 м відповідно. Станція розміщена серед сільськогосподарських угідь. На всіх висотах спостерігається ріст концентрації діоксиду вуглецю в повітрі.

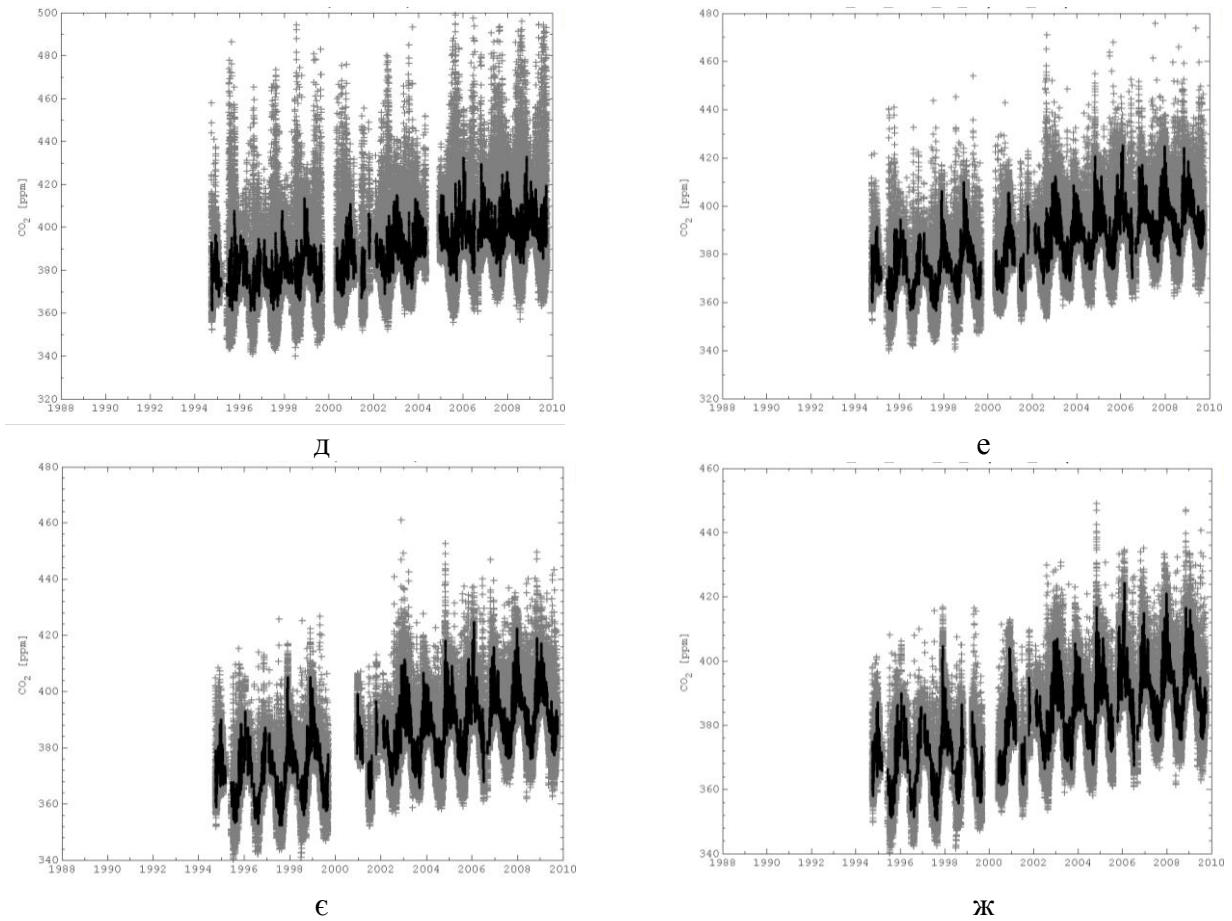


Рис. 1( д, е, є, ж) – Хеджіхатсол (Угорщина), 10, 48, 82 та 115 м відповідно [5]

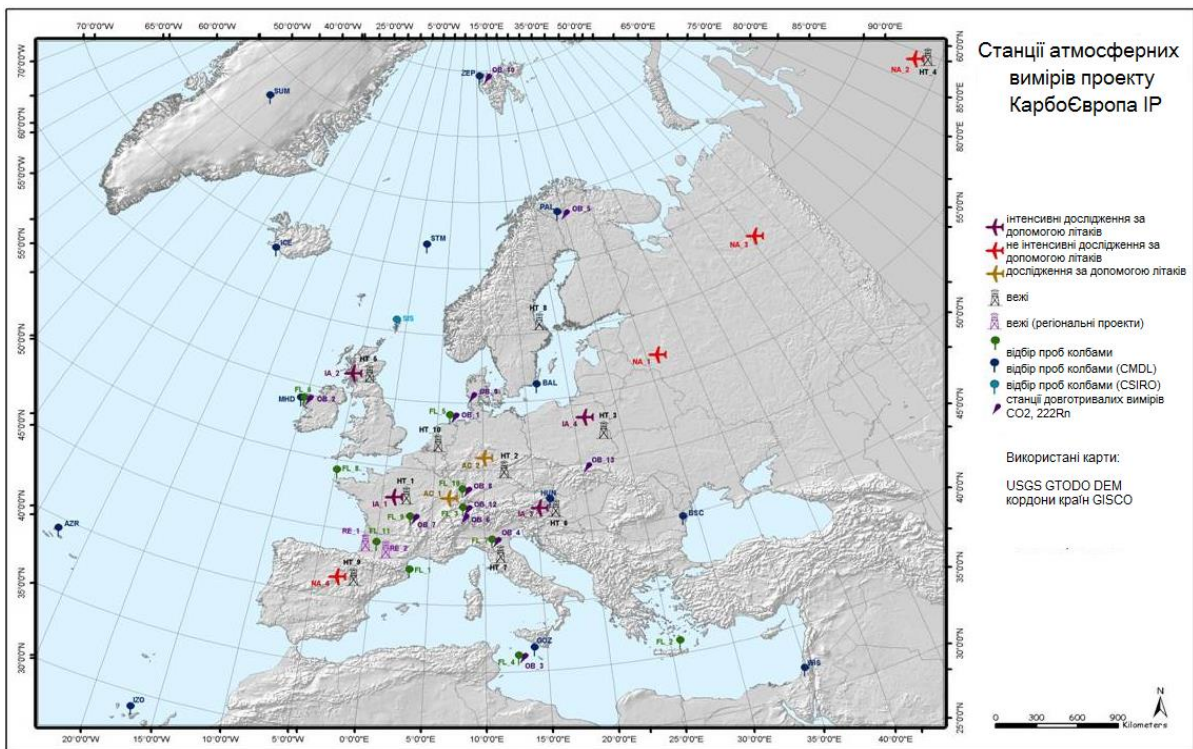


Рис. 2 – Мережа станцій проекту КарбоЄвропа ІР з характеристикою типів вимірів [11]

Більш детально розглянемо добове коливання парникового газу в атмосферному повітрі на станції Хеджіхатсол. Так, на основі бази даних [5] в таблиці 2 та на рис. 3 відображено результати вимірів, здійснених на станції Хеджіхатсол станом на 16 липня 2009 року з періодом виміру в 1 годину. Температура повітря 16 липня 2009 року становила на 02:00 годину ночі 18,5 °С, на 08:00 – 21,6 °С, на 14:00 – 29,6 °С та на 20,00 – 28,1 °С, без опадів [12].

**Таблиця 2 – Результати вимірів, здійснених на станції Хеджіхатсол на 16 липня 2009 року**

Година доби	Концентрація CO <sub>2</sub> (ppm) на висоті 10 м	Концентрація CO <sub>2</sub> (ppm) на висоті 48 м	Концентрація CO <sub>2</sub> (ppm) на висоті 82 м	Концентрація CO <sub>2</sub> (ppm) на висоті 115 м	Різниця концентрації CO <sub>2</sub> (ppm) на висоті 10 м та 115 м
00:00	412,590	399,263	395,023	394,246	18,344
01:00	420,355	409,035	400,130	396,340	24,015
02:00	444,024	407,901	398,127	394,613	49,411
03:00	431,430	407,661	398,554	393,421	38,009
04:00	436,991	410,454	399,575	394,253	42,738
05:00	444,455	429,852	414,468	401,338	43,117
06:00	429,400	427,756	414,006	403,277	26,123
07:00	405,651	407,051	407,170	404,096	1,555
08:00	387,447	389,460	389,857	390,400	-2,953
09:00	382,119	384,480	384,790	385,354	-3,235
10:00	381,083	383,186	383,783	384,079	-2,996
11:00	380,293	383,211	383,271	383,356	-3,063
12:00	378,607	381,421	381,633	382,274	-3,667
13:00	377,606	380,284	380,911	380,987	-3,381
14:00	378,330	381,649	381,489	381,731	-3,401
15:00	379,499	382,571	382,506	382,831	-3,332
16:00	381,157	383,783	383,950	383,844	-2,687
17:00	381,947	383,019	383,114	383,199	-1,252
18:00	384,634	383,387	383,063	383,081	1,553
19:00	399,969	385,310	384,201	384,039	15,93
20:00	407,863	386,007	385,353	385,069	22,794
21:00	440,164	388,357	386,899	386,180	53,984
22:00	457,517	391,283	386,500	385,279	72,238
23:00	442,517	391,056	385,033	383,901	58,616

Як видно з рис. 3, найбільші коливання концентрації CO<sub>2</sub> в атмосфері спостерігаються на висоті 10 м від земної поверхні, і чим вище від земної поверхні, тим краще концентрація врівноважується.

Різниця концентрації у висотах складає до 72 ppm для 22:00. Також видно вплив фітоценозів на величину парникового газу, яка в період фотосинтетичної діяльності рослинного покриву має мінімальні величини, а вночі – при призупиненні фотосинтезу – максимальні. Так, у світлу пору доби (з 8:00 до 18:00) концентрація знаходиться в межах 377–390 ppm, а в темну пору доби концентрація зростає до 457 ppm (на 22:00 на висоті 10 м). Ця закономірність простежується на всіх висотах здійснення вимірів (рис. 3).

Час доби, коли здійснювалися виміри, необхідно враховувати при роботі із супутниковими вимірами концентрації CO<sub>2</sub> в повітрі для вирішення різного роду завдань, зокрема для аналізу реакції рослинного покриву на зміну концентрації CO<sub>2</sub>.

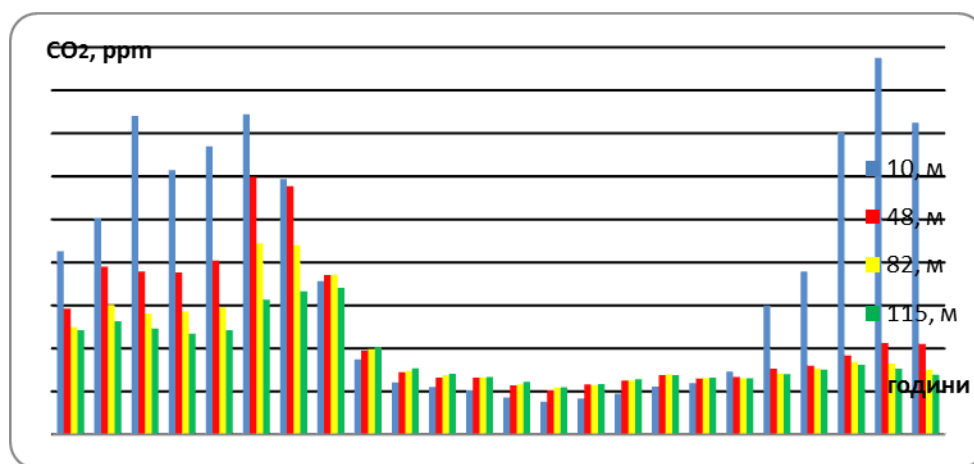


Рис. 3 – Величина концентрації CO<sub>2</sub> в атмосфері на станції Хеджіхатсол (Угорщина) на 16 липня 2009 року

Незважаючи на значне фінансування проектів, в межах яких здійснювалися виміри концентрації CO<sub>2</sub> в атмосферному повітрі, період здійснення вимірів в одну годину, якісне обладнання та сучасне забезпечення дослідних станцій, результати оцінки відсутності даних, що проведена автором даної публікації, на основі бази даних [5] для 8 станцій Європи за 2009 рік склала від 1,79 % для 9 місяців до 29,68 % (табл. 3). Фактично, на деяких станціях не здійснена третя частина вимірів. В даному випадку – результати вимірів, здійснені за допомогою супутникових технологій, будуть доповненням до існуючої бази вимірів.

Таблиця 3 – Величина відсутніх даних вимірів концентрації CO<sub>2</sub> в атмосфері для 2009 р.

Назва станції, країна розміщення	Висота над рівнем моря, м	Максимально можлива кількість вимірів протягом місяців (n) при повторюваності T=1 год	Фактична кількість здійснених вимірів	Відсоток відсутніх даних, %
Каспровий Верх, Польща (Kasprowy Wierch)	0	12, 8760	6495	25,86
Гіф-Сюр-Іветт, Франція (Gif-sur-Yvette)	7	12, 8760	6715	23,34
Пюї-де-Дом, Франція (Puy-de-Dôme)	10	12, 8760	6468	26,16
Хеджіхатсол, Угорщина (Hegyhatsal)	10	9, 6552	6422	1,98
Хеджіхатсол, Угорщина (Hegyhatsal)	48, 115, 180	9, 6552	6435	1,79
Мис Хead, Ірландія (Mace Head)	15	11, 8016	7614	5,01
Гейдельберг, Німеччина (Heidelberg)	30	12, 8760	8135	7,13
Ла Муела, Іспанія (La Muela)	41	6, 4344	4008	7,73
Ла Муела, Іспанія (La Muela)	57	6, 4344	3978	8,43
Ла Муела, Іспанія (La Muela)	79	6, 4344	3433	20,97
Трауною, Франція (Trainou)	50	11, 8016	5637	29,68
Трауною, Франція (Trainou)	100	11, 8016	5752	28,24
Трауною, Франція (Trainou)	180	11, 8016	5930	26,02



**Порівняння вимірів, здійснених на наземних станціях та супутниковими методами**

Для порівняння результатів вимірів величини концентрації CO<sub>2</sub> в атмосфері методами дистанційного зондування Землі та шляхом вимірювання технічними засобами, встановленими на вежах, використаємо результати вимірів сенсором TANSO (Thermal and Near-infrared Sensor for Carbon Observation) японського супутника GOSAT (Greenhouse Gases Observing SATellite) та результати вимірів наземними методами. Результати вимірів супутника дозволяють визначити регіони, які є джерелами чи стоками CO<sub>2</sub>. Він також є перспективним з огляду на продовження місії вимірів парникових газів (CO<sub>2</sub> та CH<sub>4</sub>) супутника GOSAT супутником GOSAT-2, за одними даними у 2016 році, за іншими – у 2017 році [13, 14, 16].

Супутникові технології виміру концентрації CO<sub>2</sub> в атмосфері та виміри, здійснені за допомогою веж, є взаємодоповнюючими та підходять для вирішення низки еколого-кліматичних питань. Так, в [13] зазначено, що розвиток у сфері досліджень глобального циклу вуглецю, буде вести до більш надійних прогнозів кліматичних змін та до розвитку ефективної політики навколишнього середовища для пом'якшення глобального потепління в майбутньому.

На території України немає дослідних станцій проекту FLUXNET, але в Одеській області на станції Петродолинське на висоті 1,5 м з 2008 року ведуться виміри величини концентрації CO<sub>2</sub> в атмосферному повітрі Регіональним центром інтегрованого моніторингу і екологічних досліджень (м. Одеса). На жаль, результати вимірів на момент підготовки публікації не були опубліковані, а це унеможливило їх використання в даному порівнянні.

За відсутності результатів вимірів на дослідних вежах на територію України, для порівняння результатів виміру використаємо виміри на територію розміщення станції Хеджіхатсол. Станція Хеджіхатсол, як і Україна, лежить в помірному кліматичному поясі, що характеризується сухим теплим літом та холодною зимою. З 1994 року на станції Хеджіхатсол здійснюється вимірювання співвідношення профілів CO<sub>2</sub>, вимірювання потоків CO<sub>2</sub>, відбір проб зразків повітря для вимірів стабільних ізотопів С і О в CO<sub>2</sub> (<sup>13</sup>С і <sup>18</sup>О), виміри вмісту CO<sub>2</sub> газовим хроматографом. Детальна характеристика здійснення вимірів та опис станції на офіційній веб-сторінці станції [15].

Виходячи з даних вимірів супутником GOSAT та враховуючи те, що з усіх вимірів лише від 2 до 5% даних для всієї території Землі є придатними для обрахунку концентрації CO<sub>2</sub> [16], від дня запуску супутника з 23 січня до вересня 2009 року, безпосередньо на територію розміщення станції Хеджіхатсол не припало жодних точкових вимірів, що відповідають продукту обробки даних FTS SWIR 2-го рівня. Але із застосуванням геостатистичного методу Крігінга, який використовується для оцінки значень пустих регіонів на базі рівня розподілення продукту FTS SWIR 2, було проведено місячну оцінку концентрації CO<sub>2</sub> для сітки 2,5 градусів та отримано продукт обробки даних FTS SWIR 3-го рівня, що відображає усереднене місячне глобальне покриття концентрації CO<sub>2</sub> в атмосфері [16], які й були використані для порівняння.

Отримані дані усереднених результатів вимірів CO<sub>2</sub> на вежі Хеджіхатсол (Угорщина) за січень–вересень 2009 року на різній висоті надали змогу порівняти їх з відповідними

місячними результатами математичних обрахунків вимірів вмісту вуглекислого газу в атмосфері за даними супутника GOSAT на територію розміщення станції (табл. 4).

Таблиця 4 – Усереднена щомісячна концентрація CO<sub>2</sub> (ppm) у повітрі на різних висотах для вежі Хеджіхатсол (Угорщина) за січень–вересень 2009 року

	Виміри здійснені на станції Хеджіхатсол на висоті 10 м	Виміри здійснені на станції Хеджіхатсол на висоті 48 м	Виміри здійснені на станції Хеджіхатсол на висоті 115 м	Виміри здійснені на станції Хеджіхатсол на висоті 180 м	Виміри здійснені за допомогою супутника GOSAT
Січень	407,97	406,793	405,16	405,756	
Лютий	405,08	403,626	402,438	402,83	
Березень	400,51	399,558	398,428	400,741	
Квітень	406,47	400,718	396,414	397,56	381,42
Травень	397,76	392,33	389,464	390,303	
Червень	397,78	392,176	388,56	389,726	379,82
Липень	399	389,528	384,229	385,761	378,98
Серпень	399,48	388,379	382,848	381,335	376,45
Вересень	404,51	391,109	386,14	387,42	374,12

Нижчі показники вмісту CO<sub>2</sub>, виміряні дистанційно, зумовлені усередненим виміром у атмосферному стовбці, часом зйомки супутника, який здійснює зйомку лише між 12:00 та 14:00 годинами доби, різною частотою та кількістю отриманих вимірів за добу, тиждень та місяць дистанційним методом та вимірами на вежі, а також відмінностями порівнюваних вимірів на різних висотах та середніх у стовбці.

## Висновки

На всіх станціях виміру концентрації CO<sub>2</sub> в атмосферному повітрі, що були досліджені автором, спостерігається сезонність коливання концентрації, незважаючи на тип рослинного покриву чи його відсутність.

Наземні виміри, здійснені в рамках проекту FLUXNET, та результати супутникової зйомки на станцію Хеджіхатсол (Угорщина) вказують на нижчу концентрацію CO<sub>2</sub> в атмосферному повітрі в результаті вимірів, здійснених дистанційним способом. На основі результатів вимірів на дослідних вежах показано, що чим вище від земної поверхні здійснені виміри, тим краще концентрація врівноважується. Також показано, що величина концентрації CO<sub>2</sub> в залежності від години доби та висоти може різнитися до 72 ppm.

На території України наземні станції виміру концентрацій парникових газів представлені лише 1 станцією в одній природно-кліматичній зоні, що є недостатньо для дослідження ситуації на всій території країни. Крім того, аналіз вимірів на станціях проектів по вивченню потоків та концентрації CO<sub>2</sub> CarboEurope-IP вказує на значний відсоток відсутності даних (до 28%). Тому використання супутникових вимірів концентрації парникових газів в атмосфері частково є вирішенням, при повній відсутності наземних даних.

Можна стверджувати, що результати вимірів супутниковими методами та вимірами на станціях показують загальну ситуацію концентрації діоксиду вуглецю на даній місцевості.

База даних вимірів на станціях є значно інформативнішою, але для країн, які не мають на своїй території досліджень з тривалих вимірів концентрації CO<sub>2</sub> в атмосфері, результати вимірів супутниковими методами будуть незамінними при вирішенні низки екологічних задач. Але при їх проведенні необхідно зважати на характеристики супутникових вимірів – точний час виміру, сенсорні характеристики та результати оцінки достовірності. Супутникові, наземні та повітряні виміри концентрації CO<sub>2</sub> в атмосфері є взаємодоповнюючими за різних метеоумов та географічного розміщення території дослідження.

### **Список використаної літератури**

1. FLUXNET: a global network. Integrating worldwide CO<sub>2</sub>, water and energy flux measurements. Електронний доступ: [www.fluxnet.ornl.gov](http://www.fluxnet.ornl.gov)
2. D. Baldocchi, E. Falge, Lianhong Gu, R. Olson, D. Hollinger, St. Running FLUXNET: A New Tool to Study the Temporal and Spatial Variability of Ecosystem-Scale Carbon Dioxide, Water Vapor, and Energy Flux Densities. // Bulletin of the American Meteorological Society – Vol. 82, No. 11, November 2001, PP. 2415–2434
3. Посудін Ю.І. Біофізика і методи аналізу навколишнього середовища: Підручник. – К.: 2011.– 331 с.
4. FLUXNET: a global network. Integrating worldwide CO<sub>2</sub>, water and energy flux measurements. Historical Site Status. Web Page from ORNL DAAC, Oak Ridge, Tennessee, U.S.A. 2013. Електронний доступ: <http://fluxnet.ornl.gov/site-status>
5. Центр поширення даних. Наявність даних. CarboEurope-IP: «Atmosphere» component Data Release Center. Data availability. Електронний доступ: [http://ce-atmosphere.lsce.ipsl.fr/DATA\\_RELEASE/index.php?p=ava](http://ce-atmosphere.lsce.ipsl.fr/DATA_RELEASE/index.php?p=ava)
6. Центр поширення даних. База даних станцій Європи. CarboEurope-IP: “Atmosphere” component Data Release Center. CarboEurope station database. Електронний доступ: [http://ce-atmosphere.lsce.ipsl.fr/DATA\\_RELEASE/index.php?p=data](http://ce-atmosphere.lsce.ipsl.fr/DATA_RELEASE/index.php?p=data)
7. Публічна інформація про базу даних FLUXNET. Public FLUXNET Dataset Information. Web Page from ORNL DAAC, Oak Ridge, Tennessee, U.S.A. 2013. Електронний доступ: <http://www.fluxdata.org/DataInfo/default.aspx>
8. Sixth framework programme priority. Global change and ecosystems. CarboEurope-IP, Assessment of the European Terrestrial Carbon Balance. Proposal Number 505572. Version of 13 November 2003 P.276. Електронний доступ: [ftp://ftp.bgc.mpg.de/pub/outgoing/athuille/CEIP-Contract/AnnexI\\_v%20031113\\_final.pdf](ftp://ftp.bgc.mpg.de/pub/outgoing/athuille/CEIP-Contract/AnnexI_v%20031113_final.pdf)
9. FLUXNET: a global network. Integrating worldwide CO<sub>2</sub>, water and energy flux measurements. Data Search. Web Page from ORNL DAAC, Oak Ridge, Tennessee, U.S.A. 2013. Електронний доступ: [http://fluxnet.ornl.gov/search\\_site](http://fluxnet.ornl.gov/search_site)
10. Oak Ridge National Laboratory Distributed Active Archive Center (ORNL DAAC). FLUXNET Maps & Graphics. Web Page from ORNL DAAC, Oak Ridge, Tennessee, U.S.A. 2013. Електронний доступ: <http://fluxnet.ornl.gov/maps-graphics>
11. Detlef Schulze. CarboEurope Integrated Project. presentation; Електронний доступ: <http://www.carboeurope.org/> CarboEurope-IP

12. Интернет-сервіс "Статистика погоди". Електронний доступ: [http://rp5.ru/%D0%9F%D0%BE%D0%B3%D0%BE%D0%B4%D0%B0\\_%D0%B2\\_%D0%9A%D1%91%D1%80%D0%BC%D0%B5%D0%BD%D0%B4%D0%B5](http://rp5.ru/%D0%9F%D0%BE%D0%B3%D0%BE%D0%B4%D0%B0_%D0%B2_%D0%9A%D1%91%D1%80%D0%BC%D0%B5%D0%BD%D0%B4%D0%B5)

13. On the public release of carbon dioxide flux estimates based on the observational data by the Greenhouse gases Observing SATellite "IBUKI" (GOSAT) [http://www.gosat.nies.go.jp/eng/result/download/GOSAT\\_L4\\_Release\\_20121205\\_en.pdf](http://www.gosat.nies.go.jp/eng/result/download/GOSAT_L4_Release_20121205_en.pdf)

14. Ваколюк М.В. Виміри концентрації CO<sub>2</sub> супутником GOSAT на територію України. Збірник тез. 13 українська конференція з космічних досліджень. ДКАУ, НАНУБ ІКД, НЦВКЗ. 2–6 вересня 2013 р., м. Київ.: «Кафедра», 222 с.

15. Hungarian Tall Tower and Aircraft measurement at Hegyhatsal. Електронний доступ: [inimbus.elte.hu/hhs/](http://inimbus.elte.hu/hhs/)

16. Global Greenhouse Gas Observation by Satellite. Greenhouse gases Observing SATellite Project. Ibaraki, Japan: Center for Global Environmental Research, National Institute for Environmental Studies. 6 Edition 4 Revision (July 2013), 12 p. Електронний доступ: [http://www.gosat.nies.go.jp/eng/GOSAT\\_pamphlet\\_en.pdf](http://www.gosat.nies.go.jp/eng/GOSAT_pamphlet_en.pdf)

*Стаття надійшла до редакції 28.01.14 українською мовою*

© М.В. Ваколюк

### **ИЗМЕРЕНИЯ КОНЦЕНТРАЦИИ CO<sub>2</sub> В АТМОСФЕРЕ СПУТНИКОМ GOSAT И ОПЫТНЫМИ БАШНЯМИ**

*В публикации отображено анализ результатов измерений концентрации CO<sub>2</sub> в атмосфере, полученных с помощью исследовательских башен, расположенных в разных странах мира, и измерений, осуществленных спутником GOSAT (Ibuki). Результаты измерений отображают годовое колебание уровня концентрации CO<sub>2</sub> в атмосфере и ее рост на протяжении исследовательских периодов. Как пример рассмотрено измерения на территорию размещения станции Хеджихатсол (Венгрия). Получена сравнительная оценка измерений парникового газа, осуществленных на данной станции мониторинга с помощью спутника GOSAT (Ibuki) и исследовательской башни для периода с января по сентябрь 2009 года.*

© M.V. Vakolyuk

### **MEASURING THE CONCENTRATION OF CO<sub>2</sub> IN THE ATMOSPHERE SATELLITES GOSAT AND RESEARCH TOWERS**

*The paper presents the analysis of atmospheric CO<sub>2</sub> concentration measurements results obtained from the research towers located in the different countries of the world and GOSAT (Ibuki) satellite. The measurement results indicate the annual fluctuation in the level of CO<sub>2</sub> concentrations in the atmosphere and its increase during the research periods. As an example considered measurements for territory of Hegyhatsal station (Hungary). The comparative evaluation of the measurements made by greenhouse gas monitoring station and GOSAT (Ibuki) satellite for period of time from January to September 2009 was obtained.*

УДК 504.3.054:58.085

© А.І. Горова, д-р біол. наук;  
Ю.В. Бучавий, асистент;  
А.В. Павличенко, канд. біол. наук;  
І.Г. Миронова, асистент

Національний гірничий університет, м. Дніпропетровськ

## УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДІВ ОЦІНКИ ЯКОСТІ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ РОСЛИН-ІНДИКАТОРІВ ТА ГЕОІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

*Досліджено стан атмосферного повітря м. Дніпропетровськ за допомогою методу «Стерильність пилку» рослин-індикаторів. Проведено моделювання процесів переносу забруднювачів від основних джерел викидів промислових підприємств та картографування території міста за індексами забруднення атмосфери. Встановлено залежність між інтегральним показником ушкодження рослин-індикаторів та комплексним індексом забруднення атмосфери.*

**Ключові слова:** джерела забруднення повітря, стерильність пилку рослин, індекси забруднення атмосфери, картографування територій, інтерполяція растрів.

Контроль якості атмосферного повітря промислових міст є однією з актуальних задач сьогодення. Пріоритетними забруднювачами атмосфери у містах є окисли азоту, двоокис сірки, окис вуглецю, феноли, формальдегід тощо. Причому обсяги надходження цих газів від антропогенних джерел значно вищі за природні.

Для моніторингу атмосферного повітря територій міст використовуються осереднені за певний період (місяць, рік) концентрації найпоширеніших шкідливих домішок, за якими визначаються індекси забруднення атмосфери (ІЗА). При цьому ураховується різниця швидкості збільшення рівня небезпеки речовини з кратністю перевищення її ГДК, а також здатність деяких шкідливих речовин до сумачії при спільній наявності в атмосферному повітрі. Такі дослідження є вельми затратними і сьогодні вони проводяться лише у великих промислових містах, та навіть в них незначна кількість стаціонарних постів спостереження не дозволяє отримати повну просторово-часову інформацію щодо стану атмосферного повітря на всій території міста. Недостатня кількість постів спостереження не дозволяє виконати порівняльний аналіз та картографування стану атмосфери за цими показниками.

Слід відмітити, що для оцінки рівнів забруднення атмосферного повітря міст можна використовувати методи біоіндикації. Довготривала дія незначних концентрацій забруднювачів повітря зазвичай не викликає видимих ознак ушкодження рослин, однак негативні зміни можна виявити на клітинному рівні [1, 2]. Тому для визначення токсико-мутагенної

активності забруднюючих речовин, що потрапляють в атмосферу на території міст можна використовувати цитогенетичний біотест – «Стерильність пилку рослин». В якості фітоіндикаторів можуть застосовуватися трави, дерева та чагарники, які використовуються при озелененні міст. Все це дозволяє використовувати рослини-індикатори для оцінки стану атмосферного повітря там, де неможливі або недоцільні довготривалі спостереження із використанням фізико-хімічних методів, газоаналізаторів безперервної дії тощо. Однак для цього необхідно встановити залежності зміни рівнів ушкодженості рослин від концентрацій забруднюючих речовин в атмосферному повітрі промислових міст.

**Метою роботи** є визначення змін показників стерильності пилку рослин-індикаторів, що ростуть на території м. Дніпропетровськ за індексами забруднення атмосферного повітря.

Для цього були вирішені наступні задачі:

- Проведено оцінку стану атмосферного повітря за тестом «Стерильність пилку рослин».
- Визначено індекси забруднення атмосфери міста шляхом моделювання процесів перенесення забруднювачів від основних джерел викидів промислових підприємств та автотранспорту.
- Отримано прогнози моделі для визначення індексу забруднення атмосфери за значеннями рівнів стерильності пилку рослин.
- Виконано картографування території міста за дослідженими показниками.

Для оцінки якості атмосферного повітря міста за тестом «Стерильність пилку рослин» були відібрані бутони 77 видів рослин-індикаторів, які відрізняються за ступенем чутливості до несприятливих факторів. Відбір зразків проводили на 187 моніторингових точках. Визначення кількості стерильних клітин та оцінка токсичності атмосферного повітря за інтегральним умовним показником ушкодження (ІУПУ) виконувались за методикою [3]. Картографування території міста проводилось із використанням програмного комплексу ESRI ArcGIS 9.3 Desktop шляхом растрової інтерполяції точкових шарів. Результати картографування м. Дніпропетровськ за рівнем токсичності атмосферного повітря наведені на рис. 1.

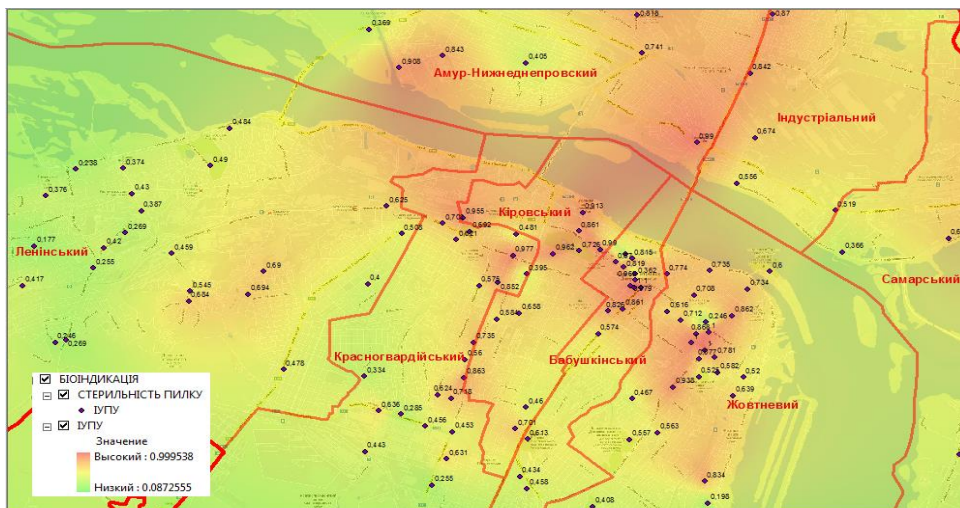


Рис. 1 – Токсичність атмосферного повітря за тестом «Стерильність пилку рослин»

Основними забруднювачами атмосферного повітря Дніпропетровська є 22 промислових підприємства, з 84 стаціонарними джерелами, на долю яких припадає понад 80% від загального обсягу викидів промислових газів міста.

Для визначення осереднених приземних концентрацій забруднювачів від викидів промислових підприємств використовувалася методика [4], база метеорологічних даних Дніпропетровська за досліджений період (WEB-сайт <http://rp5.ru>); коефіцієнти вертикальної стійкості атмосфери визначалися згідно з алгоритмом [5]. Технологічні параметри джерел викидів уточнювалися з екологічних паспортів та документів ОВНС підприємств. Розрахунок осереднених приземних концентрацій виконувався за допомогою програми MathCad 15, при цьому окремо для кожного джерела забруднення формувалася розрахункова сітка концентрацій (51x31) з подальшим експортом в електронні таблиці та інтеграцією в ГІС, де виконувалась їх інтерполяція. Результати картографування території міста за розрахунковими КІЗА від викидів підприємств наведені на рис. 2.

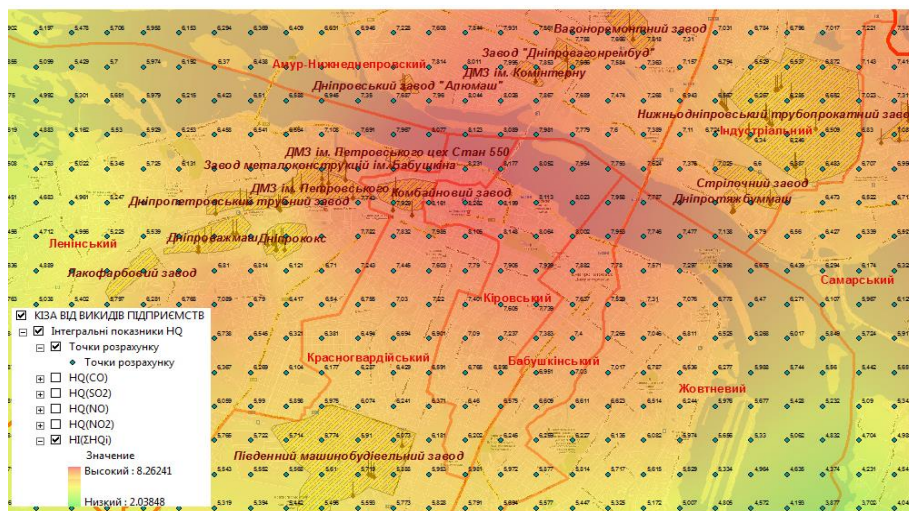


Рис. 2 – Картографування території міста за розрахунковими КІЗА від викидів підприємств

Як видно з рис. 2, цей показник змінюється на території міста від 2 до 8,26.

Іншим джерелом забруднення атмосфери є автотранспорт, вплив якого на зелені насадження міста було досліджено при виконанні гранту «Розробка науково-обґрунтованих принципів озеленення території м. Дніпропетровська з урахуванням рівнів техногенного навантаження». Було досліджено інтенсивність руху на 27 перехрестях міста із подальшим визначенням розрахункових величин викидів автотранспорту за методикою [6]. Це дозволило ототожнювати ці перехрестя з приземними стаціонарними джерелами забруднення повітря та застосувати до них наведений вище підхід із визначення осереднених концентрацій.

Результати картографування території міста за розрахунковими КІЗА від викидів автотранспорту наведені на рис. 3. Як бачимо, цей показник значно менший у порівнянні з попереднім та змінюється на території міста від 0,01 до 3,04. Крім того, зона впливу перехресть на стан атмосферного повітря за результатами моделювання становить 50–200 м.

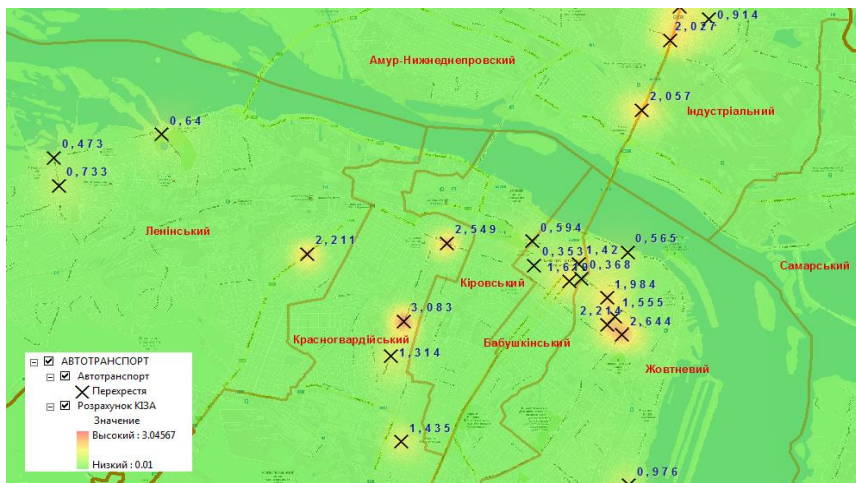


Рис. 3 – Картографування території міста за розрахунковими КІЗА від викидів автотранспорту

Комплексна карта, що характеризує розрахунковий КІЗА від промислових підприємств та автотранспорту, була отримана за допомогою інструменту зваженої суми індексів цих растрових шарів. Результати картографування за цим показником наведені на рис. 4. Цей показник змінюється на території міста від 2,1 до 10,36.

Слід звернути увагу, що навіть за візуальним порівнянням рисунки 4 та 1 є дещо схожими, тобто у місцях із високими значеннями КІЗА є й високими ІУПУ фітоіндикаторів. Тому далі за допомогою інструменту з вилучення значень були під'єднані атрибути растрового шару показників КІЗА до точкового шару, що містить дані біотестування, стерильності пилку та ІУПУ тощо.

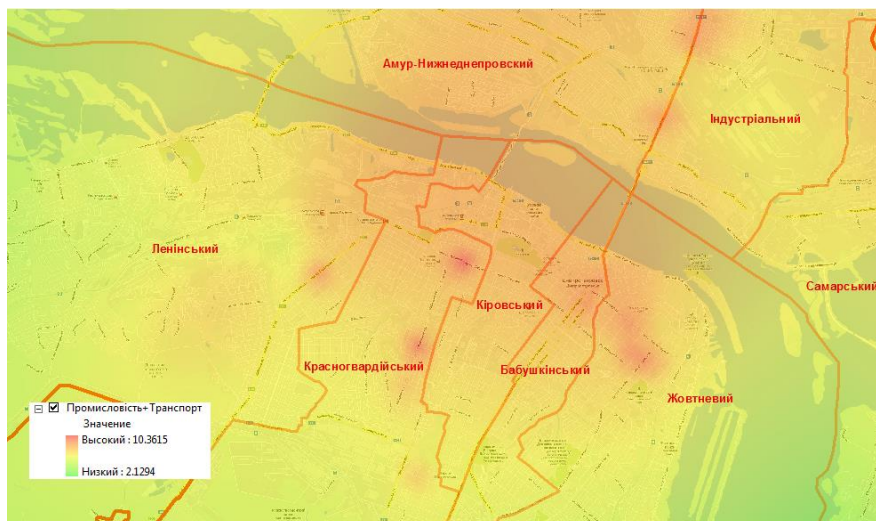


Рис. 4 – Картографування території міста за розрахунковими КІЗА від викидів промислових підприємств та автотранспорту

Це дозволило побудувати моделі регресії, які дозволяють визначати значення комплексного рівня забруднення атмосфери за показником стерильності пилку рослин різних груп стійкості (рис. 5–8).



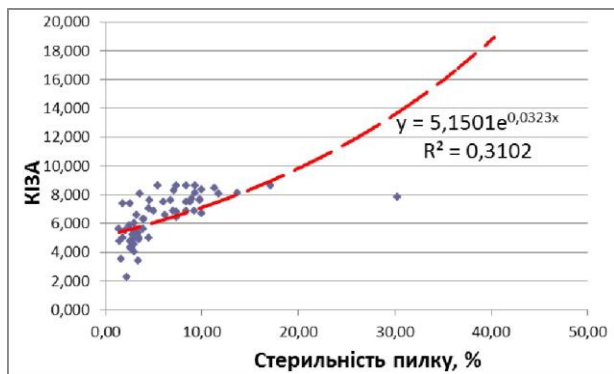


Рис. 5 – рослини I групи стійкості



Рис. 6 – рослини II групи стійкості

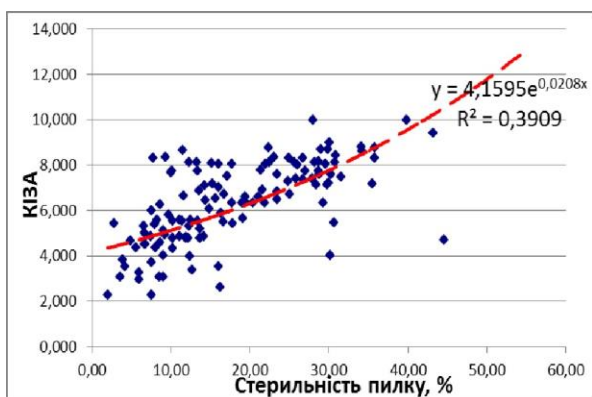


Рис. 7 – рослини III групи стійкості

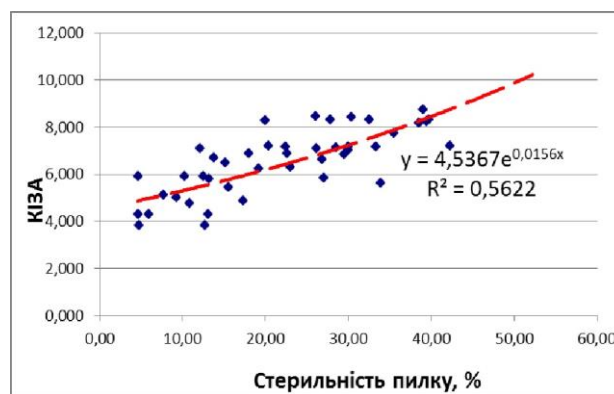


Рис. 8 – рослини IV групи стійкості

За отриманими результатами можна зробити наступні висновки. Стерильність пилку рослин від впливу забрудненості атмосферного повітря, що ототожнюється з величиною комплексного індексу забруднення, має нелінійну залежність, яка апроксимується за експонентною моделлю. Це дозволяє за допомогою рослин-індикаторів проводити експрес-оцінку якості атмосферного повітря та визначати на науковій основі орієнтовні осереднені за тривалий період показники комплексного індексу забрудненості атмосферного повітря.

Встановлено, що у містах з помірним забрудненням атмосферного повітря найбільш тісний зв'язок між стерильністю пилку рослин та комплексним індексом забруднення атмосфери мають рослини, які відносяться до IV групи стійкості, що дозволяє обґрунтувати їх застосування для біомоніторингу стану атмосфери у містах.

Таким чином, систему моніторингу атмосферного повітря міст рекомендується доповнити високочутливими біотестами.

### Список використаної літератури

1. Мэннинг У.Дж., Фредер У.А. Биомониторинг атмосферы с помощью растений. Л., Гидрометеиздат, 1985. – 144 с.
2. Оценка генотоксического действия антропогенных факторов на растения в городских условиях / В.С. Погосян, Е.Г. Симонян, З.М. Джигарджян, Р.М. Арутюнян // Цитология и генетика. – 1991. – 25, № 1. – С. 23–29.

3. Методичні рекомендації «Обстеження та районування території за ступенем впливу антропогенних чинників на стан об'єктів довкілля з використанням цитогенетичних методів» / Упоряд.: А.І. Горова, С.А. Риженко, Т.В. Скворцова, І.І. Клімкіна, А.В. Павличенко, І.Г. Миронова. – Д.: Національний гірничий університет, 2007. – 25 с.

4. Методические указания по расчету осредненных за длительный период концентраций выбрасываемых в атмосферу вредных веществ (Дополнение к ОНД-86) / Санкт-Петербург. ГГО им. А.И. Воейкова, 2005.

5. Бучавий Ю.В., Колесник В.Е. Алгоритм вычисления вертикальной турбулентной диффузии загрязнителей в атмосфере по метеорологическим данным / Матеріали міжнародної конференції «Форум гірників–2011». – Д.: ДВНЗ «Національний гірничий університет», 2011. – С. 144–149.

6. Федорова А.И. Практикум по экологии и охране окружающей среды: учебное пособие / А.И. Федорова, А.Н. Никольская. – Воронеж : Воронеж. гос. ун-т, 1997. – 305 с.

*Стаття надійшла до редакції 16.01.14 українською мовою*

**© A.I. Gorova, Yu.V. Buchavy, A.V. Pavlichenko, I.G. Mironova  
IMPROVEMENT OF AIR QUALITY ASSESSMENT METHODS  
USING OF INDICATOR PLANTS AND GIS**

*The condition of atmosphere air in Dnepropetrovsk city is researched by “pollen sterility” method of plants-indicators. Processes of pollutants transferring from the main sources of industrial enterprises emission modeling and city territories map-making by air pollution indexes are conducted. Dependence between an integration rate of plant damage indicators and complex index of the air pollution is determinates.*

**© А.И. Горовая, Ю.В. Бучавый, А.В. Павличенко, И.Г. Миронова  
УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДОВ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА  
АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РАСТЕНИЙ-ИНДИКАТОРОВ  
И ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ**

*Исследовано состояние атмосферного воздуха г. Днепропетровска с помощью метода «Стерильность пыльцы». Проведено моделирование процессов переноса загрязнителей от основных источников выбросов промышленных предприятий и картографирование территории города по показателям загрязнения атмосферы. Установлена зависимость между интегральным показателем повреждаемости растений-индикаторов и комплексным индексом загрязнения атмосферы.*

УДК 504.4.054+504.06+556

Є.С. Анпілова<sup>1</sup>, канд. техн. наук, старш. наук. співробітник;

В.І. Клименко<sup>1</sup>, канд. техн. наук, вчений секретар, старш. наук. співробітник;

Д.Л. Крета<sup>2</sup>, асистент кафедри;

О.М. Трофимчук<sup>1</sup>, д-р техн. наук, проф., чл.-кор. НАН України

<sup>1</sup>Інститут телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України, м. Київ;

<sup>2</sup>Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського «ХАІ», м. Харків

## ПРОСТОРОВИЙ АНАЛІЗ РОЗПОВСЮДЖЕННЯ ЗАБРУДНЕНЬ ПОВЕРХНЕВИХ ВОД І ҐРУНТІВ ЗАСОБАМИ ДЗЗ ТА ГІС

*У цій статті запропоновано методи, що дозволяють виявляти закономірності зміни якості поверхневих вод та ґрунтів, зокрема визначати місця підвищеної концентрації забруднюючих речовин, що впливають на їхній екологічний стан, будувати картографічні моделі на основі використання можливостей геоінформаційних систем та матеріалів космічної зйомки.*

**Ключові слова:** якість ґрунтів, якість поверхневих вод, оцінка якості поверхневих вод, оцінка якості ґрунтів, басейн річки, геоінформаційні технології, дистанційне зондування Землі, екологічний моніторинг, забруднення поверхневих вод, забруднення ґрунтів.

Однією з найбільш важливих складових моніторингу будь-якого об'єкта є визначення ступеня забрудненості цього об'єкта. Оперативна та точна інформація щодо якості водних об'єктів та ґрунтів є основою регулювання діяльності водокористувачів та землекористувачів, забезпечення заходів з раціонального природокористування, інформування відповідних органів та населення щодо можливих небезпечних ситуацій.

Поверхневі води, як і земельні господарства є стратегічними відновлюваними природними ресурсами України. Характерною ознакою більшості поверхневих водних об'єктів та земельних угідь України є їх комплексне використання. При цьому кожна галузь – гідроенергетика, рибне господарство, промисловість, рекреація тощо має свої вимоги до якості як поверхневих вод, так і ґрунтів. Ця обставина ускладнює вирішення проблеми їх моніторингу, оцінювання та прогнозу якості, з метою охорони і раціонального використання, яка була, є і буде актуальною в майбутньому.

Картографічне моделювання та геоінформаційний інструментарій дозволяє не тільки відображувати вже відомі просторові закономірності, але й проводити аналіз, виявляти та візуалізувати взаємозв'язки між джерелами забруднення та якістю ґрунтів та вод, визначити достовірність інформації щодо джерел забруднення, виконувати районування за факторами їх забрудненості та якістю, у тому числі, в умовах недостатньої кількості даних.

У статті наведено приклади застосування ДЗЗ та ГІС технологій для оцінок забрудненості земель техногенним пилом із зосереджених джерел викидів в атмосферу та якості поверхневих вод басейну річки.

Проблемами техногенного навантаження на навколишнє природне середовище та дослідженням у цьому напрямку з використанням геоінформаційних систем і технологій дистанційного зондування Землі займаються Варламов Є.М., Волошкіна О.С., Готинян В.С., Довгий С.О., Коротаєв Г.К., Красовський Г.Я., Лялько В.І., Макаровський Є.Л., Мокін В.Б., Осадчий В.І., Попов М.О., Трофимчук О.М., Яковлев Є.О. та інші.

Проаналізувавши сучасну організацію державного моніторингу якісних показників земельних ресурсів, було обґрунтовано доцільність залучення технологій дистанційного зондування Землі з космосу.

Здійснюючи дешифрування космічних знімків для виявлення техногенного забруднення земель, найбільш доцільним є використання ознак, пов'язаних з варіаціями альbedo снігового покриву. В ряді багатьох чинників, що впливають на них, домінуючим є вміст акумульованого снігом техногенного пилу, який осаджується з атмосфери. Для картографування ареалів, в яких цей вміст перевищує фоновий рівень, залучались програмний комплекс ERDAS IMAGINE від Leica Geosystems GIS & Mapping і спеціалізована програма IMPROC. Засобами ERDAS IMAGINE виконувались окремі етапи первинної обробки космічних знімків, а також визначались межі кластерів «ліс» і «забудована територія» – об'єкти, що маскують межі зон забруднення снігового покриву. Оконтурювання останніх виконувалось алгоритмом програми IMPROC, який забезпечував реалізацію наступних етапів:

- формування доповнюючої структурної дешифрувальної ознаки;
- побудови двовимірної гістограми у просторі «яскравість-структурна ознака»;
- побудови розпізнаючого правила.

Доповнюючою структурною дешифрувальною ознакою була обрана величина модуля градієнта яскравості –  $G$ , яка визначалася шляхом просторового диференціювання, тобто обчисленням похідних  $\frac{\partial F}{\partial x}$  та  $\frac{\partial F}{\partial y}$ , де  $F$  – яскравість зображення, застосуванням згортки з масками оператора Собела  $H_x$  та  $H_y$ :

$$H_x = \begin{pmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{pmatrix}; \quad H_y = \begin{pmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & -2 & -1 \end{pmatrix}$$

$$G = \sqrt{\left(\frac{\partial F}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial F}{\partial y}\right)^2}$$

Модуль градієнта  $G$  обчислюється як

Було зроблене припущення, що для лісу величина  $G$  повинна бути нижче, ніж для забрудненого снігу, так як у межах лісних масивів яскравість зображення змінюється лише внаслідок флуктуацій, а в межах ділянок забрудненого снігового покриву повинно

спостерігатися збільшення яскравості за ступенем віддалення від джерела забруднення до периферії забруднення.

Побудова двовимірної гистограми – необов'язковий етап. Однак його виконання дозволяє наглядно оцінити, наскільки вдало вибрана доповнююча дешифрувальна ознака та сформулювати розпізнаюче правило або задати початкове наближення для розпізнавальної функції.

Використовуючи описані вище інформаційні ресурси і програмно-алгоритмічні засоби, в деяких районах території Київської області були ідентифіковані топографічні параметри ділянок снігового покриву з аномальними рівнями альбедо. Кожен знімок засобами ГІС проектувався з вирівнюванням масштабів на відповідну ділянку електронної карти України, що давало змогу визначати реальні контури урбанізованих територій і лісових масивів як чинників, що маскують забруднення снігу техногенним пилом, а також географічні або прямокутні координати контурів ідентифікованих ареалів забруднення снігового покриву.

Виходячи з того, що основний вклад в загальну кількість викидів від стаціонарних джерел підприємств Київської області вносить Трипільська ТЕС, викиди якої в 2004 р. склали 59,327 тис. тонн, або 75,2% від загального обсягу викидів стаціонарними джерелами, вона була визначена тест-об'єктом для досліджень можливостей використання космічних знімків у завданнях моніторингу забруднення атмосфери стаціонарними джерелами викидів.

Для визначення розмірів зони забруднення приземного шару атмосфери техногенним пилом Трипільської ТЕС залучались космічні знімки ASTER, SPOT, LANDSAT центральних районів Київської області за 2002–2005 роки, а також MODIS та NOAA, отримані в реальному вимірі часу в терміни січень – квітень 2005 року.

Всі космічні знімки, які використовувалися для ідентифікації параметрів зон впливу викидів в атмосферу Трипільської ТЕС, трансформувалися в картографічну проекцію електронної топографічної карти Київської області М 1:200 000, яка підтримується засобами геоінформаційної системи ARG/VIEW. Оскільки залучені космічні знімки були отримані при випадковій вибірці напрямів та швидкостей вітру, за ними визначалася середня віддаленість від джерела викидів меж, де концентрація техногенного пилу приблизно зрівнюється з фоном. Для Трипільської ТЕС, складу та об'ємів її викидів в атмосферу це віддалення в середньому складає 20 км. В припущенні рівномірного за напрямками розсіювання викидів в атмосфері площа забруднення земель техногенним пилом сягала б близько 1260 км<sup>2</sup>. Виходячи з оцінки валових викидів пилу в середньому за рік порядку 40 000 т, отримуємо, що в цьому випадку на 1 км<sup>2</sup> земель тільки з викидів Трипільської ТЕС осідало б близько 32 тонн техногенного пилу. Відомо, що викиди станції за напрямками розсіюються нерівномірно. Так, при фіксованому напрямі вітру, як свідчать космічні знімки високої просторової роздільної здатності, техногенний пил Трипільської ТЕС зазвичай осідає в секторі, який складає 1/8 кола, тобто на площу приблизно 157 км<sup>2</sup>. Виходячи з добової норми викидів пилу в 2004 році – близько 110 т, а також кількості днів в календарному році з певним напрямком переносу викидів, наприклад, у північному – 64 доби, отримуємо, що річна норма навантаження викидами Трипільської ТЕС 1 км<sup>2</sup> земель в секторі 67.5<sup>0</sup>–112.5<sup>0</sup> складає близько 45 тонн [2].

Скориставшись статистичними даними напрямку вітру, а також урахуваючи параметри димових шлейфів, що отримані шляхом дешифрування випадкового набору космічних знімків високої просторової роздільної здатності, нескладно отримати прогнозні оцінки навантаження земель техногенним пилом у довільному секторі навкруги Трипільської ТЕС.

Результати картографування ареалів забруднення снігу та ідентифікації димових шлейфів на випадкових наборах космічних знімків дають підстави очікувати сезонні ареали забруднення земель пилом з викидів Трипільської ТЕС. Ареал з позначкою I формується з вересня по травень, а з позначкою II – впродовж осені, зими та весни (рис. 1). Наявність “острівця чистої території” в безпосередній близькості від самої ТЕС обумовлена закономірностями осадження в атмосфері з висоти 180 м твердих часточок. Скориставшись стандартними засобами ГІС, в даному випадку Arc/View, нескладно визначити, що влітку викиди Трипільської ТЕС сприяють забрудненню приблизно 500 км<sup>2</sup> території Київської області, а в решту сезонів – 600 км<sup>2</sup> [3].

Таким чином, використовуючи дані параметру вітрів, склад та обсяги викидів ТЕС, отримали картографічні моделі кількісних оцінок навантаження техногенним пилом земель навкруги забруднюючих об’єктів.

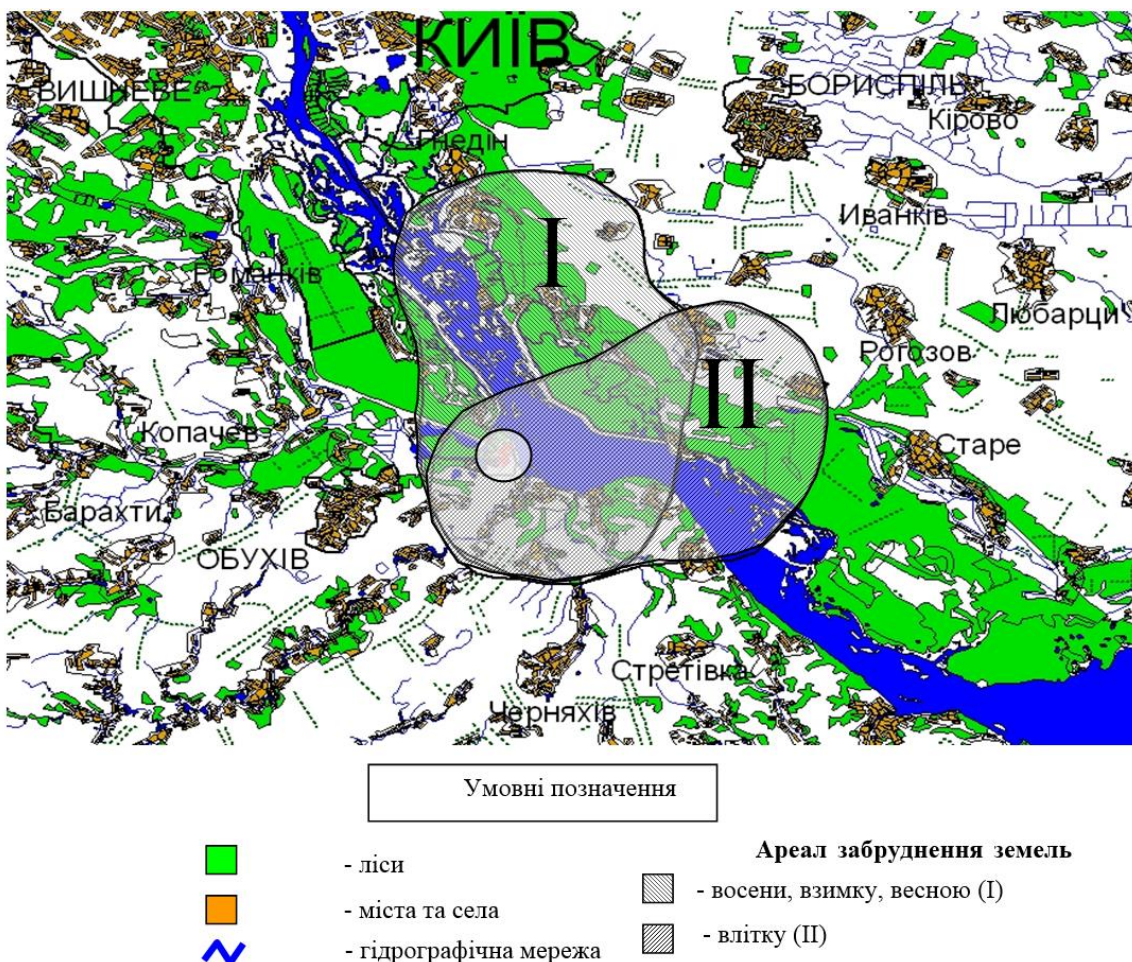


Рис. 1 – Сезонні ареали забруднення земель техногенним пилом з викидів Трипільської ТЕС

Для доповнення картографічної моделі були виконані математичні розрахунки по розподілу концентрації забруднюючих речовин в атмосфері, застосовуючи методику розрахунку концентрацій в атмосферному повітрі шкідливих речовин, з яких складаються викиди підприємств, що розроблена Головною геофізичною обсерваторією ім. А.І. Воєйкова [4].

Для підтвердження достовірності результатів вищерозробленої моделі використано результати лабораторних досліджень проб атмосферного повітря в зоні впливу Трипільської ТЕС. Лабораторні дослідження проводилися в 2004 році на вміст пилу, сірчистого ангідриду, двоокису азоту та оксиду вуглецю [5]. Проби відбиралися на відстані 600 м, 3600 м та 7200 м за різними напрямками від джерела забруднення.

Поєднуючи три шари даних: відстані формування максимальних приземних концентрацій для Трипільської ТЕС, отриманих застосуванням методики розрахунку концентрацій в атмосферному повітрі шкідливих речовин, розробленою ГГО ім. Воєйкова; результати лабораторних досліджень проб атмосферного повітря в зоні впливу Трипільської ТЕС та ареал забруднення земель техногенним пилом, отриманих при застосуванні розробленої картографічної моделі, отримали, що результати за картографічною моделлю співпадають з результатами за існуючими методиками проведення спостережень за ґрунтами, а також доповнюють їх можливістю отримання більш повних розширених даних, з використанням менших затрат (рис. 2).

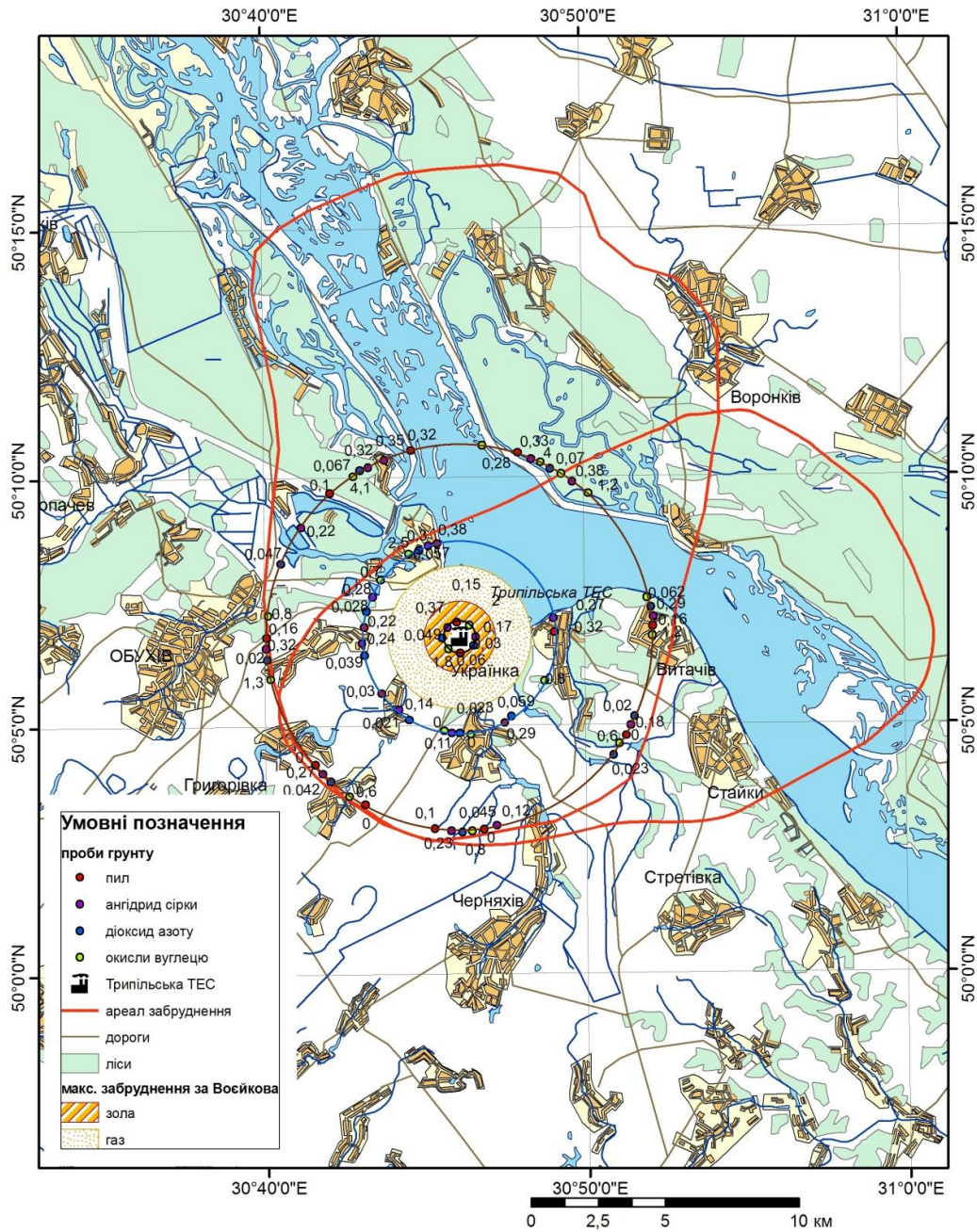
Далі розглянемо проблеми оцінювання якості поверхневих вод.

В Україні низка пріоритетних завдань держави щодо збереження водних ресурсів обумовлена Концепцією розвитку водного господарства [5].

За статистичними даними [6–10], спостерігається стала тенденція погіршення якості поверхневих вод басейнів річок України. Для інформаційної підтримки рішень щодо забезпечення виконання вимог ряду інших законодавчих актів [11], регулюючих сучасні водні відносини в Україні, необхідно мати достовірні, точні і своєчасні дані про якість поверхневих вод.

Нижче розглянемо новий метод оцінки якості поверхневих вод, що відрізняється від існуючих використанням геостатистичних методів інтерполяції даних моніторингу та удосконаленим методом обробки даних про якість за класами та категоріями, що дозволяє покращити ведення екологічного моніторингу поверхневих вод. Виявлено закономірності зміни якості поверхневих вод басейну р. Сіверський Донець, зокрема визначено місця підвищеної концентрації речовин, які впливають на екологічний стан басейну річки.

Картографічне моделювання, здійснене на основі геоінформаційного інструментарію, дозволяє не тільки відображати вже відомі просторові закономірності, але й проводити аналіз, виявляти та візуалізувати взаємозв'язки між джерелами забруднення та якістю води, визначати достовірність інформації за джерелами забруднення, виконувати районування за факторами забруднення та якістю поверхневих вод, зокрема при недостатньому обсязі гідрохімічних даних [12].



*Рис. 2 – Порівняння отриманих результатів при використанні різних методів*

Аналіз вивченості екологічного стану р. Сіверський Донець та її основних приток за показниками хімічного складу одного з найбільш техногенно-навантажених регіонів свідчить про стійкі незворотні зміни в якісному та кількісному складі поверхневих вод її басейну [6–10].

На сьогодні нами створено базу даних для прийняття рішень з управління водними ресурсами басейну р. Сіверський Донець. Також побудовані карти з локалізацією постів Державної гідрометеорологічної служби України та локалізацією підприємств, що звітуються за формою № 2–ТП (водгосп) водокористувачів в межах басейну р. Сіверського Дінця.

Окрім статистичних даних, для оцінки стану поверхневих вод у басейні р. Сіверський Донець були використані матеріали космічної зйомки, що отримані з різних джерел:



TERRA/MODIS, NOAA, QuickBird, LANDSAT, SPOT, ICONOS, фондів Державного науково-виробничого центру „Природа” (м. Харків), глобальної комп’ютерної мережі Інтернет.

Результати дешифрування космічних знімків інтегровані у базу геоданих факторів впливу на клас якості води басейну р. Сіверський Донець, що була підключена у ГІС, та проведений комплексний просторовий аналіз за базами класів якості об’єкту дослідження.

На підставі наявних геоданих побудовані картографічні моделі динаміки забруднень поверхневих вод басейну р. Сіверський Донець.

Оцінка якості поверхневих вод здійснюється відповідно до Методики по розрахунку антропогенного навантаження і класифікації екологічного стану басейнів малих річок України, розроблену колективом Українського науково-дослідного інституту водогосподарсько-екологічних проблем (м. Київ) [13] та затверджену на державному рівні.

Враховуючи переваги цієї методики, з одного боку, та потужні можливості сучасного інструментарію ГІС технологій, з іншого боку, відкривається можливість автоматизувати процес розрахунку якості води.

Для доповнення картографічної моделі виконані розрахунки антропогенного навантаження і класифікації екологічного стану басейнів малих річок України у середовищі ГІС-паketу ArcGIS.

Методика запрограмована на базі спеціалізованої мови Python, що вбудована в основу програмного продукту ArcGIS та має змогу інтегрувати у своє середовище багаточисельні протоколи зовнішніх бібліотек сучасних мов програмування.

Як результат – отримано класи якості води в кожному з пунктів спостереження (рис. 3).

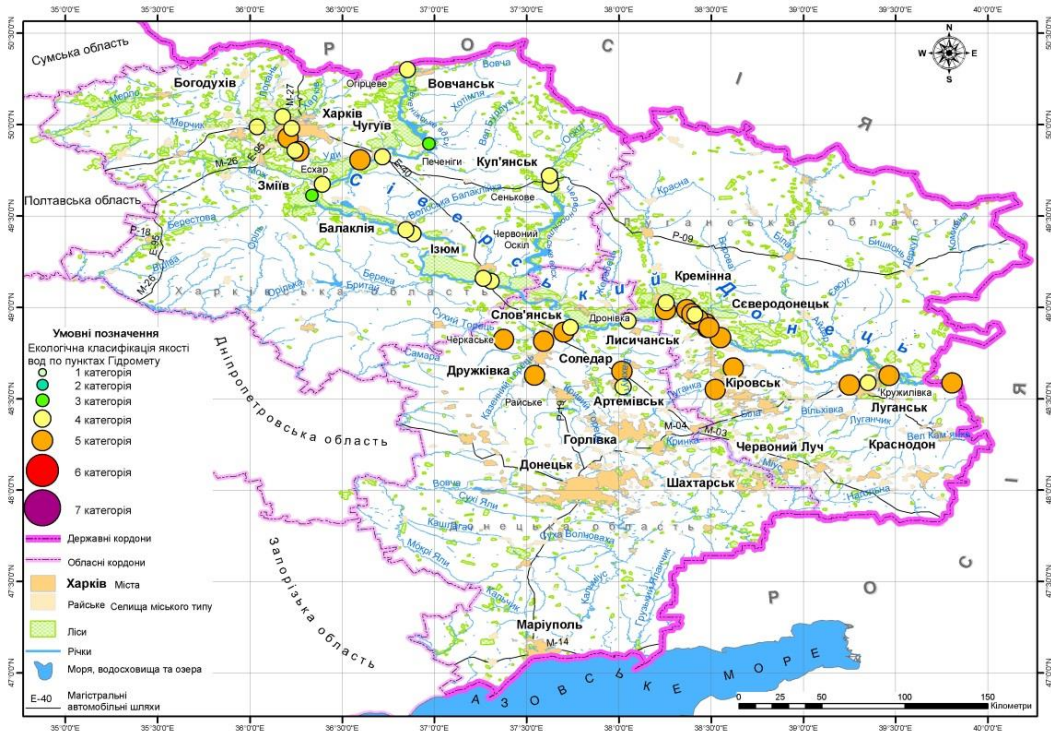


Рис. 3 – Екологічна класифікація якості поверхневих вод р. Сіверський Донець по пунктах Держгідромету

Оцінити стан поверхневих водних об'єктів за класами та категоріями якості можливо тільки в місцях відбору проб. В умовах постійного скорочення кількості пунктів спостереження та періодичності відбору проб складно оцінити та прийняти рішення, тому бажано знати рівень забруднення в будь якій точці басейну річки. Для побудови моделей просторового розподілу якості поверхневих вод використані геостатистичні методи, що включені до складу додаткового модуля ArcGIS Geostatistical Analyst [14].

Дослідження результатів контролю якості поверхневих вод басейну р. Сіверський Донець проведено з використанням усіх геостатистичних методів: ординарний, простий; універсальний; вірогіднісний; диз'юнктивний та індикаторний кригінги.

Метод простого кригінгу є оптимальним для інтерполяції якості поверхневих вод басейну. Метод індикаторного кригінгу дозволяє будувати поверхні вірогідності зміни якості поверхневих вод басейну.

Використовуючи бази геоданих постів спостереження Держгідромету та підприємств, що звітуються за державною статистичною формою 2-ТП водгосп за допомогою модуля Geostatistical Analyst, проведено геостатистичний аналіз, в результаті якого отримана інтерполяційна поверхня значень рівня забруднення поверхневих вод басейну р. Сіверський Донець (рис. 4).

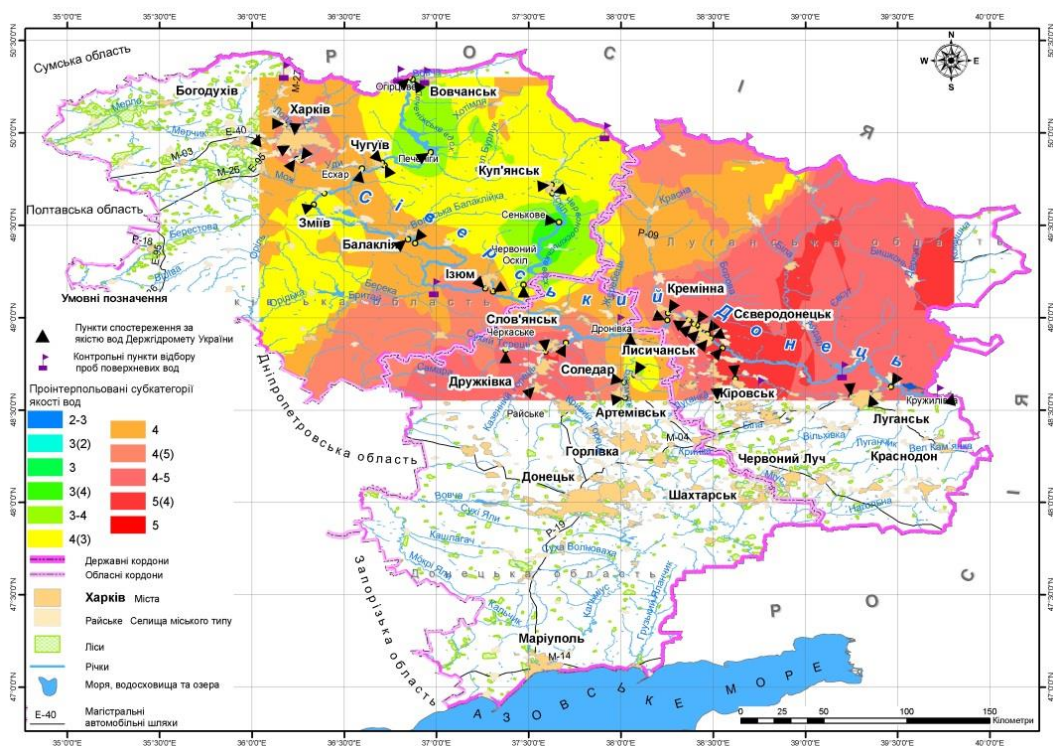


Рис. 4 – Карта інтерпольованих значень рівня забруднення басейну р. Сіверський Донець

Значення якості води, розраховане традиційними методами згідно із затвердженою методикою у контрольних створах, та значення якості води в цих же пунктах, але отримане в результаті інтерполяції за допомогою модуля Geostatistical Analyst програми ArcGis, відхиляється не більше ніж на 5–7%.

Результати дослідження дозволяють підтвердити достовірність побудованої інтерпольованої поверхні якісних характеристик поверхневих вод басейну р. Сіверський Донець у повному обсязі.

Просторовий аналіз стану якості ґрунтів та поверхневих вод був використаний у розробці макетів предметно-орієнтованих підсистем інформаційної підтримки управління сталим розвитком територій Київської і Луганської областей в середовищі корпоративних ГІС обласних державних адміністрацій.

Запропонована архітектура і склад програмного забезпечення на базі ГІС-платформи ArcGIS забезпечує їх інформаційне і програмне узгодження з існуючими урядовими інформаційно-аналітичними системами.

Розроблені авторами картографічні інформаційні системи раціонального природокористування – це організована сукупність відкритих інформаційних ресурсів, інформаційних технологій, комплексу програмно-технічних засобів. Вони призначені для ефективної реалізації інформаційних процесів, пов'язаних з діяльністю місцевих органів виконавчої влади. Ці системи спроможні інтегрувати, агрегувати, систематизувати інформацію з різних первинних джерел, відтворювати цілісну картину існуючого природокористування та виявляти тенденції його розвитку.

### **Список використаної літератури**

1. Греков Л.Д., Красовський Г.Я., Трофимчук О.М. Космічний моніторинг забруднення земель техногенним пилом. – К.: Наук. думка, 2007. – 123 с.
2. Красовський Г.Я., Трофимчук О.М., Крета Д.Л., Клименко В.І., Пономаренко І.Г., Суходубов О.О. Синтез картографічних моделей забруднення земель техногенним пилом з використанням космічних знімків // Екологія і ресурси. – 2005. – № 12. – С. 37–55.
3. ОНД–86. Методика расчета в атмосферном воздухе концентраций вредных веществ, что содержатся в выбросах предприятий. – М.: Госгидромет, 1987.
4. Моніторинг забруднення атмосфери техногенним пилом (на прикладі м. Українка) з використанням ДЗЗ, інформаційний звіт з ДКР. – К. «ЕКОМЕДСЕРВІС», 2004. – 42 с.
5. Концепція розвитку водного господарства України Постанова Верховної Ради України від 14 січня 2000 року № 1390-XIV.
6. Государственный водный кадастр. Ежегодные данные о качестве поверхностных вод суши, 1997 г. / [ответственный редактор Радзиевская Н.Г.]. – К.: Государственный комитет Украины по гидрометеорологии, 1998 – Ч. 1 и 2: Выпуск 3. – 1998. – 252 с.
7. Государственный водный кадастр. Ежегодные данные о качестве поверхностных вод суши, 2000 г. / [ответственный редактор Радзиевская Н.Г.]. – К.: Государственный комитет Украины по гидрометеорологии, 2001. – Ч. 1 и 2: Выпуск 3. – 2001. – 274 с.
8. Государственный водный кадастр. Ежегодные данные о качестве поверхностных вод суши, 2002 г. [ответственный редактор Радзиевская Н.Г.]. – К.: государственный комитет Украины по гидрометеорологии, 2003. – Ч. 1 и 2: Выпуск 3. – 2003. – 278 с.

9. Государственный водный кадастр. Ежегодные данные о качестве поверхностных вод суши, 2003 г. / [ответственный редактор Колесник И.А., редактор Радзиевская Н.Г.]. – К.: Государственный комитет Украины по гидрометеорологии, 2004. – Ч. 1 и 2: Выпуск 3. – 2004. – 281 с.

10. Государственный водный кадастр. Ежегодные данные о качестве поверхностных вод суши, 2004 г. / [ответственный редактор Колесник И.А., редактор Радзиевская Н.Г.]. – К.: Госком. Украины по гидрометеорологии, 2005. – Ч. 1 и 2: Выпуск 3. – 2005. – 278 с.

11. «Положення про державну систему моніторингу довкілля» затверджене постановою Кабінетом Міністрів України від 30 березня 1998 р. № 391.

12. Красовський Г.Я. Космічний моніторинг безпеки водних екосистем із застосуванням геоінформаційних технологій / Г.Я. Красовський. – К.: Інтертехнологія, 2008.– 480 с.

13. Методика по розрахунку антропогенного навантаження і класифікації екологічного стану басейнів малих річок України / УНДІВЕР, 2-ге видання перероблене та доповнене. – К.: „Полімед” – 2007. – 71 с.

14. ArcGis Geostatistical Analyst. Руководство пользователя: Пер. с англ. / К. Джонсон, Д.М. Хоеф, К. Криворучко, Н. Лукас. – М.: Дата +, 2002. – 278 с.

*Стаття надійшла до редакції 14.01.14 українською мовою*

**© Y.S. Anpilova, V.I. Klimenko, D.L. Kreta, A.N. Trofymchyk  
SPATIAL ANALYSIS FOR SOIL CONTAMINATION AND SURFACE WATER  
POLLUTION BY USING REMOTE SENSING AND GIS**

*This paper consider methods allow determining the regularities of changes in the soil quality and in the surface water quality, in particular determining the areas with excessive concentrations of contaminants which have a negative impact on the ecological condition of the river basin and of soil. Also it allows construction of analytical and cartographic models based on the GIS system and the space survey data.*

**© Е.С. Анпилова, В.И. Клименко, Д.Л. Крета, А.Н. Трофимчук  
ПРОСТРАНСТВЕННЫЙ АНАЛИЗ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ЗАГРЯЗНЕНИЙ  
ВОД И ПОЧВ МЕТОДАМИ ГИС И ДЗЗ**

*В этой статье рассмотрены методы, позволяющие выявить закономерности изменения качества поверхностных вод и почв, а именно зоны повышенной концентрации загрязняющих веществ, которые влияют на их экологическое состояние, а также полученные картографические модели с использованием возможностей геоинформационных систем и материалов космической съемки.*

УДК 502.5+502.06

© О.В. Цікало<sup>1</sup>, аспірант;  
С.П. Іванюта<sup>2</sup>, канд. техн. наук, старш. наук. співробітник

<sup>1</sup>Інститут телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України, м. Київ;

<sup>2</sup>Національний інститут стратегічних досліджень, м. Київ

## АНАЛІЗ ДОСВІДУ КРАЇН ЄС У СФЕРІ ЗАПОБІГАННЯ НЕГАТИВНИМ НАСЛІДКАМ СТИХІЙНИХ ЛИХ

*Проаналізовано актуальні підходи ЄС у сфері запобігання стихійним лихам різного характеру та пом'якшення їх негативних наслідків. Окреслено перспективи створення в Україні сучасних механізмів зниження ризику стихійних лих як дієвого засобу підвищення стійкості держави до негативних наслідків реалізації актуальних загроз природного походження.*

**Ключові слова:** стихійні лиха, ризик, надзвичайні ситуації, міжнародне співробітництво, безпека, збалансований розвиток.

Нині на території України відбувається значна кількість надзвичайних ситуацій (НС) різного походження з масштабними негативними наслідками для населення і навколишнього середовища. Так, у 2012 р. в Україні сталося 212 НС, в результаті яких завдано збитків на 237,5 млн грн [1]. Крім того, через аварію на Чорнобильській АЕС наша держава втратить близько 180 млрд доларів до 2015 р., що складає близько 4 річних бюджетів. За експертними оцінками, світова економіка втратила близько 140 млрд доларів внаслідок природних і техногенних катастроф у 2012 р. і близько 350 млрд – у 2011 р.

Треба також враховувати, що внаслідок глобальних змін клімату основну складову переліку загроз у найближчому майбутньому становитимуть гідрометеорологічні явища. За оцінками ООН найближчим часом на території більшої частини Європи відбуватиметься суттєве зростання частоти повеней: з одного разу на 100 років до одного разу у 5–15 років [1]. Стосовно України можна відмітити, що катастрофічні наслідки повеней 2001, 2008 та 2010 рр. у західних регіонах держави вкотре продемонстрували необхідність вжиття заходів із зниження ризиків природних катастроф гідрометеорологічного походження. Треба також враховувати, що економічні збитки внаслідок надзвичайних ситуацій (НС) природного походження значно перевищують збитки від техногенних НС (табл. 1).

Така ситуація в сукупності з підвищенням уразливості населення в результаті демографічних, технологічних і соціально-економічних трансформацій, що відбуваються в умовах поширення процесів урбанізації, погіршення стану довкілля, глобальних змін клімату, а також епідемій ВІЛ/СНІД, може призвести до того, що вже у найближчому майбутньому стихійні лиха будуть становити все більшу загрозу для світової економіки, населення

## **Екологічна безпека та природокористування**

і збалансованого розвитку. Дані ООН свідчать про те, що за останні два десятиліття від різних катастроф щорічно постраждали більше 200 млн чоловік.

*Таблиця 1 – Характеристика НС в Україні протягом 2000–2010 рр. [1]*

Тип НС	Кількість НС	Обсяг збитків, тис. грн
Пожежі, вибухи	928	1015453
Медико-біологічні НС	815	34366
Метеорологічні НС	780	4681500
Аварії чи катастрофи на транспорті	541	62703
Аварії в електроенергетичних системах	277	41714
Аварії у системах життєзабезпечення	249	216210
Пожежі в природних екологічних системах	157	106454
Нещасні випадки з людьми	156	802
НС унаслідок наявності у навколишньому середовищі шкідливих і радіоактивних речовин понад ГДК	124	76038
Раптове руйнування будівель і споруд	120	101764
Геологічні НС	117	467714
Гідрологічні НС поверхневих вод	60	4845643
Аварії систем телекомунікацій	21	2474
Аварії на очисних спорудах	8	20477
Гідрологічні морські НС	8	14478

Динаміка зміни призводить до підвищення частоти та інтенсивності повеней та паводків. Існує потреба застосування міждисциплінарного підходу до вирішення проблеми з огляду на поточні загрози; важливими є додаткові фактори ризику, зокрема такі як руйнування русел річок, обмежена здатність прогнозувати надзвичайні погодні умови та роль дренажу і знеліснення у поширенні зсувів ґрунту.

Існує потреба у створенні системи управління ризиками на місцевому рівні, що може бути реалізована в межах підходу, заснованого на залученні громад, що дозволило б поєднати у проектах заходи зі зниження ризиків з розширенням заходів зі створення додаткових джерел доходів для населення і, таким чином, мало б очевидний вплив на рівень життя місцевих громад. Існуючі на місцях структури подолання наслідків стихійних лих буде переорієнтовано на здійснення заходів зі зниження ризику.

Підвищення середньої температури повітря і збільшення кількості опадів, що є наслідком глобальної зміни клімату, призводять до стихійних лих і глобальних катастроф в усьому світі. Наслідком таких змін є збільшення кількості та інтенсивності повеней у прибережних районах, посухи, аномально висока або низька температура повітря. Все це призводить до незворотних змін у екосистемі та діяльності і способах життя людей.

На жаль, зміни, які вже почали відбуватися, не можливо відволікти. Тому всьому людству необхідно буде пристосовуватись до нових умов, змінюючи спосіб господарювання та життєвий устрій, до якого вони звикли.

З цього приводу багато європейських і світових організацій та спільнот проводять роботу на місцевих, національних та глобальних рівнях. Розроблено чимало програм дій, опубліковано багато наукових статей та проведено чимало наукових конференцій. Але основним завданням в боротьбі зі зміною клімату є організація всіх держав в єдине ціле, тому що вирішення цього питання лише на національному рівні є неможливим і не матиме бажаного результату. Першочерговим завданням є перехід на низьковуглецевий рівень розвитку, що потребує нових технологій у господарюванні.

23 лютого 2009 р. Європейська Комісія прийняла комюніке по Соціальному підходу до запобігання природних і антропогенних катастроф, де визначила загальну схему запобігання катастроф і запропонувала заходи для мінімізації впливу катастроф. Документ закликає до розробки політики Євросоюзу та окремих країн, яка підтримувала б цикл запобігання наслідків катастроф: запобігання – готовність – реагування – відновлення.

У прийнятих 30 листопада 2009 р. Висновках Ради по рамковій програмі Співтовариства щодо запобігання катастроф всередині Євросоюзу наголошується, що визначення та аналіз загроз і ризиків, оцінка та матриці ризиків, розробка сценаріїв, заходи з управління ризиками і регулярні перегляди є основними компонентами рамкової програми Європейського союзу щодо запобігання катастроф і політики запобігання на всіх рівнях управління, і підкреслюється потенціал доданої цінності від роботи Європейського союзу в цих областях.

Висновки Ради закликають Комісію разом з країнами-членами до кінця 2010 року розробити керівні правила, беручи до уваги роботу на національному рівні за методами картографування, оцінки та аналізу загроз і ризиків з тим, щоб сприяти таким діям у країнах-членах і забезпечити кращу співставленість між країнами-членами.

Висновки Ради також пропонують країнам-членам до кінця 2011 р. далі розвинути національний підхід і процедури управління ризиками, включаючи аналіз ризиків, розгляд основних можливих природних і техногенних катастроф, беручи до уваги майбутній вплив зміни клімату. Країнам-членам також пропонується використовувати керівні правила за методами оцінки і картографування ризиків, які будуть розроблені Комісією.

За оцінками фахівців до 2050 р. населення світу збільшиться на 3 млрд осіб, що значно посилить тиск на екосистему, збільшить конкуренцію за доступ до питної води та продуктів харчування. Вирішення проблеми харчування і проживання такої кількості людей має бути зроблене в умовах суворого клімату зі збільшенням штормів, засух і повеней. Так що сільське господарство має стати більш продуктивним, отримувати більше врожаю на краплю води і на гектар, але без збільшення втрат. І всім державам доведеться покласти набагато більше зусиль на захист екосистем. Щоб уникнути більшого втягнення землі в обробку, продуктивність сільського господарства доведеться підвищувати, можливо, на цілих 1,8 % на рік у порівнянні з 1 відсотком на рік без зміни клімату. Велика частина цього збільшення припаде на країни, що розвиваються, оскільки сільське господарство в країнах з високими доходами вже близьке до максимально можливої прибутковості.

Така культивацийна практика, як нульова обробка ґрунту (яка припускає введення насіння безпосередньо в ґрунт замість посіву на ріллі) у поєднанні з правильним управлінням

і правильним використанням добрив може сприяти збереженню вологи в ґрунті, максимальній інфільтрації води, збільшенню накопичення вуглецю, мінімізуванню поживного стоку та підвищенню врожайності. Нульова обробка в основному була прийнята в країнах з високими доходами, але швидко зростає в таких країнах, як Індія. У 2005 році в системах рисово-пшеничних вирощуваннях Ганської рівнини фермерами прийнята нульова обробка ґрунту на 1,6 млн га, до 2008 року 20–25 відсотків пшениці у двох індійських штатах (Харьяна і Пенджаб) культивувалися з використанням мінімальної обробки ґрунту. А в Бразилії близько 45% орних земель обробляли за допомогою цієї практики.

Методи точного землеробства для цільового, оптимального і своєчасного застосування мінімально необхідного добрива та води можуть допомогти інтенсивному господарству країн з високим рівнем доходів, скоротити викиди і поживний стік і збільшити ефективність використання води. Нові технології, які обмежують викиди газоподібного азоту, включають контроль за вивільненням азоту через глибоке розміщення супергранульованих добрив або додавання добрив біологічних інгібіторів. Технології дистанційного зондування для передачі точної інформації про вологість ґрунту і іригаційні потреби можуть усунути зайве додавання води. Деякі з цих технологій можуть залишатися занадто дорогими для більшості фермерів в країнах, що розвиваються. Але інші технології, такі як додавання біологічних інгібіторів, не вимагають додаткової праці та підвищення продуктивності праці.

Нові технології, такі як уловлювання та зберігання вуглецю, біопаливо другого покоління і сонячні батареї, також мають важливе значення. Небагато необхідних нових технологій доступні в готовому вигляді. Поточне уловлювання та зберігання в продемонстрованих проектах в даний час зберігають тільки близько 4 млн тонн CO<sub>2</sub> на рік. Для повного доказу життєздатності цієї технології в різних регіонах потрібно налаштувати близько 30 повнорозмірних заводів на загальну суму в \$ 75 млрд до \$ 100 мільярдів. Необхідний об'єм зберігання – це 1 млрд тонн на рік CO<sub>2</sub> до 2020 року, щоб залишитися в межах 2° С потепління. Інвестиції в дослідження біопалива теж потрібні. Розширення виробництва з використанням поточного покоління біопалива буде витіснити великі площі природних лісів і лугов і конкурувати з виробництвом продуктів харчування. Біопаливо другого покоління, яке покладається на нехарчові культури, може зменшити конкуренцію із сільським господарством, використовуючи більш маргінальні (крайні) землі. Але вони ще можуть призвести до втрати пасовищ і лугов екосистем і конкурувати за водні ресурси.

У боротьбі зі зміною клімату, а також у попередженні виникнення катастрофічних повеней та паводків, які завдають нищівних збитків, необхідна загальна співпраця всіх країн. Глобальне співробітництво в масштабах, необхідних для боротьби зі зміною клімату, може відбутися тільки якщо вона заснована на глобальній угоді, яка відповідає потребам і труднощам країн, що розвиваються, тільки якщо вона може відокремити, де пом'якшення походить від того, хто несе тягар цієї роботи, і тільки якщо вона створює фінансові інструменти для заохочення та сприяння пом'якшенню наслідків, навіть у тих країнах, які багаті вугіллям, і тих, які бідні в доходах, або тих, які зробили малий внесок або взагалі нічого не зробили для історичної зміни клімату. Чи ці країни зможуть скористатися можливістю, щоб приступити до



більш стійкого шляху розвитку, буде в значній мірі залежати від фінансової та технічної підтримки, яку країни з більш високим рівнем доходів зможуть зібрати. В іншому випадку витрати перехідного періоду можуть бути непомірно високими. Однак глобальне співробітництво буде вимагати більшого, ніж фінансові внески. Соціальна психологія показує, що люди схильні відкидати домовленості, які вони сприймають як несправедливі по відношенню до них, якщо вони в подальшому виграють від цього. Тому той факт, що ця співпраця буде в інтересах всіх, не є гарантією успіху.

Іншою серйозною проблемою в країнах, що розвиваються, є технологія доступу. Інновації в пов'язаних з кліматом технологіях залишаються зосередженими в країнах з високим доходом, хоча країни, що розвиваються, збільшують свою участь (Китай посідає сьоме місце в загальному патенті відновлюваної енергії, і індійська фірма в даний час є лідером в області на шляху електричних машин). Крім того, країнам, що розвиваються, принаймні, меншим або біднішим – може знадобитися допомога, щоб виробити нову технологію або адаптувати її до своїх умов. Це особливо проблематично для адаптації, де технології можуть бути дуже специфічними залежно від географічного розташування. Міжнародні трансфери технологій досі були скромнішими. З них відбулися в кращому випадку одна третина з проектів, що фінансуються в рамках Механізму чистого розвитку (МЧР), основного каналу для фінансування інвестицій в низьковуглецеві технології у країнах, що розвиваються. Міжнародне співробітництво має вирішальне значення для виробництва і обміну технологіями.

Тому розробляючи нові принципи і технології моніторингу і попередження проходження катастрофічних повеней і паводків, необхідно залучати інші держави і сторони, що зацікавлені в цьому, а також використовувати європейський досвід у цій сфері. Так, Директива 2007/60/ЄС Європейського парламенту і Ради від 23 жовтня 2007 року про оцінку і управління ризиками паводків вказує на необхідність розробки загальних спеціалізованих карт кожною державою, на яких буде вказано райони, потенційно схильні до підтоплення з градацією частоти ризиків таких підтоплень. Такі карти мають містити приблизну чисельність населення підтоплюваної території, інформацію щодо виду економічної діяльності на таких територіях, потенційно небезпечних об'єктів та інші дані, які можуть бути важливими для цього питання. На основі таких карт мають бути розроблені плани з управління ризиками повеней і паводків. Для оцінки ризику виникнення паводків обов'язково необхідно враховувати опис паводків, що відбулися в минулому, і їх наслідки для навколишнього середовища та здоров'я людей.

Зараз на міжнародній арені широко визнається той факт, що цілеспрямовані зусилля щодо зниження ризиків техногенних катастроф і стихійних лих мають систематично інтегруватися в політику, плани і програми збалансованого розвитку і скорочення масштабів бідності за регіонального і міжнародного співробітництва у цій сфері. В документах ООН збалансований розвиток, подолання бідності, належне управління і зниження ризику катастроф є взаємозалежними та пов'язаними завданнями, і тому для їх ефективного вирішення у майбутньому наголошується на активізації зусиль із створення на регіональному і загальнодержавному рівнях необхідних передумов для зменшення цього ризику. Такий підхід визнається

багатьма країнами як важливий складовий елемент для досягнення узгоджених на міжнародному рівні завдань збалансованого розвитку у відповідності до цілей Декларації тисячоліття [3].

Важливість координації зусиль із зниження ризику стихійних лих на міжнародному і регіональному, а також національному та місцевому рівнях в останні декілька років знайшла своє відображення в низці рамкових багатосторонніх програм і декларацій. Серед них важливе значення має «Іокогамська стратегія безпечнішого світу: Керівні принципи запобігання стихійним лихам, забезпечення готовності та пом'якшення їх наслідків», що була прийнята в 1994 р. і зараз є базовим документом ООН у сфері зниження ризику стихійних лих і пом'якшення їх негативних наслідків [4].

На Всесвітній конференції із зниження ризику стихійних лих (2005 р.) представники урядів 168 країн, включаючи Україну, прийняли Хіогську Рамкову Програму Дій (ХРПД) на 2005–2015 рр.: «Створення потенціалу протидії лихам на рівні держав і громад». У програмі наголошується на необхідності "підтримати створення і зміцнення національних комплексних механізмів, таких як багатогалузеві національні платформи", а також надання пріоритету заходам із зниження ризику стихійних лих (ЗРЛ) на національному і місцевому рівнях [5].

Поняття "Національна платформа зниження ризику лих" в країні визначається як певний механізм у вигляді форуму або комітету за участю зацікавлених сторін, який служить для пропагування заходів ЗРЛ на різних рівнях і забезпечує координацію зусиль, аналіз інформації та надання рекомендацій за пріоритетними напрямками, що вимагають відпрацювання заходів у рамках скоординованого процесу [6].

Національна платформа має виконувати функції координаційного механізму для включення ЗРЛ в політику, плани і програми розвитку як основного компонента ХРПД. Стратегічною метою Національної платформи ЗРЛ є підвищення стійкості країни до негативних наслідків реалізації катастроф у процесі збалансованого розвитку держави шляхом виконання наступних завдань [7]:

- утворити координаційний механізм співпраці між зацікавленими сторонами для підвищення ефективності заходів ЗРЛ у відповідності до цілей ХРПД;
- сприяти створенню необхідних передумов для розвитку культури запобігання катастрофам у спосіб підвищення обізнаності щодо заходів ЗРЛ і важливості їх залучення до політики, планів і програм збалансованого розвитку;
- сприяти інтеграції ЗРЛ до національної політики, планів і програм соціально-економічного розвитку, а також в міжнародні програми надання допомоги.

Відповідно до рекомендацій ООН організація, що виконує функцію Національної платформи ЗРЛ, має бути діючою установою з досить високим статусом, що має можливість забезпечувати співпрацю між зацікавленими сторонами, а також відповідні повноваження для координації зусиль у сфері запобігання катастроф і зниження ризику їх виникнення на національному рівні. Крім того, ця установа повинна мати певні можливості для забезпечення керівництва процесом, а також ефективного виконання політичних зобов'язань, мобілізації необхідних ресурсів і знань у сфері ЗРЛ.

Про створення Національної платформи ЗРЛ країна повідомляє керівника регіонального підрозділу з просвітницьких програм секретаріату Міжнародної стратегії зниження небезпеки лих ООН офіційним листом від установи, що відповідає за процес ЗРЛ у державі.

Незважаючи на залучення України до Хіогської рамкової програми та позитивний досвід функціонування національних платформ у країнах Європи та СНД, в нашій державі до цього часу не створено такого механізму. Треба відзначити, що серед країн СНД на сьогодні національні платформи зниження ризику стихійних лих функціонують у Вірменії, Російській Федерації, Казахстані та Таджикистані. Що стосується сусідніх європейських країн, то відповідна платформа в даний час функціонує в Польщі, Угорщині, Туреччині. Привертає увагу той факт, що серед усіх європейських національних платформ зниження ризику стихійних лих більша частина (18) мають статус державної установи, і лише 3 функціонують як неурядові організації [8].

Враховуючи основні положення Іюкогамської стратегії, країни, що брали участь у Всесвітній конференції ООН із зменшення небезпеки лих в рамках Хіогської рамкової програми, вирішили протягом найближчих десяти років досягти суттєвого скорочення кількості людських жертв, а також соціальних, економічних і екологічних збитків внаслідок лих.

Досягнення цього результату безпосередньо пов'язується з вирішенням наступних стратегічних завдань [4]:

- ефективна інтеграція напрацювань щодо зниження ризику стихійних лих в політику, планування і розробку програм у сфері збалансованого розвитку на усіх рівнях з приділенням особливої уваги запобіганню лихам, підвищенню готовності до них і пом'якшенню їх негативних наслідків;
- створення інститутів і механізмів, зокрема на громадському рівні, що можуть сприяти нарощуванню потенціалу країни із протидії катастрофам різного походження;
- систематичний облік підходів щодо зниження ризику в процесі розробки і реалізації програм готовності до надзвичайних ситуацій, реагування на них і проведення відновлювальних заходів в інтересах реабілітації постраждалих.

Ефективне вирішення вказаних завдань потребує надання процесу зниження ризику стихійних лих статусу національного пріоритету, а також наявності міцної інституціональної бази для його забезпечення. Важливе значення матимуть також комплексні заходи щодо виявлення, оцінки та моніторингу основних чинників формування ризику стихійних лих і поліпшення при цьому методів і засобів їх раннього попередження.

Хіогська рамкова програма дій визначає, що усім державам слід прагнути до виконання певних завдань на національному і місцевому рівнях у співпраці з громадянським суспільством і іншими зацікавленими сторонами в межах своїх фінансових, людських і матеріальних можливостей з урахуванням положень внутрішнього законодавства та існуючих міжнародно-правових актів, що стосуються ЗРЛ. Серед цих завдань найбільш важливими є такі:

- підготовка і публікація результатів оцінки стану справ у сфері ЗРЛ з урахуванням можливостей, потреб і політики кожної держави, а також обмін такою інформацією з міжнародними організаціями;

- забезпечення відповідного національного координаційного механізму для реалізації положень ХРПД і надання інформації про це в секретаріат Міжнародної стратегії ООН зі зменшення ризику лих;
- публікація і періодичне оновлення інформаційних повідомлень стосовно національних програм у сфері зменшення ризику лих, пов'язаних із ХРПД;
- огляд досягнутого на державному рівні прогресу щодо реалізації положень ХРПД, включаючи аналіз витрат, стану моніторингу, оцінку уразливості і ризику в регіонах, схильних до прояву гідрометеорологічних і сейсмічних загроз;
- врахування у національних програмах зниження ризику стихійних лих впливу глобальних змін клімату, а також активізації геологічних процесів, насамперед землетрусів і зсувів.

У 2009 р. між Міністерством з питань надзвичайних ситуацій України та Програмою розвитку Організації Об'єднаних Націй було підписано Меморандум про взаєморозуміння щодо співробітництва у галузі зменшення ризиків природних катастроф та швидкого відновлення [9]. Таким чином, Уряд України через МНС узяв на себе певні зобов'язання щодо вжиття заходів із зниження ризиків катастроф та зменшення впливу потенційних загроз на соціально-економічний добробут населення.

У Меморандумі наголошується, що глобальні внески у зменшення ризиків катастроф є однією з необхідних передумов для досягнення Цілей розвитку тисячоліття, особливо у сфері збалансованого розвитку і зменшення рівня бідності, а також те, що питання зниження ризиків катастроф включені у глобальний стратегічний План Програми розвитку ООН на 2008–2011 роки. Україна визнає необхідність розширення існуючих підходів щодо реагування на катастрофи, зосереджуючи увагу на питаннях підвищення готовності та зниження ризиків, а також працює в напрямку розвитку Плану заходів із реалізації завдань ХРПД. У документі зазначено, що питання зниження ризиків, адаптації до глобальних кліматичних змін шляхом зменшення впливу, запобігання та пом'якшення наслідків реалізації загроз, запобігання збиткам і втратам у результаті гідрометеорологічних та техногенних катастроф є важливими елементами збалансованого розвитку.

За результатами підписання меморандуму заплановано виконання спільних з ООН проєктів за певними напрямками. Насамперед це виявлення, оцінка та моніторинг чинників формування ризиків лих, створення системи раннього оповіщення про катастрофи гідрометеорологічного походження в Карпатському регіоні. В рамках цього напрямку буде здійснено картографування зон підвищеної небезпеки на місцевому рівні, а також проведено оцінювання збитків сільському господарству та довкіллю.

Напрямок зниження основних факторів формування ризику природних катастроф буде реалізовуватись через проєкти на вразливих до повеней територіях підвищеного ризику з використанням біоінженерних методів і структурних заходів для зменшення збитків і втрат через прискорену ерозію річкових берегів і зсуви ґрунту. Для більш ефективного реагування на природні катастрофи на всіх рівнях за підтримки Програми розвитку ООН буде

забезпечено можливість використання космічних технологій в рамках положень Міжнародної Хартії «Космос та значні стихійні лиха».

Очевидно, що Державна служба з надзвичайних ситуацій має бути провідною установою для створення в Україні національної платформи ЗРЛ. До участі в ній доцільно залучити представників Ради національної безпеки і оборони України, Національного інституту стратегічних досліджень, Державного агентства лісових ресурсів, Державного агентства водних ресурсів, а також спеціалістів із тих регіонів України, які найбільше потерпають від стихійних лих і техногенних катастроф. Вкрай важливою також є участь міжнародних організацій, насамперед ООН, Представництва ЄС, Товариства Червоного Хреста України, навчальних закладів тощо.

Після створення національна платформа координуватиме зусилля країни у сфері зниження ризиків катастроф, а також мобілізуватиме ресурси приватних компаній і міжнародних організацій. В цілому це дозволить з максимальною ефективністю використовувати наявні ресурси захисту та концентрувати зусилля в умовах часових обмежень при катастрофах різного характеру, можливих на території України.

Світовий досвід показує, що створення національної платформи зниження ризику стихійних лих в Україні матиме низку переваг, серед яких підвищення позитивного іміджу нашої держави через дотримання взятих на себе зобов'язань відповідно до Хіогської рамкової програми дій, забезпечення координації зусиль зі зниження ризиків лих в Україні та із сусідніми державами, мобілізація ресурсів приватних компаній та міжнародних організацій, обмін досвідом з фахівцями у сфері зниження ризику стихійних лих з різних країн світу. Ефективне функціонування національної платформи в Україні за співробітництва з ООН у цій сфері сприятиме зниженню ризику катастроф різного походження, зменшенню втрат і витрат від їх реалізації, що дозволить істотно підвищити рівень захисту населення і довкілля.

\*\*\*

На сьогоднішній день Україна приєдналася до значної кількості природоохоронних Конвенцій та інших міжнародних договорів у сфері екологічної безпеки. Однак практична реалізація положень багатьох з них є вкрай недостатньою, що завдає шкоди міжнародному іміджу держави через неналежне виконання взятих на себе зобов'язань.

На відміну від більшості європейських країн, включаючи найближчих сусідів, до цього часу в Україні не створено національну платформу зниження ризику стихійних лих у відповідності до рекомендацій Хіогської рамкової програми дій, стороною якої є наша держава.

Актуальність створення цієї платформи підтверджується тим, що існуюча в країні система моніторингу загроз і зниження ризиків надзвичайних ситуацій різного походження не забезпечує проведення систематичних і обґрунтованих досліджень тенденцій і характеру змін основних джерел загроз екологічній безпеці держави та потребує кардинального удосконалення. Крім того, державна система захисту населення від катастроф природного та техногенного характеру потребує запровадження ризик-орієнтованого підходу для ефективного попередження катастроф різного характеру.

Наявна в країні нормативно-правова база недостатньо враховує позитивний зарубіжний досвід, основні положення Міжнародних документів у сфері зниження ризику катастроф різного походження та мінімізації їх негативних наслідків. Нині в Україні недостатньо використовуються можливості міжнародного співробітництва і міжнародних договорів у природоохоронній сфері через низький рівень імплементації положень цих документів у національне законодавство.

Очевидно, що загрозна ситуація в еколого-техногенній сфері вимагає більш активного використання успішного світового досвіду стосовно зниження ризиків надзвичайних ситуацій, а також відпрацювання спільних дій щодо їх нейтралізації шляхом активізації співробітництва України з країнами ЄС, СНД та міжнародними організаціями у цій сфері. В цьому зв'язку створення Національної платформи зниження ризику стихійних лих в Україні за співробітництва з ООН матиме важливе значення для підвищення рівня екологічної безпеки держави.

### **Список використаної літератури**

1. Національна доповідь про стан техногенної та природної безпеки в Україні у 2012 р. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://mns.gov.ua/content/nasdopovid2012.html>
2. The Role of Hydrometeorological Services in Disaster Risk Management. Proceedings from the joint workshop co-organized by: the World Bank, the United Nations International Strategy for Disaster Reduction, and the World Meteorological Organization. Washington, D.C. – March 12, 2012.
3. United Nations Millennium Declaration. Resolution adopted by the General Assembly. – UN, 2000. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.un.org/millennium/declaration/ares552e.htm>
4. International Decade for Natural Disasters Reduction. Yokohama Strategy and Plan of Action for a safer world. In: World conference on natural disaster reduction, Yokohama, Japan, 1994.
5. UNISDR (United Nations, International Strategy for Disaster Reduction). Hyogo framework for action 2005–2015: building the resilience of nations and communities to disasters. In: World conference on disaster reduction, Kobe, Japan, January 2005.
6. United Nations International Strategy for Disaster Reduction (UNISDR). 2004. Terminology: Basic Terms of Disaster Risk Reduction. UNISDR: Geneva.

*Стаття надійшла до редакції 31.01.14 українською мовою*

**© Е.В. Цикало, С.П. Иванюта**

**АНАЛИЗ ОПЫТА СТРАН ЕС В СФЕРЕ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ НЕГАТИВНЫХ  
ПОСЛЕДСТВИЙ СТИХИЙНЫХ БЕДСТВИЙ**

*Проанализированы актуальные подходы ЕС в сфере предотвращения стихийных бедствий разного характера и смягчения их негативных последствий. Очерчены перспективы создания в Украине современных механизмов снижения риска стихийных бедствий как действенного средства повышения стойкости государства к негативным последствиям реализации актуальных угроз природного происхождения.*

**© O.V. Tsikalo, S.P. Ivaniuta**

**ANALYSIS OF EXPERIENCE OF EU COUNTRIES IN THE FIELD OF PREVENTION  
OF NEGATIVE CONSEQUENCES OF NATURAL DISASTERS**

*Actual approaches of EU in the field of prevention of natural calamities of different character and softening of their negative consequences are analysed. The prospects of creation in Ukraine of modern mechanisms for risk reduction of natural disasters are outline dasan effective mean of increase of firmness of the state to the negative consequences of realization of actual threats of natural origin.*

---

---

## Розділ 2. Основи природокористування

---

---

УДК 504.54.477

© В.М. Удод, д-р біол. наук, професор;  
С.М. Абу Діб, аспірант

Київський національний університет будівництва і архітектури, м. Київ

### ЕКОЛОГІЧНА ОЦІНКА СТАНУ ПРИРОДНО-АНТРОПОГЕННИХ ЛАНДШАФТІВ В МЕЖАХ ДІЇ ІНЖЕНЕРНИХ ЛІСОЗАХИСНИХ КОНСТРУКЦІЙ

*Ефективність функціонального стану інженерних лісозахисних конструкцій стосовно відновлення агроландшафтів залежить від з'ясування причинно-наслідкових взаємозв'язків, які виникають в процесі формування та розвитку спеціалізованих мезоекосистем (СМЕ) захисного типу із ненасиченим біоценозом. Якісна ідентифікація формування структури СМЕ відбувається саме за рахунок визначення взаємозв'язків між основними компонентами. Кількісна ідентифікація формування структури СМЕ відбувається при використанні іконографічної математичної моделі, основою якої є підходи В.І. Вернадського щодо виникнення антропогенних ландшафтів. Отримані результати показали, що відбувається відновлення антропогенних ландшафтів в межах інженерних лісозахисних конструкцій (підтвердження – позитивна кількісна характеристика екологічної ситуації на агроландшафтах).*

**Ключові слова:** природно-антропогенні ландшафти, інженерні лісозахисні конструкції, мезоекосистеми, біоценози.

Екологічна ситуація в Україні характеризується значним техногенним навантаженням на природні ландшафти. На відміну від природних ландшафтів, антропогенно змінені ландшафти надзвичайно вразливі і потребують постійного захисту (1–3).

Водночас, за останні два десятиліття ефективність інженерно-захисної фітомеліорації (4) значно погіршилася. Існуючі нормативні еколого-методичні підходи зобов'язують, як правило, до визначення параметрів, що характеризують протидії геофізичним потокам, а поза увагою залишаються еколого-функціональні можливості лісових насаджень, які й забезпечують стійкий розвиток природних і соціально-економічних систем.

Одним із перспективних напрямків підвищення ефективності експлуатації інженерних лісозахисних конструкцій (ІЛЗК) стане застосування екологічного підходу визначення причинно-наслідкових взаємозв'язків в мезоекосистемах (МЕС), що дозволить оптимізувати





Ненасичені біоценози є вразливими до зовнішніх факторів. Без участі людини ненасичені біоценози не можуть довго існувати. Ось чому дуже важливо мати можливість прогнозувати їх подальший розвиток. Тому нами і було запропоновано здійснювати екосистемний контроль за станом ІЛЗК.

Ідентифікація структури СМЕ на якісному рівні дозволяє визначити функціональні взаємозв'язки між компонентами СМЕ та зовнішнім впливом на систему. Взаємозв'язки в СМЕ створюють нерозривні процеси між деревними породами, підліском, мікробіоценозом, зооценозом, едафотопом, кліматотопом, наслідком чого є виникнення механізму адаптації живих організмів до факторів навколишнього середовища. Відомо, що виключення хоча б одного з цих компонентів може призвести до втрати функціональних властивостей ЗЛН як фактора стабілізації антропогенного впливу на агроландшафти. Рушійним механізмом є отримання вихідних даних екологічного моніторингу функціонального стану деревостанів за 20-річний період (6, 7).

Нами запропонована модифікована методика визначення функціональних властивостей деревостанів по відношенню до ПАЛ. Функціональну активність деревостанів визначали шляхом порівняння ефективності поглинання діоксиду вуглецю, продукування кисню, затримання пилу та сажі із нормативними показниками.

Підтвердженням правильності вибору показників стали позитивні результати розрахунків коефіцієнтів кореляцій (функція Лагранжа) при застосуванні методу головних компонентів.

Загальна дисперсія всіх показників становила 82,6% (відповідно, 28,4%; 26,8%; 27,4% –  $C_1, C_2, C_3$  – впливу цих показників на складові СМЕ і, в першу чергу, ПАЛ).

У процесі взаємодії абіотичних і біотичних факторів сформульовано лінійну функцію еколого-стабілізуючого ефекту ЗЛН у відношенні до ПАЛ:

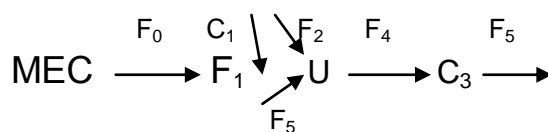
$$E_{ст} = \sum_{i=1}^n (X_{ij}) \cdot y, \text{ де}$$

$E_{ст}$  – еколого-стабілізуючий ефект дії ЗЛН;

$X_{ij}$  – відношення площі ЗЛН до сукупного об'єму поглинання діоксиду вуглецю, продукування кисню, затримання пилу і сажі ( $m^3/рік$ );

$y$  – індекс екологічної відповідності стану ПАЛ щодо природного стану ландшафту.

Концептуальна модель причинно-наслідкових зв'язків в СМЕ може бути представлена таким чином :



$C_1$  та  $C_2$  – узагальнені властивості ЗЛН та ПАЛ;

$F_0...F_5$  – потоки речовин;

U – взаємодія ЗЛН та ПАЛ;

C<sub>3</sub> (наслідок взаємодії) – відновлення екологічної ємності ландшафтів.

Окрім головних компонентів, значну роль у взаємодії компонентів СМЕ відіграє верхній шар геологічного середовища. Так, більшість контрольованих токсичних металів нерухомі або малорухомі в ґрунтах та характеризуються мінімальним та допустимим рівнями; на основі вивчення обміну в ґрунтах токсичних металів побудовано кумулятивний ряд – Mn < Zn < Pb < Ni < Cu < Cd. Стосовно змін вихідних концентрацій хлорорганічних сполук, можна констатувати, що контроль відбувався через дуже тривалий строк (1 рік) і тому, на наш погляд, їх залишкові концентрації в ґрунтах були нижче ГДК. Хоча підтвердженням відсутності впливу пестицидів є відновлення верхнього шару геологічного середовища до кількісного показника, що відповідає оптимальній екологічній ситуації (за показником екологічної ємності).

У формуванні ПАЛ (8) беруть участь усі складові СМЕ, і тому встановлені взаємозв'язки стали базовими даними для побудови іконографічної моделі, яка характеризує зміни на агроландшафтах при застосуванні інженерної лісозахисної фітомеліорації. Тобто, кількісна ідентифікація структури СМЕ відбувається із врахуванням причинно-наслідкових взаємозв'язків у СМЕ, які були зазначені у схемі концептуальної моделі. Іконографічна математична модель визначення екологічного стану ПАЛ ( $E_{\text{пал}}$ ) має наступний вигляд :

$$E_{\text{пал}} = \frac{dE_a \cdot K_2}{dt} + \frac{dE_r \cdot K_2 \cdot K_3}{dt} + \frac{dE_l \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4 \cdot K_5}{dt} + \frac{dE_{\text{злн}} \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_e}{dt}, \text{ де}$$

$dE_a/dt$  – взаємодія деревних порід з атмосферою: загальний об'єм поглинання діоксиду вуглецю, продукування кисню, затримання пилу та сажі ;

$dE_r/dt$  – взаємодія деревних порід із дощовими опадами, (м<sup>3</sup>/с, мм/рік);

$dE_l/dt$  – загальна сукупна забрудненість ґрунтів токсичними металами, пестицидами, нітрами;

$dE_{\text{злн}}/dt$  – сукупний об'єм поглинання діоксиду вуглецю, продукування кисню, затримання пилу та сажі;

$K_1$  – коефіцієнт природних умов України (9);

$K_2$  – коефіцієнт нормативної відповідності площі ЗЛН до площі агролісництва;

$K_3$  – коефіцієнт насичення ґрунтів вологою;

$K_4$  – коефіцієнт реалізації протиерозійних заходів;

$K_5$  – коефіцієнт зменшення гумусового шару із врахуванням його оптимального вмісту в ґрунтах;

$K_e$  – екологічна ємність ґрунтів, модифікована методика (10).

Кількісна ідентифікація формування структури СМЕ показала, що задіяні всі складові системи з їх причинно-наслідковими зв'язками між екологічними факторами.

Для оцінки екологічної ситуації на агроландшафтах нами розроблені (більшість) параметри і показники :  $K_2$ – $K_5$ ; індекс екологічної відповідності стану ПАЛ щодо природного стану ландшафту; модифіковані методики визначення: функціональних властивостей ЗЛН,

екологічної ємності ґрунтів тощо. Запропоновані параметри і показники частково висвітлені у роботі (11), інші – в наукових роботах, які знаходяться на етапі до друку в редакціях фахових н/видань.

Стосовно кількісних характеристик ідентифікації структури СМЕ слід зазначити, що висока ефективність функціональних можливостей ЗЛН приводить до відновлення екологічної ємності верхнього шару геологічного середовища та екологічний стан ПАЛ знаходиться в межах залежності  $0 < 0,8 < 1$  (ефективність протиерозійних заходів  $0 < 0,31 < 1$ ).

У роботі показано, що в межах ІЛЗК формується спеціалізована мезоекосистема із насиченим біоценозом, яка характеризується еколого-стабілізуючими функціями по відношенню до ПАЛ. Виходячи із концепції розвитку екосистем, ефективність відновлення ПАЛ залежить від з'ясування причинно-наслідкових зв'язків між компонентами СМЕ, результати яких спрямовані на корегування експлуатації ІЛЗК та попередження негативних наслідків агролісокористування.

### **Список використаної літератури**

1. Гладун Г.Б. Значення захисних лісових насаджень для забезпечення сталого розвитку агроландшафтів / Г.Б. Гладун // Науковий вісник. – 2005, в. 15, № 7. – С. 113–118.
2. Юхновський В.Ю. Лісоаграрні ландшафти рівнинної України: оптимізація, нормативи, екологічні аспекти / В.Ю. Юхновський. – К.: Ін-т аграрної економіки УААН, 2003. – 273 с.
3. Пилипенко О.І., Юхновський В.Ю., Дударець С.М., Малюга В.М. Лісові меліорації. – К.: Аграрна освіта, 2010. – 283 с.
4. Національна доповідь про стан навколишнього природного середовища в Україні у 2010 р. – К.: Мінприрода, 2012. – 254 с.
5. Кучерявий В.А. Урбоекологія с основами фитомелиораций. Часть II: Фитомелиорации. – М., 1991.
6. Абу Діб С.М. Екологічна оцінка стану лісових (захисних) екосистем Богуславського агролісництва Київського регіону / С.М. Абу Діб // Екологічна безпека та природокористування. – К.: РВВ КНУБА, 2011, в. 7. – С. 176–180.
7. Удод В.М. Роль захисних лісових насаджень в екологічній стабілізації стану агроландшафтів / В.М. Удод, С.М. Абу Діб // Екологічна безпека та природокористування. – К.: РВВ КНУБА, 2011, в. 8. – С. 119–130.
8. Мазур И.И. Инженерная экология / И.И. Мазур, О.И. Молдованов, В.Н. Шишов. – М.: Высшая школа, Т. 1, 1996. – 637 с.
9. Залеський І.І., Клименко М.О. Екологія людини. – К.: ВЦ «Академія», 2005. – 287 с.
10. Акимова Т.А. Экология: человек-экономика-биота-среда. / Т.А. Акимова. Экология: человек-экономика-биота-среда. – М.: ЮНИТИ, 2000. – 566 с.
11. Удод В.М. Структурно-функціональна оптимізація агролісомеліоративних еколого-економічних систем / В.М. Удод, С.М. Абу Діб // Екологічна безпека та природокористування. – К.: РВВ КНУБА, 2012, в. 9. – С. 105–108.

*Стаття надійшла до редакції 27.01.14 українською мовою*

© В.М. Удод, С.М. Абу Диб

**ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ПРИРОДНО-АНТРОПОГЕННЫХ  
ЛАНДШАФТОВ В ПРЕДЕЛАХ ДЕЙСТВИЯ ИНЖЕНЕРНЫХ  
ЛЕСОЗАЩИТНЫХ КОНСТРУКЦИЙ**

*Эффективность функционального состояния инженерных лесозащитных конструкций относительно восстановления агроландшафтов зависит от исследования причинно-последовательных связей, которые возникают в процессе формирования и развития специализированных мезоэкосистем (СМЭ) защитного типа с ненасыщенным биоценозом. Качественная идентификация формирования структуры СМЭ происходит именно за счет определения взаимосвязей между основными компонентами. Количественная идентификация формирования структуры СМЭ происходит при использовании иконографической модели, в основе которой лежат подходы В.И. Вернадского по поводу возникновения антропогенных ландшафтов. Полученные результаты показали, что происходит восстановление антропогенных ландшафтов в пределах инженерных лесозащитных конструкций (подтверждение – позитивная количественная характеристика экологической ситуации на агроландшафтах).*

© V.M. Udod, S.M. Abu Deeb

**ENVIRONMENTAL ASSESSMENT OF NATURAL AND ANTHROPOGENIC  
LANDSCAPES WITHIN THE SCOPE ENGINEERING FOREST PROTECTION DESIGNS**

*Forest protection engineering designs efficiency by the functional state for the restoration of agricultural landscapes depends on the research of cause and serial links that arise in the process of formation and development specialized mezoekosistems (SME) protective type with unsaturated biocenosis. The qualitative identification of structure formation SME occurs due to the definition of the relationship between the main components. Quantitative identification of structure formation MEA occurs by using iconographic models, which lie at the base in approaches of Vernadsky about the emergence of man-made landscapes. The results showed that there is a restoration of man-made landscapes within forest protection engineering structures (confirmation – positive quantitative characteristic of the environmental situation on the agricultural landscapes).*

УДК 001.5:519.7 : 626/627.8

© К.Г. Романчук, аспірант;  
Д.В. Стефанишин, д-р техн. наук

Інститут телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України, м. Київ

## **ІМОВІРНІСНИЙ АНАЛІЗ ПРИЧИН АВАРІЙНОГО ПЕРЕПОВНЕННЯ ВОДОСХОВИЩА-ОХОЛОДЖУВАЧА ХМЕЛЬНИЦЬКОЇ АЕС**

*Проаналізовано можливі причини аварійного переповнення водосховища-охолоджувача Хмельницької атомної електростанції (ХАЕС) внаслідок паводків на р. Гнилий Ріг. Здійснено оцінку ймовірності аварійного переповнення водосховища ХАЕС та встановлено найбільш ймовірні сценарій та причину розвитку аварійної ситуації при проходженні паводків.*

**Ключові слова:** аварійне переповнення водосховища, блокування водоскиду, дерево відмов і несправностей, ймовірність, ймовірність перевищення, прогнозування, сценарій розвитку аварійної ситуації.

**Вступ.** Водосховище-охолоджувач ХАЕС (рис. 1) розміщується на р. Гнилий Ріг, правій притоці р. Вілії, недалеко від місця її впадіння в р. Горинь. Водосховище, яке здатне виконувати функції багаторічного регулювання стоку р. Гнилий Ріг, утворюється криволінійною в плані земляною греблею, протяжністю до 7 км і максимальною висотою 13 м.

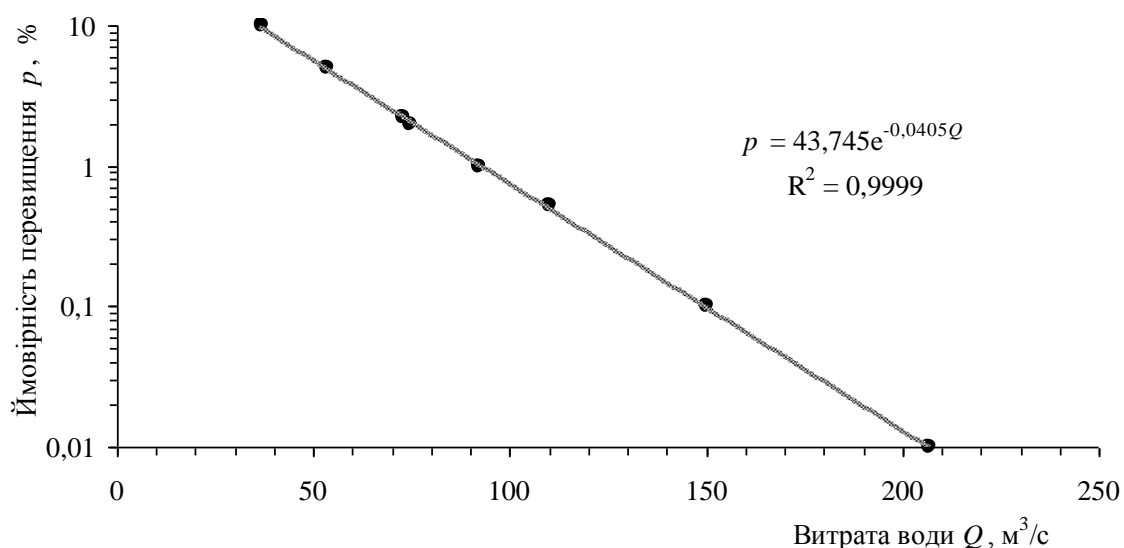


Рис. 1 – Водосховище-охолоджувач ХАЕС

Повний об'єм водосховища при нормальному підпірному рівні (НПР) (НПР = 203,0 м) складає 120 млн. м<sup>3</sup>, при форсованому підпірному рівні (ФПР = 203,7 м) ~ 132 млн. м<sup>3</sup>. Паводкові витрати води р. Гнилий Ріг різної ймовірності перевищення (забезпеченості) наведено в табл. 1. Криву ймовірностей перевищення максимальних витрат води р. Гнилий Ріг при  $p = 0,01\% \div 10\%$  наведено на рис. 2.

*Таблиця 1 – Паводкові витрати води р. Гнилий Ріг у створі греблі ХАЕС*

Ймовірність перевищення $p$ , %	0,01	0,1	1	2	5	10
Максимальна витрата води, м <sup>3</sup> /с	207	150	92,3	74,8	53,5	37



*Рис. 2 – Фрагмент кривої ймовірності перевищення максимальних витрат води р. Гнилий Ріг у створі греблі водосховища-охолоджувача ХАЕС*

Пропуск розрахункового паводку 0,01% ймовірності перевищення (період повторення 10000 років) передбачено здійснювати через паводковий водоскид у складі шахтного водозливу автоматичного типу, що конструктивно суміщається з донним водоспуском. Витрата води, що проходить через водозлив при ФПР, становить 110 м<sup>3</sup>/с. При форсуванні рівня вище 203,7 м пропуск надлишкової води здійснюється одночасно через автоматичний водозлив і донний водоспуск, для чого відкриваються глибинні робочі затвори.

Водозливний тунель паводкового водоскиду складається з трьох ниток водопропускних трактів, перекритих робочими затворами. У складі донного водоспуску знаходяться: сміттєзатримуючі решітки, ремонтні плоскі затвори, глибинні робочі плоскі затвори. Затвори обслуговуються електроталією ТЕ-500-92120-00 вантажопідйомністю 5 т.

Гідравлічними розрахунками було встановлено, що час переповнення водосховища до ФПР, протягом якого може бути здійснений підйом глибинного плоского затвору водоспуску, при працездатному водоскиді і витраті до 207 м<sup>3</sup>/с складе не менше 16 годин; при витраті до 150 м<sup>3</sup>/с – не менше 22 годин; при блокуванні одного з трактів і витраті 110 м<sup>3</sup>/с (ймовірність перевищення 0,52% або  $5,2 \cdot 10^{-3}$ , рік<sup>-1</sup>) – не менше 30 годин; при блокуванні двох

трактів і витраті до  $73,3 \text{ м}^3/\text{с}$  (ймовірність перевищення  $\sim 2,2\%$  або  $2,2 \cdot 10^{-2}$ , рік $^{-1}$ ) – не менше 45 годин; при повному блокуванні водоскиду і витраті до  $37 \text{ м}^3/\text{с}$  – не менше 90 годин.

**Актуальність задачі та мета досліджень.** Згідно з чинними нормами [1] земляна гребля водосховища-охолоджувача ХАЕС відноситься до найвищого (СС3) класу відповідальності за наслідками. Від її надійності значною мірою залежить безпека атомної електростанції.

Аналіз причин аварій на земляних греблях показує, що однією з найбільш ймовірних причин виникнення аварій на цих спорудах є переповнення водосховищ при паводках [2–5]. Переповнення водосховища може спричинити розвиток різних аварійних процесів на земляній греблі. В першу чергу неконтрольоване переповнення водосховища може призвести до переливу води через гребінь земляної греблі з наступним руйнуванням її тіла внаслідок поверхневої ерозії водними потоками [2–4]. Окрім того, при переповненні водосховища можуть посилюватися суфозійні процеси в тілі, основі та в межуваннях земляної греблі з берегами і бетонними спорудами, з загрозою порушення фільтраційної міцності греблі, а також понижується стійкість низового укосу, що може раптово сповзти [5].

Все це обумовлює актуальність задачі прогнозування і оцінки ймовірності переповнення водосховища-охолоджувача ХАЕС з метою встановлення найбільш ймовірних сценаріїв та причин розвитку аварійної ситуації при проходженні паводків.

**Загальна постановка задачі імовірнісної ідентифікації причин аварії.** Нехай  $\mathbf{E} = \{E_i\}$ ,  $i = \overline{1, n}$ , – злічена множина (група) в загальному випадку сумісних елементарних аварійних подій-причин  $E_i$ , апіорні ймовірності яких  $\hat{P}(E_i)$  відомі, можливої аварії  $A$  в системі  $\mathbf{S}$  із заданою структурною функцією  $\Psi(\mathbf{S})$  надійності, що відображає множину елементарних аварійних подій  $\mathbf{E}$  в системну аварію  $A$ :

$$\Psi(\mathbf{S}): \mathbf{E} \rightarrow A. \quad (1)$$

Розглянемо злічену множину ідеалізованих аварійних подій  $A_i$ ,  $i = \overline{1, n}$ , виникнення кожної з яких пов'яжемо з однією з аварійних подій-причин  $E_i$ ,  $i = \overline{1, n}$ , структурними функціями  $\Psi(\mathbf{S}_i)$  надійності (безпеки) системи  $\mathbf{S}$ :

$$\Psi(\mathbf{S}_i): E_i \rightarrow A_i, \quad i = \overline{1, n}, \quad (2)$$

за допомогою яких можна оцінити апіорні ймовірності  $\hat{P}(A_i)$  аварійних подій  $A_i$ ,  $i = \overline{1, n}$ .

Назвемо події  $A_i$ ,  $i = \overline{1, n}$ , сценаріями аварії  $A$ . Покладемо, що аварія  $A$  в системі  $\mathbf{S}$  може виникнути з будь-якої з подій-причин  $E_i$ ,  $i = \overline{1, n}$ , але розвиватиметься лише за одним зі сценаріїв  $A_i$  з імовірністю

$$P(A_i) = P(A) \cdot P(A_i / A), \quad (3)$$

де  $P(A_i / A)$  – ймовірність сценарію  $A_i$  за умови, що відбувається аварія  $A$  в системі  $\mathbf{S}$  [6]:

$$P(A_i / A) = \hat{P}(A_i) \cdot P(A / A_i) / \sum_{i=1}^n \hat{P}(A_i) \cdot P(A / A_i), \quad (4)$$



$P(A/A_i)$  – умовна ймовірність виникнення аварії  $A$  в системі за сценарієм  $A_i$ , яку представимо як нормалізовану «вагу» апріорної ймовірності  $\hat{P}(A_i)$  відповідного сценарію  $A_i$  серед апріорних ймовірностей всіх сценаріїв, що враховуються [7]:

$$P(A/A_i) = \hat{P}(A_i) / \sum_{i=1}^n \hat{P}(A_i). \quad (5)$$

Використання імовірнісної міри щодо нормалізованих «ваг» (5) можна виправдати тим, що будь-яка нормалізована система ненегативних величин підкоряється аксіомам теорії ймовірностей [8]. В результаті байєсівського перетворення ймовірностей (3)÷(5) отримуємо ранжирування  $i$ -х сценаріїв на основі «внесків» («ваг»)  $w(A_i)$  в імовірність аварії в системі:

$$w(A_i) = \frac{P(A_i)}{P(A)}, \quad (6)$$

та здійснюємо ідентифікацію найбільш імовірних з них.

**Оцінка ймовірності переповнення водосховища.** При розрахунках було використано логіко-імовірнісний метод дерев відмов і несправностей [9]. Формули, за якими оцінювалися ймовірності подій-наслідків за відомими (апріорними) ймовірностями причин в залежності від логічних операторів, якими моделюється логіка причинно-наслідкових зв'язків, наведено в табл. 2. Розрахункову діаграму дерева відмов і несправностей наведено на рис. 3.

**Таблиця 2 – Формули для розрахунку ймовірностей подій-наслідків  
діаграми дерев відмов і несправностей**

Логічний оператор	Розрахункові формули для оцінки ймовірності події-наслідку $A$
«АБО»	$P(A) = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - P(B_i)), \quad (7)$
«ВИКЛЮЧНЕ АБО»	$P(A) = \sum_{i=1}^n P(B_i), \quad (8)$
«І»	$P(A) = \prod_{i=1}^n P(B_i), \quad (9)$
«ЗАБОРОНА»	$P(A) = P(B) \cdot P(C), \quad (10)$
« $M$ з $N$ »	$P(A) = P(A)_m + P(A)_{m+1} + \dots + P(A)_n, \quad (11)$ <p>де <math>P(A)_m = (1 - (1 - P(B))^n) \cdot (1 - (1 - P(B))^{n-1}) \cdot (1 - (1 - P(B))^{n-m+1})</math>,  <math>P(A)_{m+1} = P(A)_m \cdot (1 - (1 - P(B))^{n-m})</math>, ..... , <math>P(A)_n = P(B)^n</math>, якщо  <math>P(B_i) = P(B)</math>, <math>i = \overline{1, n}</math>, <math>m &lt; n</math>.</p>

У формулах (7)÷(11) ймовірності:  $P(B_i)$  – події-причини  $B_i$ ;  $P(C)$  – події-умови  $C$ ;  $P(A)$  – події-наслідку  $A$ ;  $n$  – загальна кількість базових аварійних подій  $B_i$ , що є «входами» логічного оператора і які можуть спричинити настання результуючої події-наслідку  $A$ .



Виділялися шість модельних ситуацій (умов) пропуску паводків на р. Гнилий Ріг, за яких очікується перепоповнення водосховища-охолоджувача ХАЕС. Оцінка ймовірностей модельних ситуацій здійснювалася в рамках формування повної групи подій.

*Ситуація  $C_1$*  – витрати води р. Гнилий Ріг перевищують  $207 \text{ м}^3/\text{с}$  (ситуація стає аварійною при несправності будь-якого з елементів водопропускного фронту, коли зменшується пропускна здатність водоскиду). Ймовірність реалізації  $C_1$ :  $P(C_1) = 10^{-4}, \text{ рік}^{-1}$ .

*Ситуація  $C_2$*  – витрати води, що надходить у водосховище, перевищують  $150 \text{ м}^3/\text{с}$ , але не перевищують  $207 \text{ м}^3/\text{с}$  (шахтний водоскид працездатний, але заблоковано водоспуск, із запасом необхідний час для підйому глибинного плоского затвору водоспуску приймається рівним 16 годинам). Ймовірність  $P(C_2) = (10^{-3} - 10^{-4}), \text{ рік}^{-1} = 9 \cdot 10^{-4}, \text{ рік}^{-1}$ .

*Ситуація  $C_3$*  – витрати води р. Гнилий Ріг перевищують  $110 \text{ м}^3/\text{с}$ , але не перевищують  $150 \text{ м}^3/\text{с}$  (водоскид повністю працездатний, заблоковано водоспуск, із запасом необхідний час для підйому глибинного плоского затвору водоспуску приймається рівним 22 годинам). Ймовірність  $P(C_3) = (5,2 \cdot 10^{-3} - 10^{-3}), \text{ рік}^{-1} = 4,2 \cdot 10^{-3}, \text{ рік}^{-1}$ . Сума  $P(C_1) + P(C_2) + P(C_3) = 5,2 \cdot 10^{-3}, \text{ рік}^{-1}$ , при цьому складає ймовірність перевищення витрати  $110 \text{ м}^3/\text{с}$ .

*Ситуація  $C_4$*  – витрати води перевищують  $73,3 \text{ м}^3/\text{с}$ , але не перевищують  $110 \text{ м}^3/\text{с}$  (заблоковано один тракт водоскиду і заблоковано водоспуск, із запасом необхідний час для підйому глибинного плоского затвору водоспуску приймається рівним 30 годинам). Ймовірність  $P(C_4) = (2,2 \cdot 10^{-2} - 5,2 \cdot 10^{-3}), \text{ рік}^{-1} = 1,68 \cdot 10^{-2}, \text{ рік}^{-1}$ .

*Ситуація  $C_5$*  – витрати води перевищують  $37 \text{ м}^3/\text{с}$ , але не перевищують  $73,3 \text{ м}^3/\text{с}$  (заблоковано два тракти водоскиду і заблоковано водоспуск, із запасом необхідний час для підйому глибинного плоского затвору водоспуску приймається рівним 45 годинам). Ймовірність  $P(C_5) = (10^{-1} - 1,68 \cdot 10^{-2}), \text{ рік}^{-1} = 8,32 \cdot 10^{-2}, \text{ рік}^{-1}$ . Сума  $P(C_4) + P(C_5) = 10^{-1}, \text{ рік}^{-1}$ , при цьому складає ймовірність перевищення витрати  $37 \text{ м}^3/\text{с}$ .

*Ситуація  $C_6$*  – витрати води досягають  $37 \text{ м}^3/\text{с}$  (заблоковано три тракти водоскиду і водоспуск, необхідний час для підйому глибинного плоского затвору водоспуску приймається рівним 90 годинам). Ймовірність  $P(C_6) = 10^{-1}, \text{ рік}^{-1}$ .

*Ситуація  $C_7$*  моделює нормальну роботу водоскиду. Ймовірність події-умови  $C_7$  оцінювалася як ймовірність знаходження шахтного водоскиду в працездатному стані:

$$P(C_7) = 1 - (1 - P(B_{1.1})) \cdot (1 - P(B_{1.2})) \cdot (1 - P(B_{1.3})), \quad (12)$$

де  $P(B_{1.1}), P(B_{1.2}), P(B_{1.3})$  – ймовірності блокування першої, другої і третьої віток тунелю водоскиду при ситуації  $C_1$ , відповідно.

Блокування тунелю автоматичного шахтного водоскиду, як показує практика, може відбуватися внаслідок потрапляння в шахту різного роду плаваючих тіл. З врахуванням можливості виявлення плаваючих тіл ще до того, як вони будуть накопичуватися безпосередньо біля шахти, ймовірності  $P(B_{1.1}), P(B_{1.2}), P(B_{1.3})$  не повинні перевищити  $10^{-3}, \text{ рік}^{-1}$  [10].

Ймовірності блокування водоспуску внаслідок неможливості підйому глибинного затвору (внаслідок заклинювання в пазах, відмови підйомного механізму, в тому числі через втрату живлення) при різних ситуаціях  $C_1 \div C_6$  можна оцінити за формулою [9]:

$$P(t + t_r) = 1 - \exp\{-\lambda \cdot t \cdot \exp(-\mu \cdot t_r)\}, \quad (13)$$

де  $t$  – розрахунковий час служби механічного обладнання, протягом якого очікується хоча б одна робоча операція (із запасом ризику приймався рівним одному року,  $t = 1$  рік);  $\lambda = 4 \cdot 10^{-3}$ , рік<sup>-1</sup> [9] – інтенсивність відмов;  $\mu$  – інтенсивність відновлення працездатності;  $t_r$  – додатковий час, що відпускається на відновлення працездатності системи «затвор-підйомний механізм» (приймається рівним часу переповнення водосховища).

Ймовірність блокування глибинних трактів водопропускних споруд через потрапляння в них топляка, наносів тощо за самими консервативними оцінками [10, 11] не перевищує 10% від ймовірності блокування цих споруд внаслідок відмов механічного обладнання.

Ймовірності базових аварійних подій на водоскиді, в результаті яких ініціюються процеси переповнення водосховища в ситуаціях  $C_1 \div C_6$ , наведено в табл. 3.

**Таблиця 3 – Базові аварійні події на водоскиді, через які ініціюється переповнення водосховища ХАЕС при модельних ситуаціях, та їх розрахункові ймовірності**

Подія	Опис базової аварійної події	Ймовірність
1	2	3
$B_{1,1}$	Блокування першої вітки тунелю водоскиду при ситуації $C_1$	$10^{-3}$
$B_{1,2}$	Блокування другої вітки тунелю водоскиду при ситуації $C_1$	$10^{-3}$
$B_{1,3}$	Блокування третьої вітки тунелю водоскиду при ситуації $C_1$	$10^{-3}$
$B_{1,4}$	Блокування водоспуску внаслідок неможливості підйому глибинного затвору при ситуації $C_1$	$4 \cdot 10^{-3}$
$B_{1,5}$	Блокування водоспуску внаслідок потрапляння топляка, наносів тощо при ситуації $C_1$	$5 \cdot 10^{-4}$
$B_{2,1}$	Блокування водоспуску внаслідок неможливості підйому глибинного затвору при ситуації $C_2$	$3,55 \cdot 10^{-3}$
$B_{2,2}$	Блокування водоспуску внаслідок потрапляння топляка, наносів тощо при ситуації $C_2$	$4 \cdot 10^{-4}$
$B_{3,1}$	Блокування водоспуску внаслідок неможливості підйому глибинного затвору при ситуації $C_3$	$3,39 \cdot 10^{-3}$
$B_{3,2}$	Блокування водоспуску внаслідок потрапляння топляка, наносів тощо при ситуації $C_3$	$3,5 \cdot 10^{-4}$
$B_{4,1}$	Блокування першої вітки тунелю водоскиду при ситуації $C_4$	$10^{-3}$
$B_{4,2}$	Блокування другої вітки тунелю водоскиду при ситуації $C_4$	$10^{-3}$
$B_{4,3}$	Блокування третьої вітки тунелю водоскиду при ситуації $C_4$	$10^{-3}$
$B_{4,4}$	Блокування водоспуску внаслідок неможливості підйому глибинного затвору при ситуації $C_4$	$3,2 \cdot 10^{-3}$

*Продовження таблиці 3*

1	2	3
$B_{4.5}$	Блокування водоспуску внаслідок потрапляння топляка, наносів тощо при ситуації $C_4$	$3,3 \cdot 10^{-4}$
$B_{5.1}$	Блокування першої вітки тунелю водоскиду при ситуації $C_5$	$10^{-3}$
$B_{5.2}$	Блокування другої вітки тунелю водоскиду при ситуації $C_5$	$10^{-3}$
$B_{5.3}$	Блокування третьої вітки тунелю водоскиду при ситуації $C_5$	$10^{-3}$
$B_{5.4}$	Блокування водоспуску внаслідок неможливості підйому глибинного затвору при ситуації $C_5$	$2,9 \cdot 10^{-3}$
$B_{5.5}$	Блокування водоспуску внаслідок потрапляння топляка, наносів тощо при ситуації $C_5$	$3 \cdot 10^{-4}$
$B_{6.1}$	Блокування першої вітки тунелю водоскиду при ситуації $C_6$	$10^{-3}$
$B_{6.2}$	Блокування другої вітки тунелю водоскиду при ситуації $C_6$	$10^{-3}$
$B_{6.3}$	Блокування третьої вітки тунелю водоскиду при ситуації $C_6$	$10^{-3}$
$B_{6.4}$	Блокування водоспуску внаслідок неможливості підйому глибинного затвору при ситуації $C_6$	$2,1 \cdot 10^{-3}$
$B_{6.5}$	Блокування водоспуску внаслідок потрапляння топляка, наносів тощо при ситуації $C_6$	$2,5 \cdot 10^{-4}$

У результаті розрахунку дерева відмов і несправностей було отримано повну ймовірність аварійного переповнення водосховища Хмельницької АЕС з урахуванням різних аварійних подій на водоскиді та різних ситуацій скиду надлишкової води:  $P(A) = 2 \cdot 10^{-5}$ , рік<sup>-1</sup>. Також було встановлено, що найбільш ймовірним сценарієм аварійного переповнення водосховища-охолоджувача ХАЕС слід визнати блокування водоспуску внаслідок неможливості підйому глибинного затвору при нормальному функціонуванні шахтного водоскиду в ситуації  $C_3$ , коли – витрати води р. Гнилий Ріг перевищують 110 м<sup>3</sup>/с, але не перевищують 150 м<sup>3</sup>/с (подія  $B_{3.1}$ ). «Вага» цього сценарію в розвитку аварійної ситуації на водосховищі серед 24 врахованих сценаріїв (за кількістю базових аварійних подій) складає майже 78%.

**Висновки та рекомендації.** Проаналізовано можливі причини аварійного переповнення водосховища-охолоджувача Хмельницької атомної електростанції (ХАЕС) внаслідок паводків на р. Гнилий Ріг. Методом дерев відмов і несправностей здійснено оцінку повної ймовірності аварійного переповнення водосховища та встановлено найбільш ймовірні сценарій та причину розвитку аварійної ситуації на водосховищі при проходженні паводків. Отримано результати, які можуть бути використані при оцінці надійності земляної греблі водосховища-охолоджувача ХАЕС та оцінці надійності і безпеки експлуатації ХАЕС в цілому.

### Список використаної літератури

1. ДБН В.2.4-3:2010. Гідротехнічні, енергетичні та меліоративні системи і споруди, підземні гірничі виробки. Гідротехнічні споруди. Основні положення / ДБН В.2.4-3:2010. – К.: Міністерство регіонального розвитку та будівництва України, 2010. – 37 с.
2. Аварии и повреждения больших плотин / Н.С. Розанов, А.И. Царев, Л.П. Михайлов и др.; Под ред. А.А. Борового. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 126 с.

3. Беллендир Е.Н. Вероятностные методы оценки надежности грунтовых гидротехнических сооружений / Е.Н. Беллендир, Д.А. Ивашинцов, Д.В. Стефанишин и др. // – СПб.: В 2-х томах. Т. 1. Изд-во ОАО «ВНИИГ им. Б. Е. Веденеева», 2003. – 553 с.
4. Стефанишин Д.В. Оцінка живучості гребель за результатами статистичного аналізу їх аварійності / Д.В. Стефанишин // Вісник НУВГП. Зб. наук. праць. Вип. 1 (49). Рівне: НУВГП. 2010. – С. 42–48.
5. The Aging of Embankment Dams// Prepared by the USSD Committee on Materials for Embankment Dams. United States Society on Dams (USSD). May, 2010. – 11 p.
6. Пугачев В.С. Теория вероятностей и математическая статистика / В.С. Пугачев. – М.: Наука, 1979. – 495 с.
7. Романчук К.Г. Про застосування методу Байєса в задачах ідентифікації причин аварій в складних системах / К.Г. Романчук // Problems of decision making under uncertainties. Abstracts of XXII Int. Conf. September 23-27. Foros-Yalta, Ukraine. – К.: 2013. – С. 125.
8. Райфа Г. Прикладная теория статистических решений / Г. Райфа, Р. Шлейфер. – М.: Статистика, 1977. – 360 с.
9. Векслер А.Б. Надежность, социальная и экологическая безопасность гидротехнических объектов: оценка риска и принятие решений / А.Б. Векслер, Д.А. Ивашинцов, Д.В. Стефанишин. – СПб.: ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева, 2002. – 591 с.
10. Wieland M. Dam safety, emergency actions plans and water alarm systems / M. Wieland, R. Mueller // International Water Power & Dam Construction. January. 2009. – P. 34–38.
11. Lagerholm S. Safety and reliability of spillway gates / S. Lagerholm // Repair and upgrading of dams Symposium. – Stockholm: 1996. – P. 362–373.

*Стаття надійшла до редакції 21.01.14 українською мовою*

© Е.Г. Романчук, Д.В. Стефанишин

**ВЕРОЯТНОСТНЫЙ АНАЛИЗ ПРИЧИН АВАРИЙНОГО ПЕРЕПОЛНЕНИЯ  
ВОДОХРАНИЛИЩА-ОХЛАДИТЕЛЯ ХМЕЛЬНИЦКОЙ АЭС**

*Проанализировано возможные причины аварийного переполнения водохранилища-охладителя Хмельницкой атомной электростанции (ХАЭС) вследствие паводков на р. Гнилой Рог. Выполнено оценку вероятности аварийного переполнения водохранилища ХАЭС и установлено наиболее вероятные сценарий и причину развития аварийной ситуации при прохождении паводков.*

© K.G. Romanchuk, D.V. Stefanyshyn

**PROBABILISTIC ANALYSIS OF THE CAUSES EMERGENCY OVERFLOW  
RESERVOIR-COOLER OF KHMELNITSKY NPP**

*The possible causes of the emergency overflow reservoir-cooler of Khmelnytsky Nuclear Power Plant (KhNPP) due to flooding on the river Hnylyi Rig were analyzed. The estimation of the probability of accidental overflow KhNPP's reservoir was performed and the most probable scenario and the cause of an emergency during the passage of floods were set.*

УДК: 628.16.065.2(045)

© **В.О. Повстень**<sup>1</sup>, д-р техн. наук., професор;

**М.М. Коршун**<sup>2</sup>, канд. мед. наук;

**Т.І. Дмитруха**<sup>1</sup>, канд. техн. наук

<sup>1</sup>Національний авіаційний університет, м. Київ;

<sup>2</sup>ДУ «Інститут медицини праці НАМН України», м. Київ

## **ЗАХИСТ ЛЮДЕЙ ВІД ВИПАРОВУВАНЬ РТУТІ У ЗАБРУДНЕНИХ НЕЮ ПРИМІЩЕННЯХ РІЗНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ**

*Розглянута небезпека ртуті для людей та запропонований варіант розв'язання проблеми захисту людей від випаровувань ртуті у забруднених нею приміщеннях. Запропонований пристрій для очищення повітря від пари ртуті.*

**Ключові слова:** випаровування ртуті, токсичність, демеркуризація.

### **Вступ**

Хоча ртуть є дуже небезпечним токсикантом і належить до 1 класу небезпеки (згідно з ГОСТ ССБТ «Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности»), вона продовжує широко застосовуватись в різних виробках і технологіях. В результаті недостатньо контрольованого та не завжди обґрунтованого використання ртутних матеріалів в різних галузях господарства дуже часто спостерігаються забруднення ртуттю об'єктів самого різного призначення. Так, наприклад, із 100 нами обстежених різних об'єктів 7 мали у повітрі концентрацію, яка значно перевищувала допустиму [1].

Особлива небезпечність пари ртуті для людей зумовлюється тим, що вона не має ні кольору, ні запаху і може бути виявлена лише за допомогою спеціальних аналітичних засобів і приладів. До того ж навіть насичена пара ртуті істотно не обтяжує повітря, завдяки чому ртуть відносно легко переноситься повітряними потоками на досить великі відстані. Зокрема, забруднене ртуттю повітря може поширюватися з підвальних приміщень на декілька поверхів різних будівель і виявлятися в самих несподіваних місцях, створюючи неабияку небезпеку для людей.

Пара ртуті, яка потрапляє в приміщення, не тільки циркулює у повітрі, але і концентрується в елементах приміщень, утворюючи так звані «вторинні джерела забруднення». Це, зокрема, забруднені ртуттю різні поверхні, меблі, обладнання, скупчення мікроскопічних крапель ртуті в порожнинах будівельних конструкцій, в міжповерхових перекриттях, в щілинах паркету тощо. Між цими джерелами забруднення та повітрям приміщень встановлюється обмін ртуттю (сорбція-десорбція), в результаті чого формується певна «ртутна атмосфера»,

яка протягом тривалого часу створює певний фон, який може негативно вплинути на стан здоров'я людей [2]. Водночас навіть невелика в порівнянні з ГДК<sub>рз</sub> концентрація пари ртуті у приміщенні може призвести до мікромеркуріалізму – сукупності ознак негативного впливу ртуті. Так, ГДК ртуті у повітрі населених пунктів – 0,0003 мг/м<sup>3</sup>, а у повітрі робочої зони промислових приміщень – 0,005/0,01 мг/м<sup>3</sup>, а 1 мг ртуті у вигляді рівномірного розповсюдження пари забруднює атмосферне повітря в об'ємі більше 3 тис. м<sup>3</sup>.

Існуючі методи демеркуризації, як правило, є недостатньо ефективними, оскільки ртуть знаходиться повсюдно та нерідко в глибинних шарах конструкцій (меблів) приміщення. Так, значним недоліком механічної демеркуризації є те, що вона не забезпечує повного видалення ртуті із забруднених поверхонь, оскільки певна її кількість залишається в щілинах, нерівностях та інших недоступних для видалення місцях. До недоліків хімічного способу демеркуризації належить досить висока токсичність і корозійна активність реагентів, що застосовуються. Наслідками негативного впливу цих реагентів на елементи приміщень є зміна фактури їх матеріалів і їх руйнування, а також руйнування приладів і апаратури, що знаходяться в цих приміщеннях. Суттєвим недоліком цього способу також є неповне видалення ртуті у разі її глибокого проникнення у елементи і вироби, які від неї очищуються. При термічній демеркуризації відбувається нагрівання об'єктів приміщення до досить високої температури, що може призвести до їх пошкодження, та існує ймовірність розповсюдження пари ртуті у приміщенні внаслідок її видалення з вторинних джерел.

Інтенсивне поглинання пари ртуті різними матеріалами, висока здатність ртуті подрібнюватись на дрібні краплі, проникати у будь-які мікротріщини і щілини дуже ускладнює досягнення необхідного рівня демеркуризації приміщень. Тому для забезпечення цього рівня нерідко доводиться видаляти з приміщень всю штукатурку, підлогу, вікна і все, що знаходиться в приміщеннях. Саме тому ртуть умовно визнана забруднювачем номер один, щодо якого поставлене завдання суттєво зменшити масштаби її застосування [3].

### **Постановка завдання**

Завданням цієї роботи є визначення шляхів розв'язання проблеми захисту людей від випаровувань ртуті у забруднених нею приміщеннях різного призначення, виходячи із сучасного стану розробки даної проблеми і технічних можливостей сьогодення.

### **Розв'язання поставленого завдання**

Оскільки умови експлуатації й утилізації розрядних джерел світла (ДС) зі вмістом ртуті і в першу чергу люмінесцентних лам (ЛЛ) не забезпечують зберігання їх цілісності, а застосовуються вони повсюдно, то саме ці ДС виявилися істотною причиною ртутного забруднення багатьох приміщень і навколишніх територій. Водночас ретельна демеркуризація приміщень від ртутних забруднень є складною і, як правило, не проводиться, та ефективність її через надто глибоку проникненість ртутної пари у різні об'єкти є недостатньою.

В умовах, що склалися, можна вважати, що найбільш ефективним способом захисту людей від негативного впливу ртуті у забруднених нею приміщеннях залишається регулярне



очищення повітря цих приміщень від пари ртуті (зниження її концентрації). При цьому зменшення концентрації пари ртуті у повітрі забруднених нею приміщень шляхом регулярних тривалих провітрювань цих приміщень не можна вважати допустимим, оскільки вони призводять до ртутних забруднень сусідніх територій. До того ж, зокрема взимку, часті і тривалі провітрювання приміщень, де постійно перебувають і мешкають люди, можуть призводити до надмірних їх охолоджень і втрат теплової енергії. Але досягти достатнього очищення повітря приміщень від ртуті, хоча саме приміщення і залишається забрудненим нею, можна за допомогою спеціальних очищувальних пристроїв. Будова і дія одного з таких пристроїв описана нижче.

Одним з ефективних способів очищення повітря від ртуті є конденсація її пари за рахунок охолодження. При цьому, як відомо, усталені значення концентрації пари ртуті у повітрі (коли вона стає насиченою) визначаються температурою найхолодніших ділянок приміщень (значення цих концентрацій наводяться у довідниках). У зимовий період, зокрема, найхолоднішими ділянками приміщень зазвичай є шибки вікон, які тому інтенсивно і запотівають.

Накопичування пари ртуті у повітрі непровітрюваних приміщень внаслідок випаровування ртуті відбувається за закономірністю, яка наближається до експоненціальної. Остання в роботі [4] представлена у вигляді:

$$\tilde{n} = \tilde{n}_y - (c_y - c_i) e^{-\frac{\tau}{T_{\text{ек}}}}, \quad (1)$$

де  $c$  – поточне значення концентрації пари ртуті у повітрі приміщення (в момент часу  $\tau$ ), а  $c_y$  – усталене її значення (при температурі найхолоднішої ділянки приміщення);  $c_i$  – початкова концентрація пари ртуті у повітрі приміщення (в момент часу, який прийнятий за початковий ( $\tau = 0$ ));  $T_{\text{ек}} = \frac{V_{\text{пр}} c_y}{W_{\text{вип}} S_{\text{вип}}}$  – постійна (стала) часу величина, яка в роботі [4] була названа постійною часу ртутної безпеки;  $W_{\text{аеі}}$  – швидкість випаровування ртуті при її температурі в приміщенні; а  $S_{\text{аеі}}$  – площа випаровування ртуті.

Для захисту людей від випареної ртуті, яку вони вдихають разом з повітрям, потрібно, щоб концентрація цієї пари у повітрі приміщень не перевищувала її ГДК  $C_{\text{гдж}}$  ( $C \leq C_{\text{гдж}}$ ).

Найчастіше для теплих приміщень  $C_{\text{гдж}} \ll C_y$ . При цьому проміжок часу  $\tau_{\text{гдж}}$ , протягом якого концентрація пари ртуті у непровітрюваному приміщенні може поступово зростати від початкової  $c_i$  до гранично допустимої  $C_{\text{гдж}}$ ,

$$\tau_{\text{аае}} \approx T_{\text{ае}} \frac{\tilde{n}_{\text{аае}} - \tilde{n}_i}{\tilde{n}_o - \tilde{n}_i} = \frac{V_{\text{іо}} \tilde{n}_o}{W_{\text{аеі}} S_{\text{аеі}}} \cdot \frac{\tilde{n}_{\text{аае}} - \tilde{n}_i}{\tilde{n}_o - \tilde{n}_i} \quad (2)$$

Отримане це просте співвідношення (2), виходячи із співвідношення (1), коли  $C_{\text{гдж}} \ll C_y$ .

У разі розгерметизації ЛЛ у приміщеннях проміжок часу  $\tau_{ГДК}$ , коли ці приміщення ще можна вважати відносно безпечними щодо ртутних випаровувань, є досить тривалим. Як показують розрахунки і досвід, він може складати години, тижні і бути значно тривалішим. Пояснюється це, зокрема, малою поверхнею випаровування ртуті  $S_{\text{вст}}$ , оскільки малою є кількість ртуті в ЛЛ, хоча вона і здатна легко подрібнюватись на дуже мілкі кульки.

Отже, достатньо, щоб очищувальний пристрій працював у забрудненому ртуттю приміщенні не увесь час, а періодично, швидко зменшуючи концентрацію пари ртуті у його повітрі до значень, які є значно нижчими за її ГДК. Періодичні вмикання і вимикання очищувального пристрою можна здійснювати автоматично, а тривалість роботи і пауз у роботі відповідно регулювати.

Оскільки одним з ефективних способів позбавлення забрудненого паром ртуті повітря від цієї пари є її конденсація шляхом охолодження, у запропонованому очищувальному пристрої застосовується електрична мініхолодильна (морозильна) камера з невеликими отворами для проходження через неї забрудненого повітря. Живиться ця камера від звичайної електричної мережі з напругою 220 В. Працює вона в режимі звичайного холодильника і має порівняно з ним значно меншу потужність.

Протягування повітря через холодильну камеру у цьому пристрої здійснюється коронним електричним розрядом, який, як відомо, створює так званий «іонний вітер». При цьому цей коронний розряд утворюється безпосередньо у самій холодильній камері пристрою.

Коронуючі електроди (катоди) цього пристрою виконані у вигляді дуже тонких циліндричних ниток з електропровідного матеріалу діаметром не більше декількох десятків міліметра для того, щоб електричний розряд біля них був коронним (напруженість електричного поля біля них повинна досягати  $3 \cdot 10^6$  В/м). У холодильній камері також встановлюються осаджувальні електроди, яким надається позитивна (плюсова) полярність. Вони у пристрої виконують роль анодів і встановлюються з певним нахилом для переміщення з них крапель сконденсованої пари у призначену для цього ємність. Електрична потужність, яка необхідна безпосередньо для створення самого коронного електричного розряду в холодильній камері, не перебільшує 10...15 Вт, тобто є дуже малою.

«Іонний вітер» забезпечує протягування повітря разом з будь-яким забрудненням від коронуючого катода до некоронуючого анода, завдяки чому ця протяжка відбувається без застосування будь-яких насосів чи інших механічних пристроїв. Вільні електрони, що з'явилися у зоні коронного розряду, під дією електричного поля (сили  $F_e = -e_e E$ , де  $E$  – напруженість електричного поля в місці знаходження розряду,  $e_e$  – заряд електрона) рухаються у бік іншого електрода (анода). Як встановлено, під час цього руху вони пристають до нейтральних молекул повітря, пари і різних твердих і рідких домішок, у тому числі металевих, і таким чином заряджають їх негативним (мінусовим) зарядом. У результаті вони вимушено під дією електричного поля (сили Кулона) рухаються у бік анода. Саме на цьому фізичному явищі заснований електроєфлювальний метод О.Л. Чижевського (в лампах і люстрах Чижевського).

Оскільки під час руху заряджені в зоні коронного розряду молекули повітря і різні домішки на своєму шляху пружно зіштовхуються з тими молекулами і домішками, що залишилися нейтральними, вся маса повітря рухається у бік анода і тим швидше, чим вищою є напруженість електричного поля у зоні руху. У результаті охолодження забруднене парою ртуті повітря очищується від неї і надходить у приміщення, де знову поступово забруднюється ртуттю до концентрації, яка не перебільшує ГДК. Періодичною роботою пристрою забезпечуються мінімальні витрати електроенергії, зумовлені застосуванням пристрою.

### **Висновки**

Враховуючи масове забруднення ртуттю об'єктів різного призначення, захист людей від випаровування ртуті, а також попередження отруєнь людей нею набули особливої актуальності. Найшвидше досягти певного розв'язання даної проблеми в умовах, що склалися у зв'язку з широким застосуванням ЛЛ, можна наступним чином:

1. Створити ефективну систему інформації населення про ситуацію, що склалася зі ртутним забрудненням приміщень різного призначення через навчальні заклади, промислові підприємства, засоби масової інформації;

2. Налогодити серійний випуск приладу, який забезпечує очищення повітря приміщень від пари ртуті до значень її концентрації, які є нижчими за ГДК, незважаючи на те, що забруднення приміщень довгий час може залишатись і не демеркуризованим. Запропонована будова такого приладу і обґрунтований принцип його дії.

3. Налогодити безкоштовну і контрольовану систему демеркуризації цих очищувальних приладів.

### **Список використаної літератури**

1. Повстень В.О. Підвищення ефективності та безпечності демеркуризації забруднених ртуттю приміщень, різних предметів і речей / В.О. Повстень, Т.І. Дмитруха // Електроніка та системи управління. – 2005. – № 3. – С. 160–163.

2. Трахтенберг И.М. Ртуть и ее соединения в окружающей среде / И.М. Трахтенберг, М.Н. Коршун. – К.: Вища школа, 1990. – 232 с. – (Гигиенические и экологические аспекты).

3. Коршун М.Н. Гигиенические аспекты ликвидации последствий эксплуатации ртутных производств. М.Н. Коршун, Л.М. Краснокутская, И.Л. Куринный, А.А. Узбеков и др. // Современные проблемы гигиены, экологии и охраны здоровья. Тезисы докл. XII съезда гигиенистов Украины. – Киев, 1991. – С. 196–197.

4. Дмитруха Т.І. Зменшення ртутної небезпеки приміщень в разі руйнування в них джерел оптичного випромінювання / Т.І. Дмитруха // Електроніка та системи управління. – 2010. – № 4. – С. 121–124.

*Стаття надійшла до редакції 24.01.14 українською мовою*

© В.А. Повстень, М.М. Коршун, Т.И. Дмитруха

**ЗАЩИТА ЛЮДЕЙ ОТ ИСПАРЕНИЙ РТУТИ  
В ЗАГРЯЗНЕННЫХ ЕЮ ПОМЕЩЕНИЯХ РАЗЛИЧНОГО НАЗНАЧЕНИЯ**

*Рассмотрена опасность ртути для людей и предложены пути решения проблемы защиты людей от испарений ртути в загрязненных помещениях. Предложено устройство для очистки воздуха от паров ртути.*

© V.A. Povsten, M.M. Korshun, T.I. Dmytruha

**PEOPLE PROTECTION FROM MERCURY EVAPORATION  
IN THE POLLUTED PREMISES**

*The mercury hazard for people is studied and solutions to the problem of people protection from mercury evaporation in the polluted premises are proposed. The device for air cleaning from mercury vapor is designed.*

УДК: 656.71:504.4.054.51-7(045)

© С.М. Маджд, канд. техн. наук, доцент

Національний авіаційний університет, м. Київ

## **ОЦІНКА ТЕХНОГЕННОГО ВПЛИВУ АВІАПІДПРИЄМСТВ НА СТАН ВОДОЙМ**

*Проведена комплексна оцінка якості зворотних вод підприємств з експлуатації та ремонту авіаційної техніки. Визначені основні забруднювачі, класи та категорії якості водойм поблизу об'єктів цивільної авіації. Здійснені моніторингові дослідження системи очистки стічних вод авіапідприємств.*

**Ключові слова:** техногенний вплив авіапідприємств, стан водойм, моніторинг, очистка стічних вод, очисні споруди.

### **Вступ**

Санітарно-гігієнічна ситуація, що склалася на території України, показала, що фактором ризику для людини та її оточення є використання поверхневих та підземних вод із централізованих і децентралізованих джерел водопостачання [1].

Централізоване та децентралізоване використання води обумовлює необхідність проведення моніторингових досліджень для визначення рівня забруднення природних вод.

На сьогодні проведення екологічних досліджень рівня забруднення довкілля в зоні аеропорту, зокрема водних об'єктів, є надзвичайно актуальним, оскільки методики оцінки техногенного впливу на їх стан в науковій літературі недостатньо розкриті. Вирішення цього питання дасть можливість підійти до розв'язання проблем захисту та відновлення водойм на науковій основі.

Будівлі і споруди технічного обслуговування літаків, а також будівлі та споруди підсобних приміщень – джерела виробничих стічних вод в аеропортах. Основними джерелами господарсько-побутових стічних вод є будівлі та споруди для обслуговування перевезень: аеровокзал, готель, їдальні, служби бортживлення, а також території авіамістечок, що прилягають до аеропортів.

Для поверхневого стоку з території авіапідприємств характерна наявність мінеральних сумішей, нафтопродуктів, фенолів, важких металів, хімічних сумішей для миття літаків, мінеральних масел, розчинених органічних домішок та азотовмісних речовин. Потоки дощових та талих вод поглинають також частину димових газів котелень, шкідливих викидів авто- та авіатранспорту, які осіли на аеродромі [2, 3].

### **Аналіз останніх джерел досліджень і публікацій**

Встановлено, що в середньому при скиданні 1 м<sup>3</sup> виробничих стічних вод авіапідприємств забруднюється близько 60 м<sup>3</sup> природних вод [2, 4].

Тому оцінка та удосконалення роботи очисних споруд авіапідприємств, які скидають свої стічні води у поверхневі водойми, є досить актуальною проблемою, оскільки якість поверхневих вод прямо залежить від ефективності їх роботи.

Для забезпечення екологічної безпеки авіапідприємств у великих аеропортах знешкодження поверхневого стоку повинно бути диференційованим через нерівномірний його розподіл. У першу чергу необхідно очищати поверхневий стік з ділянок технічного обслуговування (у тому числі із площадок: миття й обробки проти зледеніння літальних апаратів спецрідинами; дегазації повітряних суден і устаткування, яке застосовується на авіахімроботах; змиву лакофарбових покриттів і фарбування літаків; миття автотранспортної техніки й спецмашин). Необхідно очищати стоки з ділянок авіапідприємств з інтенсивним рухом авіатранспорту й аеродромної техніки, площа яких становить близько 25% площі штучних покриттів аеродрому [5, 6].

### **Формулювання цілей**

Комплексна оцінка якості зворотних вод підприємств з експлуатації та ремонту авіаційної техніки, моніторингові дослідження системи очистки стічних вод авіапідприємств.

### **Комплексна оцінка якості зворотних вод підприємств з експлуатації та ремонту авіаційної техніки**

З метою дослідження ефективності роботи очисних споруд авіапідприємств (2004–2012 рр.) проводився моніторинг якості зворотних вод, що скидалися у р. Нивку.

Відбір проб води здійснювався у відповідності до КНД 211.1.0.009–94 [7]. Оцінка ступеня очистки стічної води проводилася за гідрохімічними показниками та методом біотестування.

За період досліджень відмічалось деяке покращення роботи очисних споруд щодо рівня очистки стічних вод від легкоокислюваних органічних речовин та сполук мінерального азоту (порівнюючи з паспортними даними).

Однак в останні роки спостерігається перевищування ГДК<sub>рибгосп.</sub> за показниками (в середньому): ХСК – 1,89, БПК<sub>5</sub> – 16,25, амонійного азоту та нітритів у 93,08 і 52,5 рази відповідно.

До найпоширеніших важких металів, які надходять зі стічними водами до р. Нивки можна віднести мідь, хром, цинк та свинець, вміст яких у зворотних водах перевищує ГДК<sub>рибгосп.</sub> у 2,0, 2,2, 1,7 і 1,2 рази відповідно.

Необхідно відмітити, що основним забруднювачем стічних вод є нафтопродукти. Їх вміст після проходження очисних споруд – скид у р. Нивку перевищує ГДК<sub>рибгосп.</sub> у 261 раз.

Стічні води авіапідприємств скидаються в р. Нивку в районі мікрорайону Києва Жуляни, що розташований в безпосередній близькості до аеропорту та заводу (найближчі

поселення розташовані на відстані близько 20 метрів). Окрім аеропорту, в межах Києва в басейні річки працює близько 60 підприємств. У р. Нивку з дев'ятих колекторів скидаються неочищені зливові стоки [8].

Річка Нивка протікає в західній частині Києва і є правою притокою Ірпеня. Бере свій початок в 0,5 км на схід від смт. Вишневе поблизу аеропорту “Київ”, тече в районі Святошина і впадає в Ірпінь (що є притокою р. Дніпро) за 45 км від його гирла [9].

Протікає частково по забудованій місцевості – урбанізованість річки досить висока – 31 %. Середній багаторічний стік – 5,4 млн м<sup>3</sup>. Середньорічна витрата р. Нивки дорівнює 0,17 м<sup>3</sup>/с [8, 9].

Її довжина становить 19,7 км, а площа водозбору дорівнює 94,0 км<sup>2</sup>. Падіння річки складає 71,0 м. Русло слабкозвивисте, і на деяких ділянках воно повністю заростає. Ширина русла річки – 2–3 м, а глибина – 0,1–0,7 м, середня глибина по фарватеру – 0,3–0,7 м, на перекатах – 0,5–0,8 м/с. Ширина заплави – 300 м [8].

На р. Нивці споруджено систему ставків рибного господарства (близько 20), яка постає свою продукцію Києву, тому озерність становить 2,2% всієї площі, що є найвищим показником для всіх річок Києва. Швидкість течії незначна, що пояснюється перш за все значною зарегульованістю стоку (в підпорі знаходиться 42% всієї довжини річки) і становить в межень лише 0,05–0,1 м/с, а під час водопілля – 0,3–0,4 м/с.

Екологічна якість води р. Нивки є поліфакторною структурою і значною мірою залежить від маси антропогенних забруднень, що надходять до неї, та витрат води у руслі і може бути регульована за рахунок зменшення маси забруднень та збільшення витрат води.

Особливістю р. Нивки є те, що вона несе свої води в р. Ірпінь і далі в Київське водосховище, що вище водозабору міста. Таким чином, мешканці міста Києва є частково її водоспоживачами.

Кисневий режим залишається напруженим, особливо в зонах поширення вищої водної рослинності та в періоди цвітіння води. В літній період чисельність та біомаса фітопланктону коливаються в широких межах – від 50 до 8400 тис. кл./л та від 1,6 до 7,2 мг/л відповідно. Індекси видового різноманіття – 3,7–4,6.

Спостерігається розвиток полідомінантних угруповань з переважанням хлорококових та діатомових водоростей.

Аналіз нестійких компонентів (карбонат-іона, гідрокарбонат-іона, іона амонію, нітрат та нітрит іонів, заліза, а також рН) виконують у природній воді без її попередньої обробки не пізніше ніж через 2 години після відбору проби. При необхідності тривалого зберігання зразка проводять його фільтрацію, охолодження до 4°C або заморожування до -20°C.

Екологічну ситуацію в басейні формують сполуки мінерального азоту та фосфору. У період весняної повені вміст фосфатів за профілем річки перевищує екологічний норматив у 4–6 разів, азоту амонійного – у 2–6 разів.

Залізо, іони амонію, нітрит-іони допускається визначати при умові консервування окремої проби води об'ємом 0,5 дм<sup>3</sup> соляної кислоти у термін, який не перевищує 2 доби після відбору води. Решту компонентів визначають без консервування не пізніше 48 годин.

Проби при транспортуванні та зберіганні повинні бути захищені від впливу прямого сонячного проміння та нагріву [8].

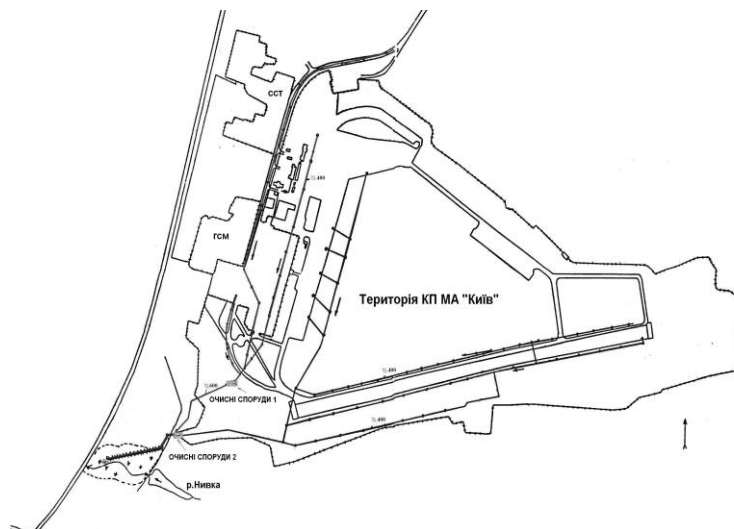
За результатами комплексної оцінки стану поверхневих вод у басейні р. Нивки визначено, що по всій довжині річка належить до забруднених – 3 клас, або в перехідному стані до брудних – 4 клас. Особливо це слід віднести до такої незахищеної ділянки русла, як створи у селищах Жуляни, Софійська Борщагівка, гирлової ділянки та самого водоприймача – р. Ірпінь.

### **Схема моніторингу техногенного впливу авіапідприємств на стан водойм**

Визначивши техніко-екологічну та структурну характеристику авіапідприємств, провівши аналіз основних джерел забруднення за характером виробництва та типовими викидами і здійснивши оцінку якості стічних вод поблизу авіапідприємств, стикаємося з необхідністю дослідження ефективності роботи очисних споруд.

Для очистки стічних вод авіапідприємств перед скидом до річки використовується механічний метод очистки із застосуванням чотирьох залізобетонних відстійників і восьми нафтовловлювачів, який полягає у відстоюванні стічної води та виділенні компонентів вуглеводневих сполук за допомогою реагентів, шляхом створення водно-нафтових емульсій і коагуляції завислих речовин.

Враховуючи те, що стічні води заводу № 410 цивільної авіації разом з стічними водами аеропорту «Київ» після проходження очисних споруд по єдиному колектору скидаються до р. Нивки (рис. 1), яка розташована у міській зоні, необхідно більш значну увагу приділити їх впливу на екологічний стан річки.



*Рис. 1 – Схема очисних споруд авіапідприємств*

Проектна потужність одного відстійника становить  $0,22 \text{ м}^3/\text{с}$  або  $19000 \text{ м}^3/\text{добу}$ , тобто сумарна потужність очисних споруд –  $38000 \text{ м}^3/\text{добу}$  [9].

На авіаремонтному заводі попередня очистка стічних вод проводиться на станції нейтралізації, яка була побудована в 1968 році.



Принцип роботи станції нейтралізації полягає в наступному. Хром-місткі і кисло-лужні стоки потрапляють до накопичувачів об'ємом 30 та 60 м<sup>3</sup>. Хром-місткі стоки з накопичувача перекачуються в реактор-відстійник об'ємом 56,3 м<sup>3</sup>, в який подається 5%-й розчин сірчаної кислоти для доведення кислотності стоків до величини рН 2,5. Після чого подається 5%-й розчин бісульфіту натрію до відновлення Cr<sup>6+</sup> до Cr<sup>3+</sup>. Для утворення гідроксиду хрому в реактор добавляється 5%-й розчин луку з метою доведення кислотності стічних вод до величини рН 8,5.

Кислотно-лужні стоки з накопичувача перекачуються в реактор-відстійник, куди подається 5%-й розчин луку. Процес подачі луку супроводжується інтенсивним перемішуванням стислим повітрям до величини рН 8,5.

Стічні води перебувають у реакторі-відстійнику 3 години до утворення осаду. Після цього відстояну воду направляють для подальшої очистки на механічних фільтрах, а осад, що утворився, збирається в ущільнювачі шламу і зневоднюється у випарувальній установці. Після чого сухий залишок збирають і відправляють на утилізацію.

### **Висновки**

У ході проведення комплексної оцінки якості зворотних вод підприємств з експлуатації та ремонту авіаційної техніки встановлено перевищування ГДК<sub>рибгосп.</sub> за показниками: ХСК – 1,89, БПК<sub>5</sub> – 16,25, амонійного азоту та нітритів у 93,08 і 52,5 рази відповідно. Найпоширеніші важкі метали, які надходять зі стічними водами до р. Нивки – мідь, хром, цинк та свинець, вміст яких у зворотних водах перевищує ГДК<sub>рибгосп.</sub> у 2,0, 2,2, 1,7 і 1,2 рази відповідно. Основним забруднювачем стічних вод є нафтопродукти. Їх вміст після проходження очисних споруд у р. Нивці перевищує ГДК<sub>рибгосп.</sub> у 261 раз.

Отримані результати свідчать, що якість стічної води за деякими показниками (величини рН, сольового складу – по мінералізації) відноситься до категорії доброї, досить чистої, іноді помірно забрудненої. За вмістом міді, свинцю, хрому та за максимальним вмістом цинку є слабо забрудненою, переважно – помірно забрудненою, за концентрацією цинку – добра, досить чиста.

Разом з тим за вмістом амонійного, нітритного та нітратного азоту в усі періоди досліджень характеризується як погана, дуже брудна і тільки іноді, за мінімальною концентрацією нітратів, її можна віднести до категорії слабо забруднених вод.

За величиною показника БСК<sub>5</sub> та вмісту нафтопродуктів вода належить до категорії дуже поганої, дуже брудної по всьому діапазону значень. При цьому мінімальна концентрація нафтопродуктів – в 10, а середня – в 40 разів перевищує межу, за якою вода характеризується як брудна, дуже погана.

Виходячи з цього, за величиною мінералізації, величини рН та вмісту металів воду можна оцінити як досить чисту – слабо забруднену, а за показниками БСК<sub>5</sub>, вмістом мінерального азоту та нафтопродуктів до категорії дуже поганих, дуже брудних вод.

Моніторингові дослідження техногенного впливу авіапідприємств на водойми свідчать, що ступінь очистки стічної води за показниками: величина рН, мінералізації, завислих речо-

вин, нітратів, нафтопродуктів – є недостатньою, до того ж очисні споруди № 1 незадовільно очищують стічну воду від хлоридів, фосфору фосфатів та важких металів, а очисні споруди № 2 – від нітритів та важких металів.

### **Список використаної літератури**

1. Craig R. F. Soil mechanics / R. F. Craig // Spon press. – 2002 . – P. 486.
2. Davenport J. The Ecology of Transportation: Managing Mobility for the Environment / J. Davenport, J. Davenport. – Sweden. 2006. P. 247.
3. Франчук Г.М. Екологічні проблеми довкілля : навч. посіб. / Г.М. Франчук, Л.П. Малахов, Р.М. Півторак – К. : КМУЦА, 2010. – 180 с.
4. Мунин А.Г. Экологическая характеристика воздушного транспорта / А.Г. Мунин // Общероссийский научно-технический журнал. – М. : Машиностроен., 2008. – № 7. С. 26–32.
5. Запорожець В.В. Аеропорт: організація, технологія, безпека. / В.В. Запорожець, М. П. Шматко – К. : Дніпро, 2002. – 168 с.
6. Франчук Г.М. Впровадження екологічно безпечних технологічних процесів відновлення авіапідприємств / Г.М. Франчук, В.Д. Хижко, Є.О. Бовсуновський // АВІА–2007: зб. наук. праць. – К.: НАУ, 2007. – С. 44.53–44.56.
7. КНД 211.1.0.009-94. Гідросфера. Відбір проб для визначення складу та властивостей стічних та технологічних вод. – К., – 1994. – 84 с.
8. Бойко О.В. Малі річки Києва / О.В. Бойко, В.К. Хільчевський, О.Г. Ободовський. // Краєзнавство. Географія. Туризм. – 2001. – № 4 (201). – С. 4–10.
9. Паспорт стану споруд по очистці та обеззараженню стічних вод на підприємствах та інших об'єктах. – К: Вища шк., 2002. – 20 с.

*Стаття надійшла до редакції 29.01.14 українською мовою*

**© С.М. Маджд**

### **ОЦЕНКА ТЕХНОГЕННОГО ВЛИЯНИЯ АВИАПРЕДПРИЯТИЙ НА СОСТОЯНИЕ ВОДОЕМОВ**

*Проведена комплексная оценка качества обратных вод предприятий из эксплуатации и ремонта авиационной техники. Определенные основные загрязнители, классы и категории качества водоемов вблизи объектов гражданской авиации. Осуществленные мониторинговые исследования системы очистки сточных вод авиапредприятия.*

**© S.M. Majd**

### **ASSESSMENT OF MAN-MADE IMPACT AVIATION OBJECTS ON THE BASINS**

*Integrated assessment of the return water quality accomplished for plants conducting operation and maintenance of aircraft equipment. Main pollutants detected as well as quality classes and categories of basins close to the civil aviation objects. Monitoring studies of discharge water purification systems of aircrafts were done.*

УДК 502.174:658.567.1:628.474

© С.Я. Хруник, мол. наук. співробітник

Національний університет «Львівська політехніка», м. Львів

## **ПРОГНОЗУВАННЯ ВПЛИВУ НА ДОВКІЛЛЯ ВИКОРИСТАННЯ ТВЕРДОГО АЛЬТЕРНАТИВНОГО ПАЛИВА В ЦЕМЕНТНІЙ ПРОМИСЛОВOSTІ**

*У відповідності із стандартами серії ISO 14040 здійснено оцінку потенційного впливу на довкілля згорання вугілля та спільного спалювання вугілля і альтернативного палива на основі твердих горючих відходів у процесі випалювання клінкеру в обертових печах за методикою IMPACT 2002+.*

**Ключові слова:** згорання вугілля, випалювання клінкеру, використання альтернативного палива, викиди забруднюючих речовин, вплив на довкілля.

**Вступ.** Цементне виробництво характеризується інтенсивним використанням природних мінеральних і горючих корисних копалин. Зменшення споживання невідновного викопного палива у високоенергоємному процесі випалювання портландцементного клінкеру передбачено основними принципами Стратегії безперервного розвитку у цементній промисловості. Кам'яне вугілля на сьогодні є основним енергетичним ресурсом для цементної промисловості в Україні. У багатьох країнах світу для заміщення природного палива під час випалювання портландцементного клінкеру використовують горючі відходи. З огляду на те, що вугілля є «брудним» паливом, субституція його частки альтернативним паливом з горючих відходів контрольованого складу має на меті зменшення негативного впливу диверсифікації енергетичних ресурсів у цементному виробництві. Тому актуальним є дослідження горючих відходів, розроблення на їх основі альтернативного палива та прогнозування впливу на довкілля його використання в обертових випалювальних печах. Спільне спалювання відходів як альтернативного палива у цементній промисловості офіційно визнане Європейською комісією як краща ресурсоефективна практика в рамках флагманської ініціативи «За ресурсозберігаючу Європу» стратегії «Європа 2020»; оптимальний спосіб зменшення залежності від природного палива і сировини та зниження викидів CO<sub>2</sub> [1].

**Аналіз останніх джерел і публікацій.** У 2011 р. світове виробництво цементу сягнуло 3,4 млрд т (3,2 млрд т клінкеру), а потреба у цементі збільшилася порівняно з 2010 р. на 12% і становила 3,6 млрд т [2]. Виробництво цементу в Україні за підсумками 2012 р. склало 9,8 млн т і знизилося порівняно з 2011 р. на 6,8%.

На випалювання портландцементного клінкеру затрачається 3,0–3,3 ГДж/т клінкеру за сухим способом і 6,0–6,5 ГДж/т клінкеру за мокрим способом, що становить близько 30–40% собівартості цементу. Застосування високовуглецевого палива (вугілля) при випалюванні клінкеру спричиняє значні викиди діоксиду вуглецю. Близько 5% від загального обсягу викидів CO<sub>2</sub> у світі припадає на цементну промисловість [3]. Вугілля українських родовищ характеризується високою сірчистістю (1,5–3,9 мас.%) [4]. З використанням вугілля при випалюванні клінкеру пов'язують приблизно 5% світових викидів ртуті [5]. Кам'яне вугілля Донецького вугільного басейну містить підвищену концентрацію ртуті – від 0,08 до 8,5 мг/кг вугілля (в середньому 0,7 мг/кг) та інших елементів-домішок [6]. Негативний вплив на довкілля, пов'язаний з використанням у цементній промисловості вугілля, спонукає до пошуку шляхів його зниження.

Згідно зі статистичними даними [7], в Україні щорічно залишаються невикористаними близько 18 млн т горючих відходів, які перспективно переробляти в альтернативне паливо для цементної промисловості. Швидке збільшення використання альтернативного палива на основі горючих відходів у цементному виробництві може стимулювати впровадження в Україні кращих доступних технологій (BAT – Best Available Techniques) та природоохоронних заходів (BEP – Best Environmental Practices), зокрема: перехід на сухий спосіб випалювання клінкеру; зменшення використання теплової енергії; контроль якості відходів і модернізація систем подачі палива у піч; контроль викидів забруднюючих речовин тощо. Щорічно в країнах Євросоюзу згідно з даними Європейської цементної асоціації CEMBUREAU співспалюють 6,2 млн т альтернативного палива з відходів (заміщення 15% теплової енергії). У цементній промисловості Польщі, де ще 10 років тому заміщували лише 1,2% в енергетичному еквіваленті (% е. е.) вугілля альтернативним паливом, сьогодні заміщують близько 43% е. е.; щорічно співспалюють близько 900 тис. т палива з горючих відходів. При цьому, 9% палива з відходів становлять зношені автомобільні шини, а 78% – приготоване альтернативне паливо [8].

Горючі відходи як альтернативне паливо утилізують на деяких цементних заводах в Україні (ПАТ “Миколаївцемент”, ПАТ “Івано-Франківськцемент”, Криворізький завод ПАТ “Хайдельберг-Цемент Україна”). На сьогодні спільно з вугіллям спалюють в основному зношені автомобільні шини, якими заміщують декілька відсотків вугілля. Більшість цементних заводів в Україні планують заміщувати альтернативним паливом до 40% е. е. природного палива [9].

Застосування спільного спалювання вугілля і альтернативного палива на основі горючих відходів не повинно погіршувати якість одержуваного портландцементного клінкеру чи збільшувати негативний вплив на довкілля. Саме тому, альтернативне паливо для цементної промисловості розробляють і готують у відповідності з жорсткими технологічними та екологічними вимогами. Про доцільність використання горючих відходів як альтернативного палива можна стверджувати за результатами прогнозування і оцінки впливу на довкілля. Методи оцінки впливу на довкілля (EIA – Environmental Impact Assessment) як інтегрована частина оцінки впливу життєвого циклу (LCA – Life Cycle

Assessment) розроблені у відповідності з ISO серії 14040 і успішно застосовуються для порівняння та встановлення кращих способів поводження з відходами, зокрема і в цементній промисловості [10].

**Мета і завдання дослідження.** Основною метою досліджень була оцінка впливу на довкілля використання вугілля і спільного спалювання кам'яного вугілля і альтернативного палива на основі горючих відходів в обертових випалювальних печах.

**Методи і матеріали.** У дослідженнях використано методику для визначення кількості забруднюючих речовин, що утворюються при згоранні палива у процесі випалювання портландцементного клінкеру в обертових печах, розроблену Європейським об'єднанням відповідального спалювання і поводження з особливими відходами EURITS [11]. Оцінку і порівняння впливу на довкілля використання вугілля та співспалювання горючих відходів як альтернативного палива проведено згідно з методикою ІМРАСТ 2002+ (ver. 2.1) [12]. При розрахунках використано характеристики розробленого твердого альтернативного палива на основі відходів оброблення макулатури, зношених автомобільних шин, відходів тари пластикової дрібної використаної і тирси деревинної [13–15] та літературні дані щодо вугілля українських родовищ [4, 6, 16, 17] (табл. 1).

**Таблиця 1 – Усереднені параметри кам'яного вугілля, зношених автомобільних шин і твердого альтернативного палива**

Параметри		Кам'яне вугілля	Зношені автомобільні шини	Тверде альтернативне паливо
Вміст елементів-домішок:	S, мас.%	3,1	1,3	0,2
	Cl, мас.%	0,1	<0,1	0,3
	Cu, мг/кг	30,0	290,2	4,1
	Pb, мг/кг	13,0	24,2	7,7
	Cd, мг/кг	1,0	0,3	<0,1
	Cr, мг/кг	23,0	44,5	<0,1
	Ni, мг/кг	18,0	31,1	1,8
	As, мг/кг	135,0	3,2	0,9
	Hg, мг/кг	0,7	0,1	<<0,1
Zn, мг/кг	48,0	4100,0	11,7	
Калорійність, МДж/кг	26,0	26,0	21,9	
Вологість, мас.%	6,9	5,0	13,2	
Зольність, мас.%	16,5	17,0	9,9	

**Результати досліджень.** Випалювання портландцементного клінкеру складається з двох паралельних процесів – згорання палива і випалу сировини. Усі наведені результати прогнозу впливу на довкілля згорання палива не враховують викиди від випалювання сировинних компонентів клінкеру.

Алгоритм оцінки впливу на довкілля полягає у перемноженні результатів інвентаризації процесу (кількості спожитих/емітованих речовин із різних елементарних потоків) з характерними факторами (рис. 1).

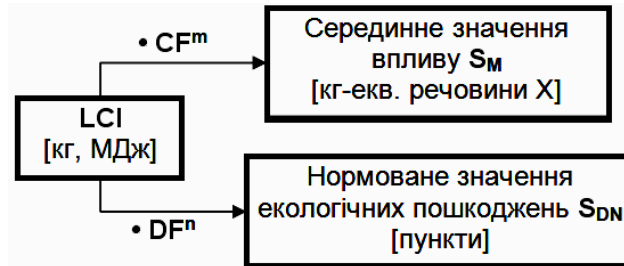


Рис. 1 – Алгоритм оцінки впливу на довкілля, де: LCI – елементарний потік;  
 $CF^m$  – серединний характерний фактор [кг-екв. речовини X/кг емісії];  
 $DF^n$  – нормований фактор пошкоджень (пункти/кг викидів)

У результаті інвентаризації процесу згорання палива (кам'яне вугілля, зношені автомобільні шини, тверде альтернативне паливо на основі суміші горючих відходів) в обертовій печі (етап I) виявлено забруднюючі речовини (рис. 2), які зв'язуються через серединні категорії (етап II) з категоріями пошкоджень (етап III).

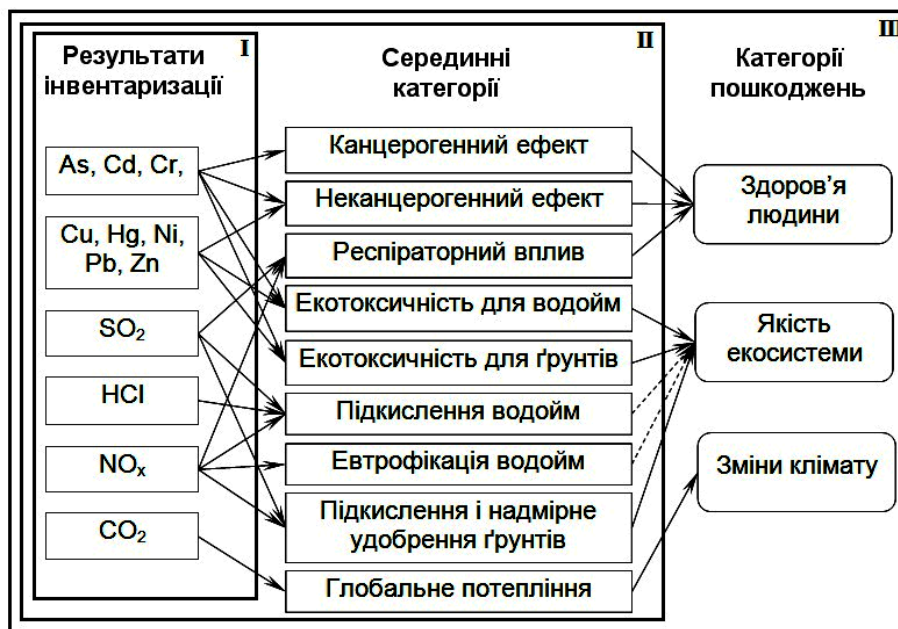
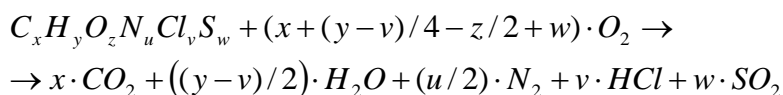


Рис. 2 – Загальна схема структури оцінки впливу на довкілля згорання палива в обертових випалювальних печах за методикою IMPACT 2002+

Як видно з рис. 2, забруднюючі речовини у більшості випадків здійснюють негативний вплив одразу на декілька процесів у довкіллі. Пунктирними стрілками представлені шляхи впливу між серединними категоріями і категоріями пошкоджень, які, як передбачається, існують, але кількісно не змодельовані, через обмеженість інформації [12].

На основі даних про вміст елементів-домішок та енергетичні характеристики кам'яного вугілля, зношених шин і твердого альтернативного палива із суміші відходів оброблення макулатури, відходів тари пластикової дрібної використаної і тирси деревинної (табл. 1) проведено інвентаризацію процесу згорання палива, необхідного для одержання однієї тонни клінкеру в обертовій випалювальній печі. Згідно з методикою EURITS розраховано кількості забруднюючих речовин, що утворюються від згорання палива за стехіометричним рівнянням реакції:



Кількість потенційних викидів забруднюючих речовин, що утворюються від згорання палива в обертовій випалювальній печі, обчислено з урахуванням їх трансфертних коефіцієнтів за формулою [10, 11]:

$$емісія_{i, нов.} = (надходження_i \cdot TK_{i, нов.}) / 100 \%,$$

де  $емісія_{i, нов.}$  – емісія  $i$ -тої забруднюючої речовини у повітря, мг/кг;

$надходження_i$  – кількість  $i$ -тої забруднюючої речовини, що поступає у піч, мг/кг;

$TK_{i, нов.}$  – трансферний коефіцієнт – фракція  $i$ -тої забруднюючої речовини, що викидається у повітря, %.

На рівні серединних категорій оцінено вплив на окремі процеси у довкіллі спільного спалювання альтернативного палива порівняно зі спалюванням кам'яного вугілля для одержання однієї тонни клінкеру в обертових випалювальних печах за чотирма сценаріями (рис. 3).

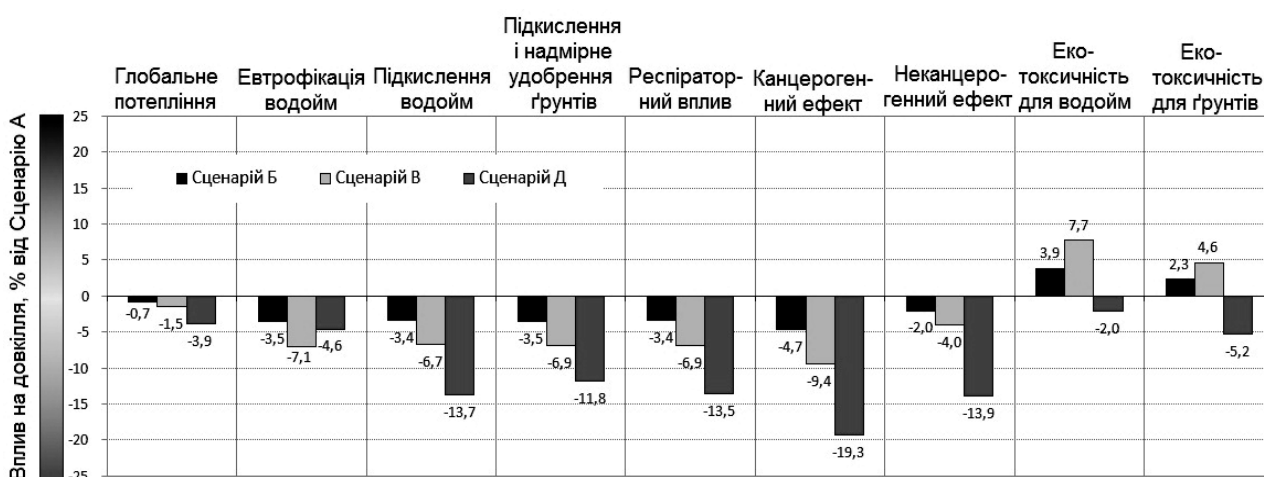


Рис. 3 – Порівняння впливу спалювання палива в обертових випалювальних печах за різними сценаріями на процеси у довкіллі

За базовий сценарій (Сценарій А) прийнято використання лише кам'яного вугілля. За Сценарієм Б 5% е. е., а за Сценарієм В – 10% е. е. вугілля замінено зношеними автомобільними шинами. Згідно зі Сценарієм Д – 10% е. е. вугілля замінено зношеними автомобільними шинами і ще 10% е. е. твердим альтернативним паливом із суміші відходів оброблення макулатури, відходів тари пластикової дрібної використаної і тирси деревинної.

Чим вищі значення показника, тим більший вплив на довкілля чинить процес; від'ємні значення (нижче нульового рівня) відображають кращий ефект з екологічної точки зору у порівнянні з базовим сценарієм. Як видно з рис. 3, заміщення кам'яного вугілля 5–10% е. е. зношеними автомобільними шинами (Сценарій Б і Сценарій В) збільшує на 3,9–7,7% вплив на екотоксичність для водойм і на 2,3–4,6% вплив на екотоксичність для ґрунтів порівняно з Сценарієм А. Водночас, знижується негативний вплив на глобальне потепління, евтрофікацію і підкислення водойм, підкислення і надмірне удобрення земель, респіраторний ефект і токсичність для людини.

Задля зменшення негативного впливу на усі розглянуті процеси у довкіллі запропоновано Сценарій Д. Використання 10% е. е. твердого альтернативного палива на основі суміші відходів оброблення макулатури, відходів тари пластикової дрібної використаної і тирси деревинної (Сценарій Д) знижує техногенний вплив на довкілля порівняно з базовим сценарієм та Сценаріями Б і В. Витрата палива на випалювання клінкеру мокрим способом порівняно із сухим практично удвічі вища, тому об'єми викидів відхідних газів на тонну одержаного портландцементного клінкеру відповідно більші. Вплив на процеси у довкіллі у відносних одиницях (%) для печей мокрого способу не відрізняється від печей сухого способу, а в абсолютних одиницях (кг-екв. речовини X/т клінкеру) цей вплив майже удвічі більший.

Результати обчислення показника пошкоджень кількісно представляють якісні зміни і є завершальним етапом в оцінці впливу досліджуваного процесу на довкілля (табл. 2). Нормовані значення пошкодження довкілля ( $S_{DN}$ ), згідно з ІМРАСТ 2002+, подано у пунктах, які характеризують середньорічний вплив однієї особи на довкілля.

**Таблиця 2 – Вплив згорання палива при випалюванні портландцементного клінкеру мокрим способом на пошкодження довкілля**

Паливо	Здоров'я людини	Якість екосистеми	Зміни клімату
	пунктів/тис. т клінкеру		
Сценарій А	23,80	0,52	99,32
Сценарій Б	22,99	0,51	98,73
Сценарій В	22,19	0,51	98,14
Сценарій Д	20,64	0,47	95,98

Як видно з табл. 2, згорання палива при виробництві портландцементного клінкеру викликає найбільші пошкодження, пов'язані зі змінами клімату і здоров'ям людини. Заміщення частки кам'яного вугілля у процесі випалювання клінкеру альтернативним паливом за усіма запропонованими сценаріями (Сценарії Б, В, Д) спричинятиме менші



пошкодження здоров'я людини, якості екосистеми і змін клімату, порівняно з базовим сценарієм. Зі збільшенням частки альтернативного палива знижується рівень пошкоджень довкілля. Використання розробленого твердого альтернативного палива поряд зі зношеними шинами для випалювання однієї тисячі тонн клінкеру за Сценарієм Д викликатиме менші на 3,2 пункта пошкодження здоров'я людини, на 0,05 пункта – якості екосистеми і на 3,3 пункта – змін клімату, порівняно з базовим сценарієм.

**Висновки.** Встановлено, що згорання палива для випалювання клінкеру в обертових випалювальних печах спричиняє суттєвий вплив на глобальне потепління і, відповідно, на зміни клімату. У разі використання в обертових випалювальних печах 5–10% е. е. зношених автомобільних шин як альтернативного палива знижується негативний вплив на глобальне потепління, евтрофікацію і підкислення водойм, підкислення і надмірне удобрення земель, респіраторний ефект і токсичність для людини; незначно підвищується вплив на екотоксичність для водойм і ґрунтів порівняно з використанням виключно кам'яного вугілля. Заміщення частки вугілля розробленим твердим альтернативним паливом на основі суміші горючих відходів у рівних пропорціях зі зношеними автомобільними шинами знижує негативний вплив згорання палива під час випалювання портландцементного клінкеру на усі процеси у довкіллі порівняно з базовим сценарієм і дозволяє замінювати двадцять та більше відсотків в енергетичному еквіваленті вугілля альтернативним паливом.

Таким чином, прогнозування впливу на довкілля за методикою ІМРАСТ 2002+ на рівні серединних категорій і категорій втрат дозволяє оцінювати виробничий процес на різних стадіях і в цілому, встановлювати взаємозв'язок між викидами забруднюючих речовин і негативними змінами довкілля, визначати найбільш вразливі до функціонування процесу елементи довкілля. Одержана інформація спонукає підприємців до пошуку найкращих доступних технологій та природоохоронних заходів (ВАТ/ВЕР) і практичного застосування у виробництві принципів мислення на рівні життєвого циклу (LCT – Life Cycle Thinking).

### **Список використаної літератури**

1. Co-processing: the cement industry's contribution to the resource efficiency agenda [Electronic resource] / Eurobrief September 2012. – Mode of access: <http://www.cembureau.eu/newsroom/article/co-processing-cement-industry%E2%80%99s-contribution-resource-efficiency-agenda>. – Last access : 2013. – Title from the screen.
2. The cement industry in figures [Electronic resource] / Mode of access : <http://www.ficem.org/pres/THOMAS-ARMSTRONG-LA-INDUSTRIA-DEL-CEMENTO-EN-CIFRAS.pdf>. – Last access : 2013. – Title from the screen.
3. The Cement Industry and Global Climate Change: Current and Potential Future Cement Industry CO<sub>2</sub> Emissions / [M. Natesan at al.] // 6th International Conference : “Greenhouse Gas Control Technologies”. – Oxford : Pergamon, 2003. – P. 995–1000.
4. Саранчук В. Стан вуглехімії в Україні / В. Саранчук // Донецьк. вісн. НТШ. – т. 3. – Донецьк, 2003. – 136 с.

5. Global anthropogenic mercury emission inventory for 2000 / E.G. Pacyna, J.M. Pacyna, F. Steenhuisen, S. Wilson // Atmospheric Environment, 2006. – Volume 40, Issue 22. – P. 4048–4063.
6. Панов Б.С. Про проблеми екології у зв'язку з ртутноносністю вугілля Донбасу / Б.С. Панов, С.В. Сахно // Эл. журнал "Проблеми екології". – № 1–2. – Донецьк : ДонНТУ, 2004. – С. 145–150.
7. Довкілля України : статистичний збірник 2011 р. / за ред. Н.С. Василенко. – К. : Державна служба статистики України, 2012. – С. 90–122.
8. Ślądcezek F. Wymagania najlepszych dostępnych technik (BAT) dla współspalania odpadów w przemyśle cementowym / F. Ślądcezek // Prace Instytutu Ceramiki i Materiałów Budowlanych. – Warszawa-Opole, 2012. – nr. 11. – S. 125–135.
9. Цемент [Електронний ресурс] – Режим доступу : [http://www.lafarge.ua/wps/portal/ua/uk/1\\_1\\_1-Cement](http://www.lafarge.ua/wps/portal/ua/uk/1_1_1-Cement) – Last access : 2013. – Title from the screen.
10. Comparison of the environmental impact of the incineration of calorific industrial waste in a rotary kiln and a cement kiln in view of fuel substitution : Report for EURITS [Electronic resource] / I. Vermeulen, J. Van Caneghem, C. Block, C. Vandecasteele // Belgium. – Mode of access : <http://www.incineration.info/files/publications/KUL%20study.pdf> – Last access : 2013. – Title from the screen.
11. Methodology for the determination of technical co-incineration criteria [Electronic resource] : [http://www.incineration.info/files/publications/Eurits\\_tech\\_criteria\\_coincin.doc](http://www.incineration.info/files/publications/Eurits_tech_criteria_coincin.doc). – Last access : 2013. – Title from the screen.
12. Humbert S. IMPACT 2002+: User Guide. Draft for version 2.1 / S. Humbert, M. Margni, O. Jolliet // Industrial Ecology & Life Cycle Systems Group, GECOS, Swiss Federal Institute of Technology Lausanne (EPFL). – Switzerland : Lausanne, 2005. – 40 p.
13. Саницький М.А. Інноваційний досвід використання альтернативних видів палива у цементній промисловості України / М.А. Саницький, Т.Є. Марків, С.Я. Хруник // Принципи EUREKA та інших європейських програм як чинники інноваційного розвитку України : Наук.-практ. семінар. – К. : ФО-П Т.А. Кінько, 2009. – С. 39–47.
14. Хруник С. Співспалювання горючих відходів у цементних печах / С. Хруник // Геодезія, архітектура та будівництво : Матер. III міжнар. конф. молодих вчених ГАС-2010. – Львів : Вид-во Львівської політехніки, 2010. – С. 94–95.
15. Саницький М.А. Екологічні аспекти співспалювання альтернативного палива в обортових цементних печах / М.А. Саницький, С.Я. Хруник, К. Чернер // Будівельні матеріали та виробы, 2011. – № 1 (66). – С. 2–6.
16. Юдович Я.Э. Токсичные элементы-примеси в ископаемых углях / Я.Э. Юдович, М.П. Кетрис. – Екатеринбург : УрО РАН, 2005. – 654 с.
17. Шубин Ю.П. Полезные элементы-примеси в углях Донбасса разных марок / Ю.П. Шубин // Наукові праці УкрНДМІ НАН України, 2008. – № 2. – С. 192–198.

*Стаття надійшла до редакції 15.01.14 українською мовою*

© С.Я. Хруник

**ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ  
ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТВЕРДОГО АЛЬТЕРНАТИВНОГО ТОПЛИВА  
В ЦЕМЕНТНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ**

*В соответствии со стандартами серии ISO 14040 осуществлена оценка потенциального воздействия на окружающую среду сгорания угля и совместного сжигания угля и альтернативного топлива на основе твердых горючих отходов в процессе обжига клинкера во вращающихся печах по методике IMPACT 2002 +.*

© S.J. Hrunyk

**PREDICTING THE IMPACT ON THE ENVIRONMENT USING SOLID ALTERNATIVE  
FUELS IN THE CEMENT INDUSTRY**

*In accordance with the standards ISO 14040 series a potential Environmental Impact Assessment of coal burning and coal with alternative fuels from solid combustible wastes co-firing during clinker sinterization in rotary kilns was evaluated by IMPACT 2002+ methodology.*

УДК 628.1.033,628.112.23,628.113.1

© А.В. Ошкадер, ассистент

Керченский государственный морской технологический университет, г. Керчь

## **ОЦЕНКА СОВРЕМЕННОГО ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ АРТЕЗИАНСКИХ СКВАЖИН НА ТЕРРИТОРИИ КЕРЧЕНСКОГО ПОЛУОСТРОВА**

*В статье рассмотрена проблема обеспечения Керченского полуострова качественной питьевой водой. Проанализировано экологическое состояние артезианских скважин, как альтернативных источников водоснабжения полуострова. Выявлены нарушения законодательства в сфере водопользования, а также предложены рекомендации по обеспечению экологической безопасности Керченского полуострова.*

**Ключевые слова:** водопользование, качество питьевой воды, артезианские скважины, экологический мониторинг.

Проблема обеспечения населения качественной питьевой водой является весьма актуальной для Керченского полуострова. На сегодняшний день основным источником централизованного питьевого водоснабжения населения Керченского полуострова является Северо-Крымский канал. Однако, днепровская вода, поступающая к потребителям, не соответствует по ряду показателей требованиям стандартов [3, 4], предъявляемым к данной категории водопользования, и подается по технически изношенным системам. Основные причины сложившейся критической ситуации на территории Керченского полуострова следующие:

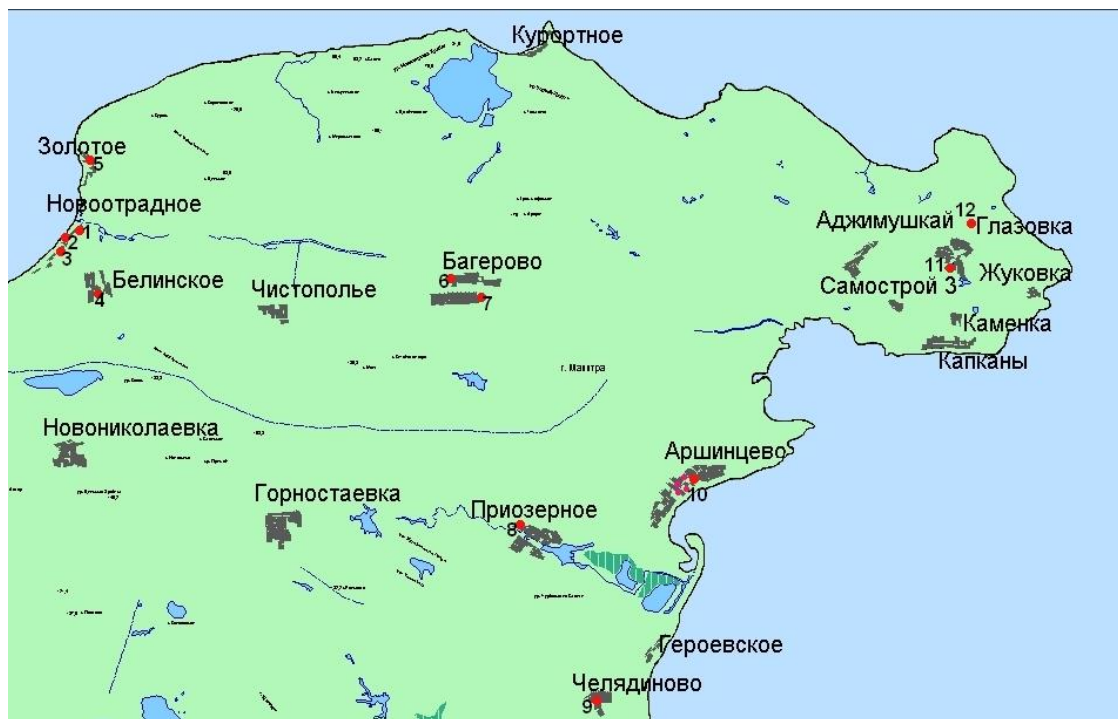
- методы очистки воды, применяемые на предприятиях водного хозяйства полуострова, являются устаревшими и малоэффективными;
- водовод от Северо-Крымского канала устарел и требует замены;
- водопроводы изношены, а в некоторых населенных пунктах нет централизованного водоснабжения;
- постоянные аварии и отсутствие финансирования на ремонт устаревших водопроводных систем усугубляют ситуацию с обеспечением населения водой даже для технических нужд;
- большинство канализационных насосных станций на сегодняшний день не функционируют (разрушены и брошены), на остальных – оборудование изношено, ремонт не производится из-за отсутствия финансирования.

В некоторых населенных пунктах Ленинского района централизованное водоснабжение отсутствует и используются альтернативные источники водоснабжения.

До строительства Северо-Крымского канала вода из артезианских скважин являлась единственным источником водоснабжения полуострова. Вследствие повышенной минерализации она отличалась горьковато-соленым привкусом и несоответствием требованиям стандартов по таким показателям, как цветность, мутность, жесткость, сульфаты, хлориды, сухой остаток, магний. Вода некоторых скважин имела отклонения от нормативов по тяжелым металлам и аммиаку. С введением в строй Северо-Крымского канала артезианская вода, для улучшения вкуса и с целью снижения повышенной минерализации, разбавлялась днепровской водой [7].

Однако на сегодняшний день на территории Керченского полуострова для удовлетворения питьевых и хозяйственно-бытовых нужд широко используются артезианские скважины в качестве индивидуального водоснабжения на правах специального водопользования. Особенно это характерно для населенных пунктов, где отсутствует централизованное водоснабжение, для районов, испытывающих дефицит пресной воды, а также территорий курортов и баз отдыха.

Цель исследования состояла в изучении экологического состояния артезианских скважин, выявлении нарушений природоохранного законодательства в области водопользования и разработке рекомендаций по обеспечению экологической безопасности Керченского полуострова.



*Рис. 1 – Карта-схема размещения артезианских скважин восточной части Керченского полуострова*

На территории восточной части Керченского полуострова было проанализировано экологическое состояние 13 артезианских скважин (рис. 1), расположенных на территории 8 сел

Ленинского района – Глазовка, Героевское, Приозерное, Челядиново, Багерово, Белинское, Новоотрадное и Золотое, а также района Аршинцево г. Керчь.

Село Новоотрадное, расположенное на побережье Азовского моря в 30 км от г. Керчь, входит в состав Белинского сельского совета. Населенный пункт расположен в широкой ложбине, отделяющей море от степного плато Керченского полуострова. В данном населенном пункте отсутствует централизованное водоснабжение. Население для удовлетворения питьевых и хозяйственно-бытовых нужд использует привозную воду и воду подземных минеральных источников общего пользования. На территории с. Новоотрадное широко развита сеть баз отдыха, пансионатов и «гостевых домов», которые в качестве водоснабжения используют артезианские скважины. Причем на большинство из них отсутствует разрешение на специальное водопользование и проектная документация, что является нарушением законодательства Украины. В ходе проведенных исследований были зафиксированы следующие несанкционированные артезианские скважины:

1. Скважина № 1 – на территории частного пансионата «Дионис». Глубина скважины составляет 80 м, дебит – 10 м<sup>3</sup>/сутки.

2. Скважина № 2 – на территории частного пансионата «Казантипская хижина». Глубина скважины – 76 м, дебит – 10 м<sup>3</sup>/сутки.

3. Скважина № 3 – на территории гостевого дома «Визит». Глубина скважины – 59 м, дебит – 10 м<sup>3</sup>/сутки.

Село Белинское расположено на севере Керченского полуострова в 30 км от г. Керчь. Централизованное водоснабжение в данном населенном пункте отсутствует. Местное население в основном использует привозную воду, а также воду артезианских скважин. На территории с. Белинское расположена скважина № 4, которая находится в общем пользовании (рис. 2). Дебит данной скважины составляет 8 м<sup>3</sup>/сутки, вода с характерным запахом сероводорода. Несмотря на активное использование воды данной скважины местным населением, границы зон санитарной охраны не установлены и водоохраные мероприятия не проводятся.



Рис. 2 – Скважина № 4

Централизованное водоснабжение села Золотое осуществляется из скважины № 5, которая расположена в 10 м от автобусной остановки (рис. 3). Вода по химическим и бактериологическим показателям не соответствует требованиям, предъявляемым к питьевой воде, и используется населением для удовлетворения хозяйственно-бытовых нужд. Дебит скважины составляет 27 м<sup>3</sup>/сутки. В 50 м от скважины № 5 оборудовано место для поения скота водой из данной скважины (рис. 4).

В посёлке городского типа Багерово Ленинского района Крыма расположены две скважины, которые должны обеспечивать его водой. Однако, в результате того, что водопровод пришел в негодность, проблема подачи воды в дома существует уже порядка 10 лет. Причем,

вода подається нерегулярно, і якість води дуже низька. Исследованы скважины № 6 и № 7. Скважина № 6 расположена недалеко от железной дороги на выезде из населенного пункта в сторону с. Чистополье. Границы зон санитарной охраны данной скважины установлены, однако водоохранные мероприятия проводятся частично. Скважина № 7 на данный момент затампонирована и в качестве источника водоснабжения не используется.



*Рис. 3 – Скважина № 5*



*Рис. 4 – Место для поения скота*



*Рис. 5 – Скважина № 8*



*Рис. 6 – Скважина № 9*

На территории с. Приозерное расположены три артезианские скважины, которые осуществляли снабжение населенного пункта питьевой водой. На сегодняшний день две из них затампонированы, а подача воды осуществляется из скважины № 8, расположенной на выезде из с. Приозерное в сторону феодосийской трассы (рис. 5). Глубина данной скважины составляет 50 м, дебит – 35 м<sup>3</sup>/сутки. Состояние неудовлетворительное – отсутствует зона санитарной охраны, многие технические конструкции разрушены. Подача воды осуществляется посредством насосной станции, расположенной в 200 м от скважины, 2 раза в неделю, т. к. затраты электроэнергии на водоснабжение населенного пункта велики.

Село Челядиново расположено севернее озера Тобечик. Централизованное водоснабжение в данном населенном пункте отсутствует. Для удовлетворения питьевых и хозяйственно-бытовых нужд используется привозная вода. На территории с. Челядиново по

## Екологічна безпека та природокористування

ул. Южной 5 расположена скважина № 9, находящаяся в частном пользовании на правах спецводопользования (рис. 6). Глубина скважины составляет 84,5 м, дебит – 110 м<sup>3</sup>/сутки. Вода данной скважины используется в коммерческой деятельности и поставляется на продажу.

Скважина № 10 в районе Аршинцево г. Керчь, расположена по ул. Ульяновых (рис. 7). На сегодняшний день данная скважина затампонирована и не функционирует. Это обусловлено интенсивным сносом загрязняющих веществ с вышележащего полигона бытовых отходов. В результате чего в воде скважины отмечается повышенное содержание мышьяка и ртути [8].



Рис. 7 – Скважина № 10



Рис. 8 – Скважина № 11



Рис. 9 – Скважина № 12



Рис. 10 – Скважина № 13

В с. Глазовка были исследованы скважины № 11, 12. Артезианская скважина № 11 расположена на выезде из села (рис. 8). Вода данной скважины до 1996 г. реализовывалась под торговой маркой «Баксы». На сегодняшний день скважина законсервирована и не функционирует, поскольку фирма «Кристалл», осуществлявшая добычу минеральной воды, не имеет лицензии. Артезианская скважина № 12, расположенная в центральной части с. Глазовка, является основным источником водоснабжения (рис. 9). Однако, состояние данной скважины неудовлетворительное, поскольку границы зон санитарной охраны не установлены и водоохранные мероприятия не проводятся.



С. Героевское характеризуется большим количеством частных пансионатов, на территории которых пробурены несанкционированные скважины различных водоносных горизонтов (от 40 до 90 м), не имеющие разрешение на спецводопользование. Техническая документация представлена на скважину № 13, которая расположена на территории частного пансионата «Черноморочка» (рис. 10). Вода данной скважины активно используется во время курортного сезона для хозяйственно-бытовых и питьевых нужд. Разрешение на спецводопользование имеется, однако пояса зон санитарной охраны установлены частично, водоохранные мероприятия фактически не проводятся.

Результаты наблюдений и анализы, полученные в ходе исследования артезианских скважин Керченского полуострова, приведены в таблице 1 и на рисунках 11–14.

**Таблица 1 – Общая характеристика водопользования артезианских скважин**

№ скважины	Вид водопользования		По целевому назначению			По способу использования водных объектов		По срокам осуществления		По признаку возмездности	
	Общее	Специальное	для удовлетворения питьевых нужд населения	для удовлетворения хозяйственно-бытовых нужд населения	для удовлетворения лечебных и оздоровительных нужд населения	Первичное	Вторичное	Срочное	Бессрочное	Платное	Бесплатное
1	-	+	+	+	-	+	-	-	+	-	+
2	-	+	+	+	-	+	-	-	+	-	+
3	-	+	+	+	-	+	-	-	+	-	+
4	+	-	+	-	+	+	-	-	+	-	+
5	+	-	+	+	-	-	+	-	+	+	-
6	+	-	+	+	-	-	+	-	+	+	-
7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
8	+	-	+	+	-	-	+	-	+	+	-
9	-	+	+	-	+	+	-	+	-	+	-
10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
11	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12	+	-	+	+	-	-	+	-	+	+	-
13	-	+	+	+	-	+	-	+	-	+	-

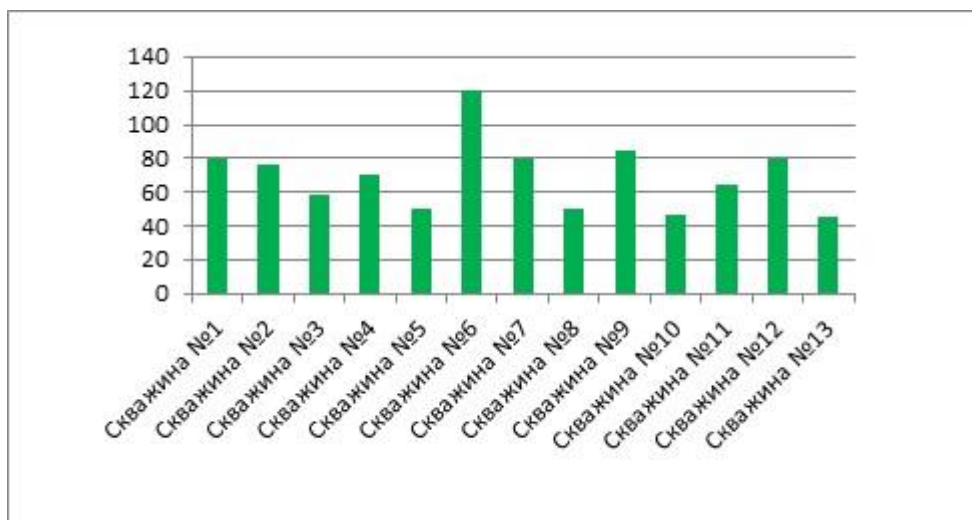


Рис. 11 – Диаграмма значений глубины артезианских скважин (в метрах)

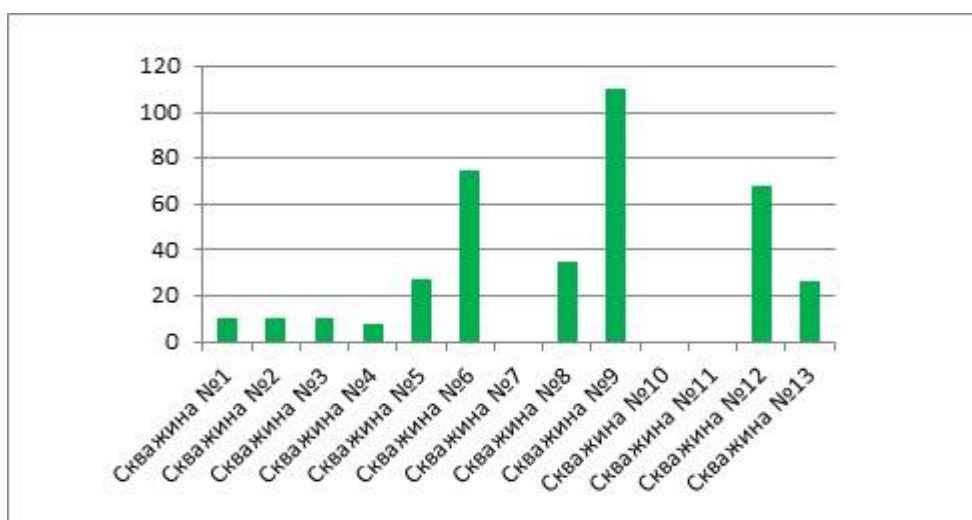


Рис. 12 – Диаграмма дебита артезианских скважин (в м³/сутки )

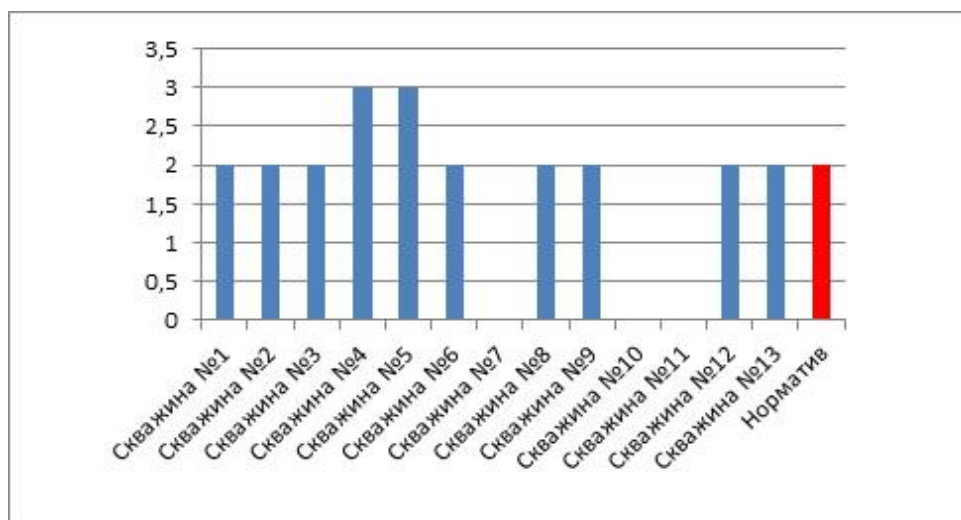


Рис. 13 – Диаграмма оценки интенсивности запаха воды скважин (в баллах)

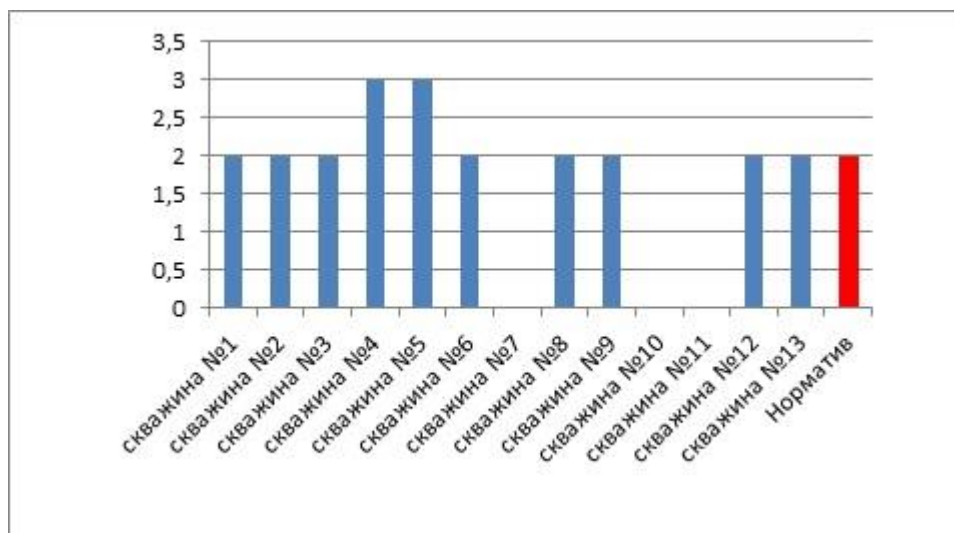


Рис. 14 – Диаграмма оценки интенсивности вкуса и привкуса воды (в баллах)

На основе полученных данных можно сделать следующие выводы:

1. Глубина исследованных скважин колеблется от 45 до 120 м. Минимальное значение глубины зафиксировано в с. Героевское, максимальное – в пгт. Багерово. Уровень залегания подземных вод в различных районах зависит от особенностей геологического строения территории и наличия водоносных горизонтов.

2. В результате проведенного анализа органолептических показателей воды артезианских скважин было установлено, что в двух из тринадцати исследованных скважин (№ 4, 5) вода не соответствует установленным нормативам интенсивности запаха и вкуса. Однако, несмотря на нарушение требований ДСТУ 4808: 2007 «Источники централизованного питьевого водоснабжения. Гигиенические и экологические требования к качеству воды и правила отбора», вода данных скважин активно используется местным населением для удовлетворения питьевых нужд. Использование артезианской воды такого качества для питьевых нужд создает угрозу санитарно-эпидемиологическому благополучию населения и экологической безопасности региона в целом.

3. В результате оценки видов водопользования артезианских скважин были выявлены следующие закономерности:

– в общем водопользовании находятся 62% исследованных скважин, в специальном водопользовании – 38%;

– по способу использования: к первичному виду водопользования относятся 46% скважин, к вторичному – 31%, не используются (затампонированы) – 23%;

– по срокам осуществления водопользования: в бессрочном пользовании находятся 62% скважин, в срочном – 15%, 23% – не используются;

– по признаку возмездности: в бесплатном пользовании находятся 31% исследованных скважин, в платном – 46%, не используются (затампонированы) – 23%;

– по целевому назначению: для удовлетворения питьевых и хозяйственно-бытовых нужд населения используется 62% от общего числа исследованных скважин, для удовлетворения питьевых и оздоровительных нужд населения – 15%, не используются – 23%.

Таким образом, в ходе исследования экологического состояния артезианских скважин были выявлены следующие нарушения:

1. В органах государственного контроля и местного самоуправления отсутствует информация о происхождении большинства артезианских скважин общего водопользования и документация на них.

2. Большинство артезианских скважин, расположенных на частных территориях, эксплуатируются без получения спецразрешений и соответствующей документации на право водопользования.

3. Санитарно-эпидемиологический надзор за качеством воды артезианских скважин, которую население использует для питьевых нужд, проводится эпизодически и не в полном объеме.

4. Границы зон санитарной охраны артезианских скважин не установлены. Водоохраные мероприятия не проводятся.

5. Финансирование мероприятий по благоустройству скважин общего пользования не осуществляется.

С целью обеспечения санитарно-эпидемиологического благополучия населения и экологической безопасности Керченского полуострова необходимо:

1. Осуществить инвентаризацию с участием органов Минприроды, СЭС, Государственной службы геологии и недр Украины и органов местного самоуправления всех артезианских скважин.

2. Провести экологическую паспортизацию выявленных скважин за счет бюджета АРК и органов местного самоуправления.

3. При необходимости провести работы по благоустройству скважин, а в случае специального водопользования – обязать собственника участка провести работы по обустройству.

4. Установить границы зон санитарной охраны артезианских скважин с вынесением их в натуру.

5. Обеспечить проведение систематического санитарно-эпидемиологического надзора за качеством воды скважин, используемой населением для питьевых нужд.

6. Обеспечить проведение постоянного экологического контроля и мониторинга за состоянием артезианских скважин.

В целом экологическое состояние артезианских скважин можно определить как неудовлетворительное, но выполнение всех разработанных рекомендаций позволит обеспечить экологическую безопасность на территории Керченского полуострова.

### **Список использованной литературы**

1. Водный кодекс Украины от 6 июня 1995 г. № 214/95-ВР/ВВР Украины. – 1995. – № 24. – С. 189.

2. Кодекс України о недрах от 27 июля 1994 г. № 132/94-ВР/ВВР Украины. – 1994. – № 36. – С. 340.
3. Гигиенические требования к воде питьевой, предназначенной для потребления человеком: ГСанПиН 2.2.4-171-10. – приказом Министерства охраны здоровья Украины № 400 от 12.05.2010 г. – К.: Госстандарт Украины, 2010. – 25 с.
4. Источники централизованного водоснабжения. Гигиенические и экологические требования к качеству воды и правила отбора: ДСТУ 4808:2007. – приказом ДСТУ № 487 от 22.12.2008 г. срок вступления в силу перенесен на 01.01.2012 г. – К.: Госстандарт Украины, 2007. – 36 с.
5. Положение о порядке проектирования и эксплуатации зон санитарной охраны источников водоснабжения и водопроводов хозяйственно-питьевого назначения от 18.12.1982 г. № 2640-82.
6. Гончарук В.В., Білявський Г.О., Ковальов М.І., Рубцов Г.С. Національна екологічна безпека та екологічна паспортизація водних об'єктів. – Вісник Національної академії наук України, 2009, № 5, С. 22–25.
7. Кудрик И.Д. Комплексная оценка качества питьевой воды Керченского полуострова в аспекте устойчивого развития региона: Монография / И.Д. Кудрик, И.Г. Пашкина, А.Ю. Селиван, Т.В. Хребтова – Львов: Издательство «Растр-7», 2011. – 96 с.
8. Устойчивое развитие и природные ресурсы прибрежной Азово-Черноморской зоны Крыма: Монография. / Г.И. Рудько, И.Д. Кудрик, С.Г. Белявский, Е.П. Масюткин, И.Ф. Ерыш. Киев: Адеф – Украина, 2012. – 288 с.

*Стаття надійшла до редакції 22.01.14 російською мовою*

**© О.В. Ошкадер**

## **ОЦІНКА СУЧАСНОГО ЕКОЛОГІЧНОГО СТАНУ АРТЕЗІАНСЬКИХ СВЕРДЛОВИН НА ТЕРИТОРІЇ КЕРЧЕНСЬКОГО ПІВОСТРОВА**

*У статті розглянута проблема забезпечення Керченського півострова якісною питною водою. Проаналізовано екологічний стан артезіанських свердловин, як альтернативних джерел водопостачання півострова. Виявлені порушення законодавства у сфері водокористування, а також запропоновані рекомендації щодо забезпечення екологічної безпеки Керченського півострова.*

**© A.V. Oshkader**

## **RATING OF ECOLOGICAL CONDITION ARTESIAN WELLS IN KERCH PENINSULA**

*In article the problem of providing quality drinking water the Kerch Peninsula was considered. The ecological condition of artesian wells, as alternative sources of water supply of the peninsula, was analyzed. Violations of legislation in the field of water use were revealed and were given recommendations to ensure the environmental safety of the Kerch Peninsula.*

УДК 528.88:574.9

© М.О. Попов<sup>1</sup>, д-р техн. наук;  
І.Д. Семко<sup>1</sup>, аспірант;  
І. Козак<sup>2</sup> (I. Kozak), д-р біол. наук

<sup>1</sup>Науковий Центр аерокосмічних досліджень Землі НАН України, м. Київ, Україна;

<sup>2</sup>The John Paul II Catholic University of Lublin, Lublin, Poland

### ОЦІНЮВАННЯ ІНДЕКСУ ЛИСТКОВОЇ ПОВЕРХНІ ЗА ДАНИМИ АВІАЦІЙНОЇ ЛІДАРНОЇ ЗЙОМКИ

*Проведено стислий огляд існуючих методів оцінювання індексу листкової поверхні LAI. Відзначено, що більшість методів виявляються малоефективними на великих площах рослинності. Для подібних випадків запропонована методика дистанційного оцінювання індексу листкової поверхні, в основі якої – регресійна модель зв'язку між значеннями індексу LAI і даними авіаційної лідарної зйомки. Побудовано рівняння множинної регресії. Наведено результати випробування запропонованої методики, які підтверджують її достатньо високу точність і перспективність.*

**Ключові слова:** рослинність, індекс листкової поверхні, дистанційне оцінювання, авіаційна лідарна зйомка, множинна регресія.

#### 1. Вступ

Рослинність – компонент біосфери, якому притаманні унікальні утворюючі, водозахисні, ґрунтозахисні та інші системні функції. Засвоюючи в процесі фотосинтезу двоокис вуглецю, воду, мінеральні компоненти, рослини утворюють органічні речовини – джерело енергії та їжі усіх живих організмів і виділяють життєво необхідний кисень. Значною є роль рослин в міграції хімічних елементів, у підтримці балансу існуючих в природі взаємозв'язків. Велике значення вони мають в утворенні ґрунтів та формуванні ландшафтів. За участю рослинності формується клімат, підтримуються водний баланс і необхідний для живих організмів склад приземної атмосфери тощо. Тому вивченню стану рослинності, достовірному і точному оцінюванню її кількісних та якісних показників завжди приділялась і приділяється велика увага.

Одним з основних показників активності процесів фотосинтезу рослинністю є індекс листкової поверхні (Leaf Area Index – LAI). Він був введений D. Watson ще у середині

минулого століття [1] для кількісного оцінювання фотосинтезуючої здатності листя і виявився одним з найбільш цінних, за своєю інформативністю і об'єктивністю, морфоструктурних параметрів рослинних екосистем. Індекс LAI сьогодні широко використовується при вивченні особливостей взаємодії рослинності з атмосферою, в моделях вуглецевого циклу, при оцінюванні продуктивності лісів, розрахунках фітомаси, тощо [2–4].

Індекс LAI визначається кількісно, як площа загальної поверхні освітлених листків (сонячним або іншим випромінюванням), що приходить на одиницю поверхні ґрунту [3], тобто:

$$LAI = S / G,$$

де S – площа освітлених листків, G – площа ґрунту.

Формально LAI – величина безрозмірна, але з фізичної точки зору вона вимірюється як  $m^2/m^2$ . Для отримання величини індексу LAI рослинності існує багато різних методів, які поділяють на наземні і дистанційні [5, 6].

Серед наземних методів визначення LAI є такі, що потребують фізичного контакту з рослиною, а є такі, де це не потрібно. Наземні методи першої групи відносять до прямих, методи другої групи називають безконтактними, або непрямими.

Зміст найбільш процедурно простого методу прямих наземних вимірювань LAI полягає у тому, що на певній земельній ділянці з рослинністю зрізують все листя, збирають і підраховують його загальну площу. А далі шляхом ділення (половини) підсумованої загальної площі зібраного листя на площу ділянки отримують шукану величину LAI [5]. Підрахунок загальної площі листів важко провести інакше, ніж вручну, а це вимагає багато часу. Тому вказана процедура орієнтована переважно на вимірювання величини LAI для невеличких за своєю площею ділянок рослин, в основному “короткого” зростання (трав, сільськогосподарських культур). Разом з тим, відомі дослідження із застосуванням прямих наземних вимірювань для оцінювання LAI рослинності лісових масивів [7].

Головна перевага наземних прямих вимірювань – максимальна відповідність (наближеність) оцінок LAI дійсному стану рослинності, тому саме основані на таких вимірюваннях методи звичайно використовують для калібрування інших методів і технологій вимірювання LAI, зокрема дистанційних [8, 9].

Наземні безконтактні, або непрямі методи оцінювання LAI, базуються на аналізі особливостей проходження світла (сонячного та/або розсіяного атмосферою), що падає на купол дерева, через прогалини між листками. Ці особливості, у вигляді світлових сегментів і плям різних геометричних розмірів і інтенсивності, відображаються на загальній картині просторового розподілу інтенсивності світла внизу, під кроною дерева. Така картина може бути зареєстрована, наприклад, методом фотографування, а потім оброблена спеціальною комп'ютерною програмою, виходом якої є конкретне значення LAI.

Відомо багато наземних способів і відповідних приладів для реєстрування картини розподілу світла і проведення необхідних світлових вимірювань [4–6]. Найбільш поширеними

є спосіб фотографування Digital Hemispherical Photography (DHP) і спосіб аналізу рослинного пологую Plant Canopy Analysis (PCA).

Спосіб DHP надає можливість отримати цифрове фотографічне зображення з наочною цілісною картиною розташування, форми і розмірів прогалин у листві дерева. Але для одержання такої картини фотографувати треба з-під дерева в надир і при цьому має бути охоплено уся верхня півсфера. Щоб задовольнити останню вимогу, використовують цифрову фотокамеру з об'єктивом "риб'яче око" (останній забезпечує кут поля зору у 180 градусів). Для забезпечення необхідного орієнтування у просторі та стабілізації в момент знімання звичайно фотокамеру закріплюють на тринозі.

Спосіб оцінювання LAI через вимірювання та аналіз рослинного пологую PCA реалізовано в аналізаторі Plant Canopy Analyzer LAI-2000 американської компанії LI-COR Inc. [10]. Теоретичним підґрунтям даного способу є відома формула, яка пов'язує величину LAI з кількістю сумарного сонячного світла, що проходить під різними кутами через прогалини у листві дерева [4]. В конструкції приладу LAI-2000 передбачено п'ять кільцевих за формою чутливої площадки фотодетекторів, причому площадки утворюють концентричні кільця. На ці фоточутливі в інтервалі довжин хвиль 400–490 нм площадки за допомогою спеціальної оптики збирається світловий потік, який проходить через листву дерева під кутами від 0 до 75 градусів. Фотодетектори перетворюють величини падаючих на них світлових потоків в електричні сигнали, останні аналізуються комп'ютером на предмет виявлення та оцінювання прогалин, що дозволяє далі розрахувати величину LAI. Завдяки такій конструкції і за допомогою спеціального програмного забезпечення аналізатор Plant Canopy Analyzer LAI-2000 видає достатньо точні оцінки LAI. Відзначимо, що на даний час компанією LI-COR Inc. випускається удосконалений аналізатор LAI-2200 в різних опціях [10].

Таким чином, безперечною перевагою всіх наземних методів оцінювання LAI є достовірність (відповідність реальності) одержуваних оцінок LAI при технічній і процедурній простоті їх отримання. Але застосування наземних методів зустрічає серйозні труднощі, коли потрібні оцінки рівня активності процесів фотосинтезу рослинності на достатньо великих площах, особливо в умовах обмеженого ресурсу часу. У подібних випадках все частіше звертаються до сучасних технологій дистанційного зондування Землі (ДЗЗ), які дозволяють одержувати необхідні оцінки LAI шляхом формування та послідуочого комп'ютерного аналізу аеро- або космічних багатоспектральних зображень [11, 12].

У статті пропонується та досліджується дистанційний метод оцінювання індексу листової поверхні LAI за даними авіаційної лідарної зйомки, тобто на основі зображень рослинності, які формуються за допомогою встановленого на літаку лазерно-локаційного сканера – авіаційного лідара (Light Detection and Ranging – LiDAR).

## **2. Контекст і постановка задачі**

В основі застосування методів дистанційного оцінювання LAI лежить явище спектрально-вибіркової реакції рослинності на падаюче оптичне випромінювання. Така вибірковість фіксується на багатоспектральних аерокосмічних зображеннях ландшафтів з рослинністю



і може бути оцінена за допомогою так званих вегетаційних індексів. Найбільш часто з цією метою використовують Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), Reduced Simple Ratio (RSR) і Enhanced Vegetation Index (EVI) [12, 13].

Загальна схема отримання дистанційної оцінки LAI через вегетаційні індекси базується на побудові формули регресії. Так, проведене в [14] дослідження на знімках Landsat-5 показало, що значення NDVI і LAI непогано корелюють між собою, а цей статистичний зв'язок може бути із задовільною точністю описаний формулою лінійної регресії.

У роботі [15] встановлено, що точність оцінок LAI у деяких випадках може бути покращена, якщо розраховувати LAI через індекс RSR. Однак нещодавно було показано [16], що реальним є подальше підвищення точності оцінок LAI за допомогою знімків Landsat-7, якщо є адекватна модель формування оптико-спектрального сигналу та можливість додатково використовувати деякі програмні продукти, що створюються на основі багатоспектральних зображень з космічного апарату MODIS.

Індекс EVI багато років застосовується для розрахунків LAI в програмних продуктах Terra та MODIS [17], оскільки він менш чутливий до негативного впливу випромінювання атмосфери та ґрунту.

З появою гіперспектральних аерокосмічних бортових засобів виникла можливість синтезувати нові різноманітні вегетаційні індекси й завдяки цьому отримувати значно більш повну інформацію про реакцію рослини на падаюче оптичне випромінювання. Важливо також, що вегетаційні індекси на основі гіперспектра виявилися не такими чутливими до геометрії рослинності, як вегетаційні індекси на основі сигналів багатоспектральних зображень. В результаті, як показано в [18, 19], досягається підвищення точності оцінок LAI.

Таким чином, на сьогодні розроблено достатньо багато методів дистанційного оцінювання LAI на основі застосування багатоспектральних та гіперспектральних аерокосмічних знімків. Однак всім їм притаманні два такі недоліки: 1) більшість багатоспектральних і гіперспектральних аерокосмічних знімків, на які орієнтуються відомі методи дистанційного оцінювання LAI, мають відносно невисоку просторову розрізнявальну здатність; 2) всі оцінки LAI базуються на сигналах, відбитих лише верхнім шаром рослинності, тобто в розрахунках ніяк не враховується тривимірність рослинних об'єктів.

Щоб подолати вказані недоліки, у світовій практиці для отримання кількісних характеристик рослинності, зокрема LAI, все частіше звертаються до такого активного засобу ДЗЗ, як лазерне сканування ділянок земної поверхні з борта літака або космічного апарата [20, 21, 22]. LAI за даними лідара оцінується або шляхом статистичного аналізу картини лісового пологую [24], або за допомогою методів регресійного аналізу [23].

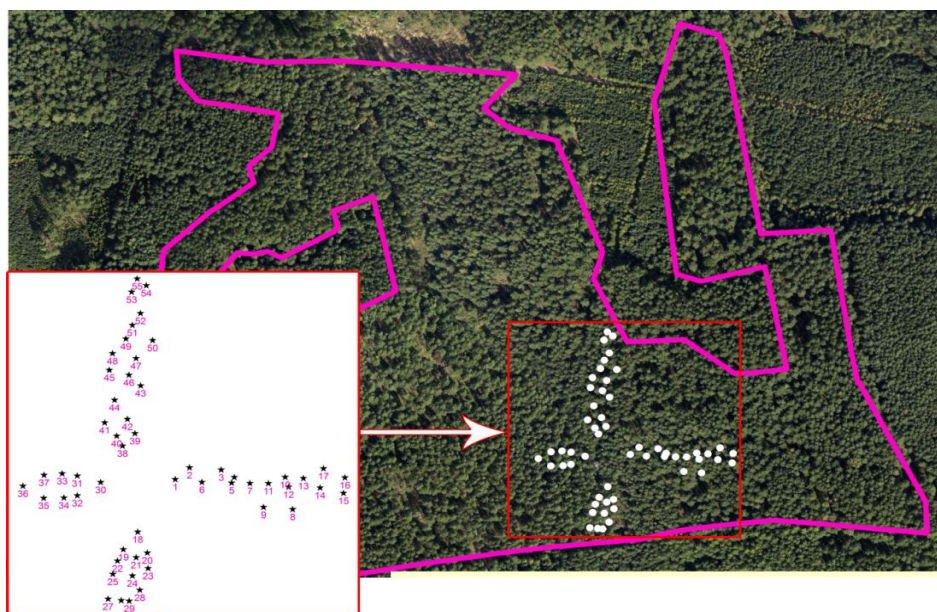
Необхідно звернути увагу, що поки не вдалося розробити універсальний метод оцінювання індексу LAI, який би можна було застосовувати напряму для даних незалежно від типу лідара. Крім того, невідомим елементом кожної лідарної технології ДЗЗ оцінювання біофізичних параметрів рослинності є проведення наземних завіркових вимірювань на території дослідження. В силу цих двох чинників вирішення практично кожної задачі оцінювання LAI за даними лідарної зйомки потребує розробки додаткового

науково-методичного забезпечення з урахуванням специфіки вхідних даних, властивостей об'єктів інтересу, регіональних умов і т. д.

Мета даного дослідження – розробити методику оцінювання індексу листкової поверхні LAI на заданій території за даними авіаційної лідарної зйомки, а також провести експериментальну перевірку її можливостей.

### **3. Територія дослідження і вхідні дані**

Дослідження щодо можливостей оцінювання індексу листкової поверхні LAI за даними авіаційної лідарної зйомки проводилися на базі ділянки лісу площею порядку 25 га на території лісництва Мартев надлісництва Тучно Західнопоморського воєводства Польщі, (координати центру ділянки: E16°05'42" N53°11'38"). Особливості ділянки – переважає хвойна рослинність (соснові деревостани) з різним віковим складом. На означену ділянку було отримано лідарні дані, напівсферичні фотографії та аерофотознімки.



*Рис. 1 – Територія дослідження та пункти DHP*

Лідарні дані були одержані за допомогою авіаційного лазерно-локаційного сканера Optech ALTM з такими характеристиками [[www.optech.com](http://www.optech.com)]:

- робоча довжина хвилі – 1,064 мкм;
- розрізненість по висоті – від 5 до 35 см (в залежності від висоти знімання);
- розрізненість на місцевості – близько 40 точок на 1 кв. м;
- можливість роздільної фіксації 4-х імпульсів за дальністю;
- динамічний діапазон сигналу – 12 бітів.

Фотографії DHP були одержані за допомогою фотокамери D3000 з матрицею 10 мегапікселів та об'єктивом Fisheye-Nikkor “Риб’яче око” 10.5mm f/2.8, який дає змогу охоплювати простір в куту до 180°. Загалом було задіяно 55 точок фотографування DHP (рис. 1),

кожна з яких була геопозиціювана. Висота знімання, обиралась, як правило, на рівні висоти грудей людини, тобто 1,3 м. Всі фотографії DHP були зроблені в ранковий період часу до сходу Сонця, як це рекомендовано в [25].

Аерофотознімки використовувалися в роботі для полегшення вивчення території досліджень і визначення місць точок наземного фотографування.

#### 4. Методика оброблення даних: схема і експериментальні результати

Методика дистанційного оцінювання LAI за даними авіаційного лідара реалізується за схемою, представленою на рис. 2. Згідно зі схемою, цифрове оброблення фотографій DHP та лідарних даних здійснюється окремо і незалежно.

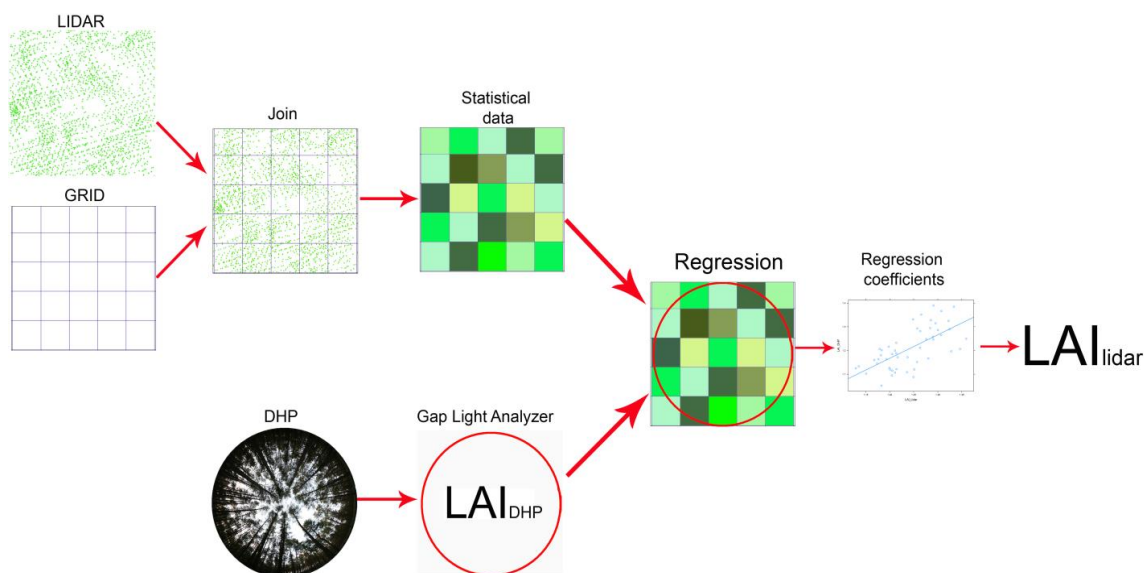


Рис. 2 – Схема оцінювання LAI за даними авіаційного лідара

Оброблення даних DHP проводилося програмним продуктом Gap Light Analyzer (GLA). За його допомогою кожне зображення DHP (рис. 3А) розділялося на три псевдоканали, що спільно утворюють RGB-представлення (червоний, зелений та синій), з яких далі відбирався канал з найбільшою інформативністю. У якості такого був відібраний синій канал, оскільки він, як показано в [26, 27], забезпечує найбільш чітке розмежування між рослинністю, небом і змішаними пікселями, тому як фотозинтезуючі фітоелементи (листя, голки) мають набагато менший коефіцієнт відбиття і пропускання в синій області оптичного спектру. У бінарному вигляді це зображення представлено на рис. 3Б. Використовуючи це зображення, програма GLA дозволила автоматично виділити прогалини, оцінити їх площі, провести інші необхідні обчислення і на виході видати оцінку LAI.

Обчислення LAI проводилися програмою GLA у двох варіантах: 1) аналізується розподіл випромінювання в межах просторового кута  $\pm 60^\circ$ ; 2) аналізується розподіл випромінювання в межах просторового кута  $\pm 75^\circ$ . Результат, що отримується у першому варіанті, позначається в програмі GLA як LAI4, другий результат – як LAI5 [28].

У нашому дослідженні оцінка величини індексу за даними лідару обчислювалась як середнє цих двох результатів:

$$LAI_{DHP} = \frac{LAI_4 + LAI_5}{2}.$$

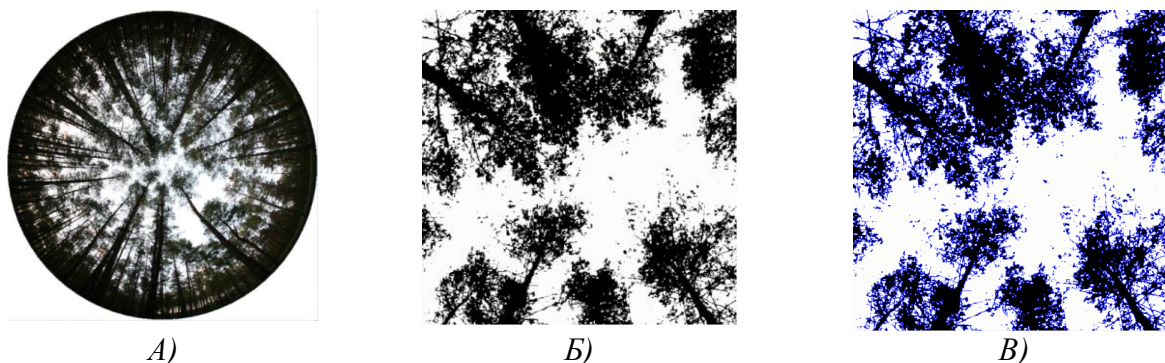


Рис. 3: А) Фотографія DHP; Б) Бінарне зображення у синьому діапазоні;  
В) Результат оброблення бінарного зображення програмою GLA  
(чорний колір – рослинність, білий – небо, синій – суміжні пікселі)

Процес оброблення лідарних даних реалізований за допомогою спеціалізованого програмного забезпечення TerraScan фінської компанії Terrasolid. Процес починається з визначення та фільтрації точок, що належать до ґрунту (Gr). При вирішенні цієї задачі виявилось, що в простих ситуаціях програма TerraScan здатна це робити в автоматичному режимі, але у разі складної морфології потрібно було втручання в програму TerraScan та налаштування певних параметрів.

Точки, що залишилися, діляться на два класи в залежності від висоти розташування: що розташовані вище ґрунту до висоти 1,3 м включно (Other) та ті, що розташовані вище вказаної висоти (Veg).

Наступним етапом оброблення двох виділених шарів лідарних даних було визначення математичних змінних (регресорів) для побудови рівняння множинної регресії [29]. Для цього на територію дослідження спочатку було побудовано сітку (grid) з кроком 1 x 1 м. Проте виявилось, що у багатьох випадках кількість лазерних точок в чарунці такого розміру була менше 10, що впливало на точність значень отриманих змінних; тому було вирішено збільшити розмір кроку сітки до 3 м. Після об'єднання (join) сітки та лідарних даних для кожної чарунки було визначено такі метричні і статистичні параметри: щільність та кількість відбиття імпульсів випромінювання; середнє значення висоти (mean); мінімальне значення висоти (min); максимальне значення висоти (max); стандартне відхилення (stdv); коефіцієнт варіації (cv); процентилі висоти (5, 10, 25, 50, 75, 90, 95).

При побудові регресійної залежності кожний з цих параметрів може розглядатися як регресор. Крім того, у якості регресора може виступати індекс проникнення лазерного випромінювання (Laser Penetration Index – LPI), який визначається як [30]:

$$LPI_{ij} = \frac{Gr_{ij}}{Gr_{ij} + Veg_{ij}},$$

де  $Gr_{ij}$  – щільність точок ґрунту;  $Veg_{ij}$  – щільність точок рослинності.

Оскільки необхідні дані про щільність точок ґрунту та рослинності можуть бути отримані з результатів проведеної нами раніше класифікації масивів точок, то індекс LPI також може застосовуватися як змінна при побудові формули регресії.

На рис. 4 показано розподіл цього індексу на територію дослідження; тут значеннями LPI, близькими до 0, відображені ділянки з густою рослинністю, зі зростанням значень LPI збільшується рівень відкритості місцевості.



Рис. 4 – Розподіл індексу LPI на території дослідження

Будемо шукати оцінку LAI, що отримується за допомогою даних авіаційної лідарної зйомки, через модель множинної регресії [30], а саме у вигляді:

$$y_i = b_0 + b_1x_{i1} + b_2x_{i2} + \dots + b_px_{ip}; \quad (i = 1, 2, \dots, n).$$

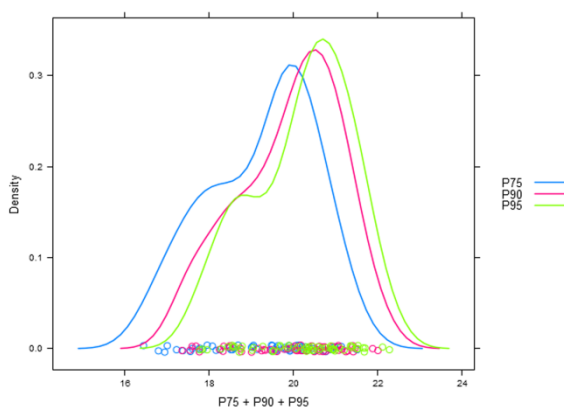
Тут через  $y_i$  позначено відповідну оцінку величини індексу листкової поверхні за даними лідарної зйомки, тобто  $LAI_{LIDAR}$ ;  $x_1, x_2, \dots, x_p$  – незалежні змінні (регресори);  $b_0, b_1, \dots, b_p$  – коефіцієнти регресії;  $p$  – кількість регресорів;  $n$  – кількість вимірювань;  $n \gg p$ .

Для побудови шуканого рівняння множинної регресії необхідно вирішити дві задачі: 1) відібрати найбільш інформативну сукупність регресорів з числа всіх можливих; 2) визначити коефіцієнти регресії.

Основні труднощі викликає перша задача, для її вирішення було застосовано метод послідовного виключення [29]. Розрахунки коефіцієнтів регресії проводилися із застосуванням методу найменших квадратів.

Суть методу послідовного виключення полягає в тому, що спочатку в модель множинної регресії включаються всі можливі регресори (їх кількість  $p$  береться максимальною). Далі за допомогою певного критерію (у нашому дослідженні був використаний F-критерій) оцінюється внесок кожного регресора в підвищення точності. Якщо найменше значення критерію менше за обране попередньо деяке критичне значення, то відповідна змінна виключається з моделі (величина  $p$  зменшується на одиницю). Модель перераховується, і знову обчислюються значення частинного F-критерію з порівнянням з критичним значенням і т. д. Процедура формування інформативної сукупності регресорів закінчується тоді, коли отримане найменше значення критерію буде більшим за критичне.

Зазначимо, що аналіз всіх змінних і вибір найбільш інформативних регресорів за описаними вище правилами був проведений з використанням програмного забезпечення JMP SAS software.



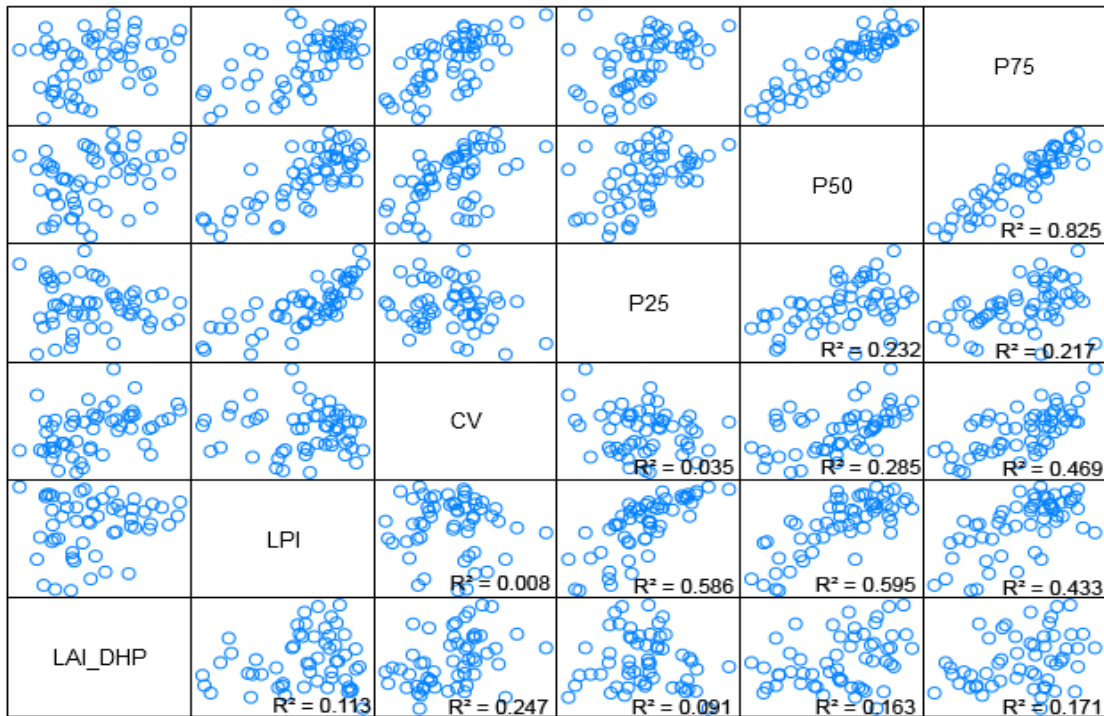
*Рис. 5 – Графік щільності значень процентилей*

Після проведеного аналізу найбільш інформативними для побудови рівняння множинної регресії виявилися: CV (тобто  $stdev/min$ ), LPI та процентилі P25, P50, P75, P90, P95. Проте, проаналізувавши останні три процентилі P75, P90, P95 (рис. 5), виявилось, що їх значення практично дублюють один одного. Тому було вирішено до рівняння множинної регресії включати тільки один з них – P75, як верхній квартиль.

На рис. 6 у формі блочної матриці зображено зв'язок діаграм розсіювання обраних регресорів та коефіцієнта детермінації. Інші регресори не показали прийнятної кореляції з  $LAI_{DHR}$ .

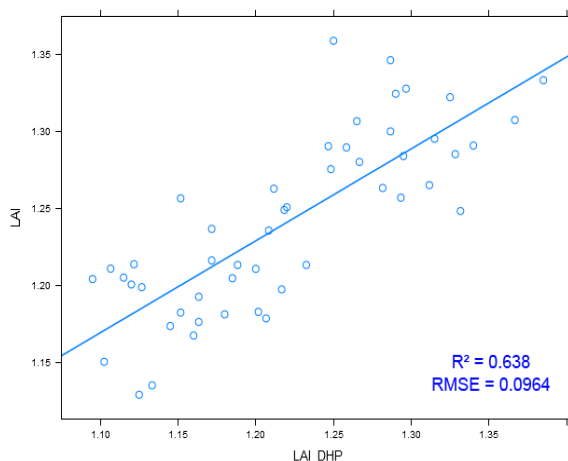
Далі були розраховані, з використанням методу найменших квадратів, коефіцієнти при відібраних регресорах, і, в результаті, рівняння множинної регресії отримало вигляд:

$$LAI_{LIDAR} = -1.14 + 3.31 \cdot LPI + 0.38 \cdot CV - 0.00766 \cdot P25 - 0.02 \cdot P50 - 0.14 \cdot P75.$$



*Рис. 6 – Матриця індивідуальної кореляції*

Для оцінки точності було підраховано коефіцієнт детермінації ( $R^2 = 0,638$ ) та середньоквадратичне відхилення коефіцієнта регресії від його істинного значення ( $RMSE = 0,0964$ ). Загалом рис. 7 підтверджує наявність тісного кореляційного зв'язку між отриманими LAI з даних лідара та даних фотографування неба через навис.



*Рис. 7 – Лінійна регресія*

На рис. 8 зображено результат оцінки LAI на територію дослідження з використанням одержаної регресійної моделі на момент проведення лідарної зйомки. Якщо, скажімо, відомі лідарні дані на різні періоди часу, то порівняння різночасових величин LAI надає можливість оцінювати зміни у стані рослинності і розробляти відповідні рекомендації.

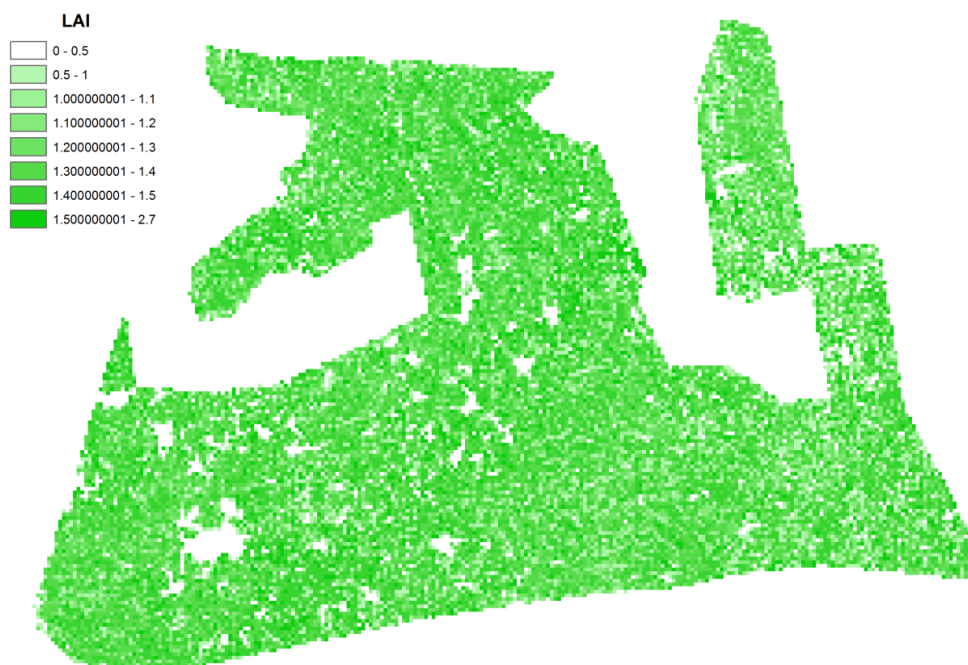


Рис. 8 – Розподіл оцінок LAI на територію дослідження

## 5. Висновки

У роботі проведено стислий огляд існуючих методів оцінювання індексу листкової поверхні LAI і відзначено, що більшість методів виявляються малоефективними, якщо потрібно мати оцінки активності процесів фотосинтезу рослинності на великих площах. У подібних випадках приходять на допомогу дистанційні методи, й один з таких методів оцінювання індексу листкової поверхні розглянутий в роботі. Запропонована методика дистанційного оцінювання індексу LAI, в основі якої – регресійна модель зв'язку між значеннями індексу LAI і даними авіаційної лідарної зйомки.

Наведено результати випробування запропонованої методики, які підтверджують її працездатність та перспективність для оцінювання LAI рослинності на великих площах.

Актуальними питаннями для подальших досліджень є збільшення точності дистанційних оцінок LAI за лідарними даними, забезпечення інваріантності оцінок до просторового масштабу зйомки, а також вивчення можливостей дистанційного визначення інших показників активності процесу фотосинтезу рослинності на основі лідарних даних.

Дослідження було підтримано Фондом фундаментальних досліджень України в рамках наукового проекту № Ф54.2/019 “Оцінювання характеристик рослинних об'єктів на основі комплексування даних спектрополяризаційних вимірювань і матеріалів аерокосмічних зйомок”.

Автори також висловлюють вдячність Анджею Венглю та Павлу Стшелінському за надання даних лідарної зйомки та інших матеріалів, що були отримані в рамках наукового проекту NN 309 014638 “Застосування моделі FORKOME до прогнозування алокації і акумуляції біомаси в деревостанах сосни звичайної (*Pinus sylvestris* L.)” за підтримки Міністерства науки і вищої освіти Польщі.



**Список використаної літератури**

1. Watson D.J. Comparative physiological studies in the growth of field crops. Variation in net assimilation rate and leaf areas between species and varieties, and within and between years / D.J. Watson // *Annals of Botany*, 1947, 11, pp. 41–76.
2. Lakida P. Estimation of Forest Phytomass for Selected Countries of the Former European USSR / P. Lakida, S. Nilsson, A. Shvidenko // WP-95-79. – Laxenburg, Austria: IIASA, 1995. – 33 p.
3. Chen J.M. Defining leaf area index for non-flat leaves / J.M. Chen, T.A. Black // *Plant, Cell & Environment*, 1992. 15 (4), pp. 421–429.
4. Chen J.M. Leaf area index of boreal forests: theory, techniques, and measurements / J.M. Chen, P.M. Rich, S.T. Gower, J.M. Norman, S. Plummer // *Journal of Geophysical Research*, 1997. Vol. 102, No. D24, pp. 29,429–29,443.
5. Breda N.J.J. Ground-based measurements of leaf area index: a review of methods, instruments and current controversies / N.J.J. Breda // *Journal of Experimental Botany*, 2003. Vol. 54, No. 392, pp. 2403–2417; doi: 10.1093/jxb/erg263.
6. Jonckheere I. Review of methods for in-situ leaf area index determination. Part 1. Theories, sensors and hemispherical photography / I. Jonckheere, S. Fleck, K. Nackaerts, B. Muys, P. Copin, M. Weiss, F. Baret // *Agricultural and Forest Meteorology*, 2004. 121, pp. 19–35.
7. Hutchison B.A. The architecture of a deciduous forest canopy in eastern Tennessee, U.S.A. / B.A. Hutchison, D.R. Matt, R.T. McMillen, L.J. Gross, S.J. Tajchman, J.M. Norman // *Journal of Ecology*, 1986, Vol. 74, pp. 635–646.
8. Garrigues S. Validation and intercomparison of global Leaf Area Index products derived from remote sensing data / S. Garrigues, R.Lacaze, F. Baret, J.T. Morisette, M. Weiss, J.E. Nickeson, R. Fernandes, S. Plummer, N.V. Shabanov, R.B. Myneni, Y. Knyazikhin, W. Yang // *Journal of Geophysical Research*, 2008, Vol. 113, G02028; doi:10.1029/2007JG000635.
9. Попов М.О. Оцінювання характеристик зелених насаджень з використанням засобів дистанційного зондування Землі / М.О. Попов, І.Д. Семко // Зб. наукових праць “Екологічна безпека та природокористування”. – К.: КНУБА, 2012. Вип. 12. С. 51–62.
10. LAI-2000 plant canopy analyzer: operating manual // LI-COR Inc., Nebraska, U.S.A. 1990. [www.licor.co.za/manuals/LAI-2200\\_Manual.pdf](http://www.licor.co.za/manuals/LAI-2200_Manual.pdf)
11. Zheng G. Retrieving Leaf Area Index (LAI) Using Remote Sensing: Theories, Methods and Sensors / G. Zheng, L.M. Moskal // *Sensors*, 2009, 9, pp. 2719–2745; doi:10.3390/s90402719
12. Багатоспектральні методи ДЗЗ в задачах природокористування / За ред. В.І. Лялька і М.О. Попова. – К.: Наук. думка, 2006. – 360 с.
13. Myneni R.B. The Interpretation of Spectral Vegetation Indexes / R.B. Myneni, F.G. Hall, P.J. Sellers, A.L. Marshak // *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 1995, Vol. 33, No. 2, pp. 481–486.
14. Turner D.P. Relationships between leaf area index and Landsat TM spectral vegetation indices across three temperate zone sites / D.P. Turner, W.B. Cohen, R.E. Kennedy, K.S. Fassnacht, J.M. Briggs // *Remote Sensing of Environment*, 1999, Vol. 70, pp. 52–68.

15. Stenberg P. Reduced simple ratio better than NDVI for estimating LAI in Finnish pine and spruce stands / P. Stenberg, M. Rautiainen, T. Manninen, P. Voipio, H. Smolander // *Silva Fennica*, 2004. 38 (1). pp. 3–14.
16. Ganguly S. Generating global Leaf Area Index from Landsat: Algorithm formulation and demonstration / S. Ganguly, R.R. Nemani, G. Zhang, H. Hashimoto, C. Milesi, A. Michaelis, W. Wang, P. Votava, A. Samanta, F. Melton, J.L. Dungan, E. Vermote, F. Gao, Y. Knyazikhin, R.B. Myneni // *Remote Sensing of Environment*, 2012, Vol. 22, pp. 185–202; doi:10.1016/j.rse.2011.10.032
17. Huete A. MODIS VEGETATION INDEX (MOD13). Algorithm theoretical basis document / A. Huete, C. Justice, W. van Leeuwen // NASA, MODIS-WEB. Version 3, 1999; [http://modis.gsfc.nasa.gov/data/atbd/atbd\\_mod13.pdf](http://modis.gsfc.nasa.gov/data/atbd/atbd_mod13.pdf)
18. Fernandes R. Evaluating image-based estimates of leaf area index in boreal conifer stands over a range of scales using high-resolution CASI imagery / R. Fernandes, J.R. Miller, J.M. Chen, I.G. Rubinstein // *Remote Sensing of Environment*, 2004, Vol. 89, pp. 200–216.
19. Schlerf M. Derivation of Forest Leaf Area Index From Multi- and Hyperspectral Remote Sensing Data / M. Schlerf, C. Atzberger, M. Vohland, H. Buddenbaum, S. Seeling, J. Hill // *EARSeL eProceedings* 3, 3/2004, pp. 405–413.
20. Leblanc S.G. Methodology comparison for canopy structure parameters extraction from digital hemispherical photography in boreal forests / S.G. Leblanc, J.M. Chen, R. Fernandes, D.W. Deering, A. Conley // *Agricultural and Forest Meteorology*, 2005. Vol. 129, pp. 187–207.
21. Медведев Е.М. Лазерная локация земли и леса. 2 изд. / Е.М. Медведев, И.М. Данилин, С.Р. Мельников // Красноярск: Геокосмос; Ин-т леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, 2007. – 229 с.
22. Measures R.M. Laser Remote Sensing: Fundamentals and Applications. / R.M. Measures // – Malabar, Florida: Krieger Publ. Company, 1992. – 510 p.
23. Zhao K. Lidar-based mapping of leaf area index and its use for validating GLOBCARBON satellite LAI product in a temperate forest of the southern USA / K. Zhao, S. Popescu // *Remote Sensing of Environment*, 2009. Vol. 113, pp. 1628–1645.
24. Morsdorf F. Estimation of LAI and fractional cover from small footprint airborne laser scanning data based on gap fraction / F. Morsdorf, B. Kötz, E. Meier, K. Itten, B. Allgöwer // *Remote Sensing of Environment*, 2006. Vol. 104, pp. 50–61.
25. Chianucci F. Digital hemispherical photography for estimating forest canopy properties: current controversies and opportunities / F. Chianucci, A. Cutini // *iForest –Biogeosciences and Forestry*, 2012. Vol. 5, pp. 290–295.
26. Jonckheere I. Assessment of automatic gap fraction estimation of forests from digital hemispherical photography / I. Jonckheere, K. Nackaerts, B. Muys, P. Coppin // *Agricultural and Forest Meteorology*, 2005. Vol. 132, pp. 96–114.
27. Leblanc S. Methodology comparison for canopy structure parameters extraction from digital hemispherical photography in boreal forests / S. Leblanc, J. Chen, R. Fernandes, D. Deering, A. Conley // *Agricultural and Forest Meteorology*, 2005. Vol. 129, pp. 187–207.

28. Frazer G.W. Gap Light Analyzer (GLA): Imaging software to extract canopy structure and gap light transmission indices from true-colour fisheye photographs / G.W. Frazer // Simon Fraser University, Burnaby, British Columbia, CANADA; Institute of Ecosystem Studies, Millbrook, N.Y., USA, 1999, pp. 20–21.

29. Seber G.A.F. Linear Regression Analysis. 2 ed. / G.A.F. Seber, A.J. Lee // N.Y.: Wiley & Sons, 2003. – 582 p.

30. Barilotti A. La tecnologia LiDAR per lo studio della biomassa negli ecosistemi forestali / A. Barilotti, S. Turco, R. Napolitano, E. Bressan // 15<sup>th</sup> Meeting of the Italian Society of Ecology, Torino, Italy, 2005.

*Стаття надійшла до редакції 24.01.14 українською мовою*

**© М.А. Попов, И.Д. Семко, И. Козак**

**ОЦЕНКА ИНДЕКСА ЛИСТОВОЙ ПОВЕРХНОСТИ  
ПО ДАННЫМ АВИАЦИОННОЙ ЛАЗЕРНОЙ СЪЕМКИ**

*Проведен краткий обзор существующих методов оценки индекса листовой поверхности LAI. Отмечено, что большинство методов оказываются малоэффективными на больших площадях растительности. Для подобных случаев предложена методика дистанционного оценивания индекса листовой поверхности, в основе которой – регрессионная модель связи между значениями индекса LAI и данными авиационной лидарной съемки. Построено уравнение множественной регрессии. Приведены результаты испытания предложенной методики, подтверждающие ее достаточно высокую точность и перспективность.*

**© M.O. Popov, I.D. Semko, I. Kozak**

**ASSESSING OF LEAF AREA INDEX USING LIDAR DATA**

*The brief review of methods for assessing of leaf area index (LAI) is presented. It is stated that most of known methods are underefficiency if we have matter with vegetation on acred area. For similar cases a method for LAI remote assessing is proposed. The method is based on regression model which couples LAI values and LiDAR data. Multiple regression equation is constructed. Proposed method was validated; the results of experimental investigation confirm its correctness and perspectiveness.*

УДК 330.347

© С.К. Полумієнко, д-р фіз.-мат. наук, старш. наук. співробітник;

Л.О. Рибаків, д-р техн. наук, старш. наук. співробітник

Інститут телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України, м. Київ

## **ЩОДО ОЦІНКИ СТАЛОСТІ ТЕХНОЛОГІЧНОГО РОЗВИТКУ**

*Визначаються основи «технологічного» підходу до проблеми сталого розвитку. Пропонуються методи побудови індикативних оцінок сталості технологічного розвитку та відповідні індекси та індикатори.*

**Ключові слова:** сталий розвиток, індикатори сталого розвитку, технологічний розвиток, базові індикатори.

### **Основні визначення та підходи до оцінювання**

Розвиток індустріального й, далі, інформаційного суспільства та подальший перехід до інтенсивних форм господарювання, спрямований на підвищення продовольчого, матеріального забезпечення та добробуту багаторазово зрослого населення Землі, призвели до прискореного використання природних ресурсів, зниження якості середовища існування людини, включаючи й загрози її подальшого існування. Ця глобальна проблема, включаючи її різнобічні структурні та регіональні фактори, була проголошена Конференцією ООН по навколишньому середовищу та розвитку в «Порядку денному XXI століття» як проблема сталого розвитку [1].

Зараз найбільш загальноприйнятим є наступне його визначення. Сталий розвиток (*sustainable development*) [2] розглядається як процес змін, у якому експлуатація природних ресурсів, напрямки інвестицій, орієнтація науково-технічного розвитку, розвиток особистості та інституціональних змін погоджені один з одним та зміцнюють нинішній та майбутній потенціал для задоволення людських потреб і устремлінь. В цілому таке визначення узгоджується з іншими, наприклад, з формулюванням Всесвітнього банку: «сталий розвиток – це управління сукупними активами (фізичний, природний та людський капітал) суспільства в інтересах збереження та збільшення людських можливостей [2, 3]».

Починаючи з 1992 р., напрацьовано безліч методів знаходження шляхів сталого розвитку [4, 5]. Проте, в 2013 р. Департамент зі сталого розвитку ООН (ДСР) випустив «Прототип звіту» зі сталого розвитку в світі [6], де відмічається, що незважаючи на участь в дослідженнях більше, ніж 37000 авторів, що опублікували близько 150000 робіт, немає значних зрушень в досягненні сталого розвитку, сам ДСР за 20 років так і не розробив звичного регулярного звіту зі стану проблеми. Одним із вказаних недоліків створених методів є секторальний

підхід, спрямування досліджень чи стратегій тільки на певну галузь, що звужує та, певним чином, змінює головну проблему досягнення сукупної збалансованості розвитку трійки «населення – виробництво – природа», яка декларується практично в усіх прийнятих міжнародних та національних документах щодо сталого розвитку [4, 5–13].

В [14] така концепція сталого розвитку з посиланнями на робочу групу ЄС доповнюється необхідністю аналізу впливу технологій інформаційного суспільства на сталий розвиток. Для вирішення проблеми сталості пропонуються два принципи. Перший пов'язаний з поняттям дематеріалізації, що має на увазі як підвищення ефективності використання матеріалів та енергії, так і зміну стилю поведінки людей. Ключем до такого процесу можуть служити інформаційні технології (ІТ), вбудовані в суспільний устрій. Другий принцип – необхідність справедливої системи розподілу благ. Іншими словами, необхідно створити нові соціальні стандарти подальшого справедливого розвитку.

Для цього можуть обиратися різні засоби та підходи – формування кінцевих цілей, включаючи їх наукове обґрунтування; універсальні підходи до вирішення різних проблем; плани дій та їх виконання, звісно їх поєднання, поширення та узагальнення та ін. У будь-якому разі ці засоби ґрунтуються на тих або інших параметрах – індикаторах, які характеризують різнобічні властивості системи «населення – виробництво – природа».

Національні системи індикаторів сталого розвитку, зокрема, створені в Російській Федерації [5], Німеччині [13], Білорусі [15], Ірландії [16], Великобританії, Франції, Канади, США [17]. Загальна характеристика підходів до створення систем індикаторів сталого розвитку наведена в наступній таблиці.

*Таблиця 1 – Підходи до визначення індикаторів сталого розвитку*

Підходи	Методичні особливості
Збалансованість впливів	Індикатори сталості відображають ступінь збалансованості рівнів господарського розвитку та існуючого природного потенціалу.
Біотична регуляція та стабілізація середовища	Індикатори характеризують стан природних екосистем і біорізноманіття з точки зору можливості забезпечення повноцінного регулювання навколишнього середовища для збереження його стабільності та відновлення.
Регіональна пріоритетність	Індикатори сталості класифікуються за рівнями пріоритетності відносно регіональної специфіки на ключові (основні), додаткові та специфічні.
Ступінь реагування	Індикатори характеризують рівень впливу (тиску) на навколишнє середовище та його стан та рівень адекватності реагування на це зі сторони суспільства.
Проблемна спрямованість	Індикатори характеризують найважливіші проблеми, пов'язані з охороною навколишнього середовища та раціональним природокористуванням на глобальному, національному та регіональному рівнях.
Порівняння оцінок	Інтегральні індикатори (індекси) забезпечують можливість порівняння та зіставлення окремих підприємств, регіонів і країн для ефективного управління з метою забезпечення сталого розвитку.

Визначення індикаторів залежить від вихідної задачі, її складових та шляхів вирішення. Найбільш повним представленням проблеми є трьохфакторні моделі сталого розвитку, що ґрунтуються на економічній, соціальній та екологічній складових, або чотирьохфакторні, які включають й інституціональну складову [4, 6, 11]. Іноді застосовується п'ятифакторна модель, яка включає також інноваційно-технологічну складову. Ці складові в залежності від постановки проблеми відображають набір функцій соціалізації, державного регулювання, суспільної відповідальності, екологічної безпеки, інформатизації, власності, корпоративності, ринкового регулювання, розподілу ресурсів, інтелектуалізації, транснаціоналізації, сумісне виконання яких забезпечує сталий розвиток країни [12, 18–19]. Зазначені фактори характеризуються через виробничі, ресурсні, фінансові, інституціональні, організаційні, культурні, політичні, психологічні параметри тощо [4].

На сьогодні кожна з країн, яка має та реалізує стратегію сталого розвитку, використовує свій набір відповідних індикаторів, загалом, зменшуючи їх кількість. Наприклад, ДСР істотно скоротив початковий перелік із 134 індикаторів [20], США у своїй стратегії сталого розвитку використовують 56 індикаторів, сім базових індикаторів були виділені у Великобританії [17, 21]. В Україні ж система індикаторів тільки відпрацьовується [9, 22]. Прийняттю постанову щодо сталого розвитку населених пунктів [23] не можна вважати повноцінним документом відповідного рівня,

Аналіз підходів до індикативного аналізу сталості розвитку показав, що при ньому, насамперед, домінує екологічна складова, відсуваючи на другий план проблему збалансованості спільного розвитку всіх складових цього процесу. З іншого боку, зведення дослідження процесу досягнення сталості тільки до проблеми збереження природи обґрунтовується її зрозумілістю та певною простотою в порівнянні зі складною для аналізу трьохфакторною моделлю. Але перетворення її на однофакторну зводить до ігнорування потреб суспільства, зокрема, в робочих місцях. Тільки збереження та зміцнення природного потенціалу не є достатнім для задоволення всіх потреб людини. Виходом із цього протиріччя можуть бути двофакторні моделі, що дозволяють проводити співставлення рівня навантаження на природу з певним агрегованим показником соціально-економічного розвитку.

Раніше таким показником міг бути рівень економічного розвитку. На сьогодні, коли ситуація вимагає аналізу більш широкої проблеми та відсутня повноцінна економічна модель, що дозволяє виявляти довгострокові тенденції розвитку системи «виробництво – населення – природа» [24], в якості фактору, що інтегрує рівень соціально-економічного розвитку держави та визначає її ефективність, можна визначити рівень технологічного розвитку. Вплив технологічного розвитку на трансформацію суспільства особливо помітний зараз, коли суспільство стало інформаційним. Саме фактор технологічного розвитку у двофакторній моделі сталого розвитку й може служити основою для моніторингу та відпрацювання відповідних стратегій.

Завдяки технологічному розвитку держава, існуючи в динамічному оточенні, може тривалий час зберігати свою життєдіяльність. Сталість внутрішньої впорядкованості та розвитку країни зберігається доти, доки лабільність функцій дозволяє державі продуктивно

діяти в деякому відносно стабільному оточенні. Але як тільки функціональні корекції перестають давати бажаний результат, держава має реформуватися, змінюючи не тільки склад та кількість відповідних структурних елементів, але й відносини між ними. Це веде до ускладнення або спрощення управлінських структур та появи нових технологій. Які це будуть технології, залежить від того, наскільки рівень технологічного розвитку відповідає рівню пригніченості середовища, в якому держава перебуває. Тобто, переходимо до задачі співставлення рівня технологічного розвитку з рівнем пригнічення навколишнього середовища з метою знаходження такого співвідношення між ними, що забезпечувало б сталий розвиток.

Один з підходів до цього пропонується самими факторами технологічного розвитку. Сьогодні сучасні технології мають одну характерну рису – в усіх використовуються різноманітні інформаційні технології, які присутні або в їх створенні, або в безпосередньому застосуванні, а головне, істотно впливають на ефективність різних за функціональним призначенням виробничих, управлінських та інших технологій. Спостерігається стійка тенденція «зчеплення» будь-якого технологічного нововведення з ІТ, які, певним чином, й визначають його успіх [14, 25].

Крім ІТ, загальний рівень технологічного розвитку країни залежить від забезпеченості енергоресурсами, що істотно впливає на економіку та знаходиться під прямим впливом технологічного розвитку країни. У порівнянні з основними споживачами енергії в світі – США, Японією, Західною Європою, – в Україні є суттєва диспропорція у виробництві та споживанні енергії. Країна споживає більше 2% енергоресурсів планети, маючи чисельність населення менше 1%, рівень енергоспоживання в промисловості вдвічі більше, ніж у США та Німеччині, а в сільському господарстві – вдвічі нижче, ніж у США [26]. Однак це не є підґрунтям для зростання добробуту населення через високу енергоємність виробництва, пов'язану з технологічною відсталістю української економіки.

Таким чином, рівень технологічного розвитку енергетичних галузей та споживання енергії разом з рівнем використання ІТ безпосередньо впливають як на забезпечення енергоресурсами, так і на кількість і якість вироблених матеріальних благ для населення, на якість державного управління та ін. Зважаючи на це, агреговану сукупність цих двох факторів можна розглядати як інтегральний індекс, що відображає рівень технологічного розвитку окремих галузей і країни в цілому, та розглядати його співвідношення з рівнем пригнічення навколишнього середовища, що дасть оцінки розвитку всіх технологій, взаємин між владою, ринком, людиною та технологіями, і, в результаті, оцінки рівня технологічного розвитку та сталості життєдіяльності суспільства [27, 28].

Рівень технологічного розвитку та рівень пригнічення навколишнього середовища знаходяться у взаємозалежності, крім того, їх залежність від багатьох різноманітних факторів у сполученні з непередбачуваністю значень не дозволяє провести їх оцінку та необхідне узагальнення на формальному рівні без попередньої структуризації їх складу та знаходження кількісних характеристик. Це вимагає знайти наступні оцінки :

- технологічного розвитку;
- техногенного пригнічення навколишнього середовища;

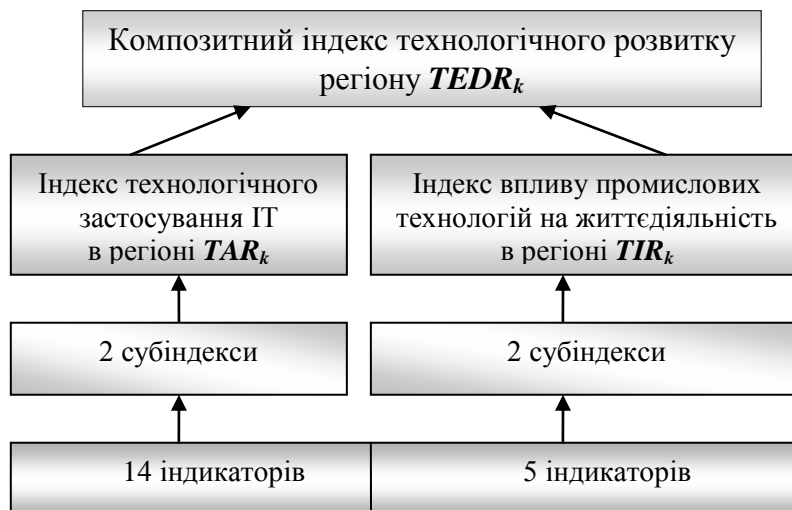
- сталості досягнутого рівня розвитку країни через співставлення рівня технологічного розвитку з рівнем пригнічення навколишнього середовища.

**Оцінка рівня технологічного розвитку**

Всю сукупність технологій за їх функціональною спрямованістю можна розділити на: універсальні, до яких, зокрема, відносяться інформаційні технології, та галузеві або спеціалізовані технології. Для поступального та гармонічного розвитку суспільства необхідно, щоб розвиток універсальних технологій випереджав розвиток галузевих, а їх проникнення в останні було б швидким і повним. При цьому результати застосування нових технологій важко піддаються кількісній оцінці, тут однією з проблем є необхідність інтеграції різноманітних функціональних галузей, де реалізуються нововведення.

Частково проблема оцінки технологічного рівня розвитку може бути вирішена шляхом визначення поширення ІТ по функціональних галузях інформаційно-технологічної інфраструктури [29]. Саме цей підхід й використовується надалі, насамперед, у формуванні індексу технологічного розвитку.

Оцінка виконується на основі індексу технологічного розвитку *TEDR*, який розраховується по регіонах країни *k* та будується за ієрархічною схемою, представленою на мал. 1, за загальним підходом до формування композитних індексів (див., зокрема, [7, 27, 29]), який застосовувався авторами і в Національній системі індикаторів розвитку інформаційного суспільства [30].



Мал. 1 – Структура індексу *TEDR\_k*.

Індекс технологічного розвитку регіону *TEDR* (TEchnological Development of the Region) ґрунтується на наборі базових індикаторів, наведених в наступній таблиці. Їх вибір виконано у відповідності з методичними рекомендаціями ДСР [12, 20, 21, 31] та з основними системними принципами прогнозування технологічного розвитку [32]: врахування світового технологічного імперативу; цільова спрямованість; порівнянність оцінок; вимірність результатів; системність оцінок; адресність результатів; сприйнятність оцінок, а саме:



### ***Розділ 3. Інформаційні ресурси та системи***

- індикатор повинен відігравати значиму роль у відстеженні процесу або об'єкта, що досліджується, стимулюючи до реакції на реалії, що ним відображаються;
- індикатор повинен мати достатній ступінь чутливості до рівня та спрямованості змін для оцінки причин їх виникнення;
- індикатор повинен бути інформативним, доступним та наочним;
- інформаційною основою для розрахунку індикаторів сталого розвитку повинна виступати: наявна державна статистична інформація, офіційна відомча інформація від консультантів, аналітиків і експертів, що об'єктивно відображає реальну ситуацію;
- склад індикаторів повинен бути обґрунтованим і відповідати міжнародним підходам, вимогам і стандартам.

**Таблиця 2 – Перелік базових індикаторів для обчислення індексу *TEDR***

№	Назва індикатора	Індекси	
		<i>TAR</i>	<i>TIR</i>
1	Частка Інтернет-користувачів	+	
2	Частка Інтернет-користувачів широкосмугового доступу	+	
3	Частка користувачів мобільного Інтернету	+	
4	Частка домогосподарств, що мають комп'ютери	+	
5	Рівень концентрації населення в зоні покриття рухомого (мобільного) зв'язку	+	
6	Рівень розвитку рухомого (мобільного) зв'язку	+	
7	Потенційний попит на товари, роботи та послуги у сфері інформаційних технологій	+	
8	Частка науково-дослідних організацій в ІТ-сфері	+	
9	Рівень регіональної підтримки діяльності суб'єктів підприємницької діяльності у сфері інформаційних технологій	+	
10	Рівень інноваційної активності	+	
11	Сфера використання інформаційних технологій підприємствами, конструкторськими та проектними організаціями	+	
12	Рівень використання сучасних ІТ на виробництві	+	
13	Рівень використання науковцями сучасних інформаційних технологій.	+	
14	Рівень розвитку електронного урядування	+	
15	Рівень впливу паливно-енергетичного комплексу на життєдіяльність регіону		+
16	Рівень енергозабезпечення енергоємних підприємств (переробна промисловість)		+
17	Рівень використання новітніх технологій на виробництві		+
18	Рівень регіонального планування, моніторингу та контролю за процесами технологічного розвитку (через використання ІТ)		+
19	Рівень створення передових промислових технологій		+

На основі цих індикаторів визначаються агрегати, які характеризують різні складові технологічного розвитку. Складові ступеня розвитку інформаційно-телекомунікаційної інфраструктури (ІТІС) характеризують наступні агрегати, що визначаються як відповідні середні арифметичні значення:

## **Екологічна безпека та природокористування**

- по індикаторах 1–6 (*табл. 2*) утворюється агрегат  $W$  рівня телекомунікацій та апаратно-програмних засобів;
- по індикаторах 7–10 (*табл. 2*) – агрегат  $M$  рівня наукового, економічного та інституціонального забезпечення розвитку ІТ.

У результаті розраховується проміжний субіндекс загального розвитку ІТІС  $DL$ :

$$DL = e^{I+W} e^{I+M}.$$

Разом з цим субіндексом розраховується проміжний субіндекс рівня використання ІТІС  $UL$ , що включає розрахунки наступних агрегатів:

- ступінь використання ІТ підприємствами та організаціями, що опосередковано вказує на рівень впливу ІТ на виробничий та науковий потенціал, агрегат  $F$  – середнє арифметичне індикаторів 11 – 13 (*табл. 2*);
- ступінь використання ІТ органами регіонального управління та місцевого самоврядування, визначається умовний агрегат  $P$ , який дорівнює індикатору 14 (*табл. 2*).

Тоді, субіндекс  $UL$  має наступний вигляд –

$$UL = e^{I+F} e^{I+P},$$

а субіндекс технологічного застосування ІТ  $TAR$  індексу  $TEDR$  –

$$TAR = DL + UL.$$

За аналогією з цим субіндексом розраховується субіндекс впливу промислових технологій на життєдіяльність регіону  $TIR$ .

На основі індикаторів розраховуються агрегати, що характеризують:

- технологічний рівень енергопостачальних та енергоємних галузей,  $E$  – середнє арифметичне індикаторів 15–16 (*табл. 2*);
- ступінь розвитку промислових підприємств в регіоні, умовний агрегат  $I$ , дорівнює індикатору 17;
- рівень управління технологічним розвитком та впровадження нових технологій: агрегат  $C$  дорівнює індикатору 18;
- рівень науково-інформаційного забезпечення технологічного розвитку: агрегат  $S$ , дорівнює індикатору 19.

Далі утворюються проміжні субіндекси: рівень технологічного розвитку промисловості  $DI$  та рівень забезпечення технологічного розвитку  $PI$ :

$$DI = e^{I+I} e^{I+E}, PI = e^{I+C} e^{I+S},$$

та їх сума, що й утворює субіндекс  $TIR$  –

$$TIR = DI + PI.$$

Індекс **TEDR** розраховується (див. мал. 1) як середнє арифметичне значень індексу технологічного застосування ІТ **TAR** (Technological Application in the Region) та індексу впливу промислових технологій на життєдіяльність регіону **TIR** (Technological Impact on the Region):

$$TEDR = (TAR + TIR)/2.$$

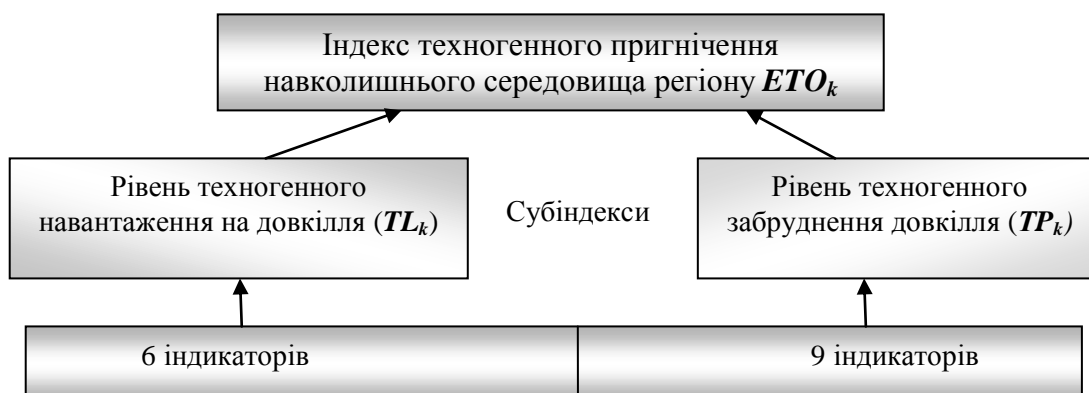
У залежності від значення **TEDR** можна виділити три рівні технологічного розвитку країни: екстенсивний, інтенсивний та синергетичний [27].

### Оцінка рівня техногенного пригнічення навколишнього середовища

Оцінка виконується на основі індексу техногенного пригнічення навколишнього середовища **ETO** з урахуванням рекомендацій ДСР, згідно з якими він має відображати [20]:

- викиди шкідливих речовин, захист атмосфери від забруднення;
- обсяги споживання чистої води, збереження водних ресурсів та прибережних територій від забруднення;
- збереження біологічного різноманіття;
- раціональність використання земельних ресурсів;
- ефективність боротьби з опустелюванням і посухами, збереження лісів;
- розвиненість сільських районів і сталість ведення сільського господарства;
- екологічно безпечне використання біотехнологій;
- обсяги шкідливих відходів та безпеку твердих відходів, стічних вод;
- забруднення середовища токсичними, небезпечними та радіоактивними відходами.

Процедура обчислення індексу **ETO** (див. мал. 2) аналогічна процедурі обчислення індексу **TEDR**, але базується тільки на обчисленні субіндексів рівня техногенного навантаження на довкілля **TL** та рівня техногенного забруднення довкілля **TP**.



Мал. 2 – Структура індексу **ETO<sub>k</sub>**

Для обчислення цього індексу використовується 15 індикаторів, які базуються, перш за все, на офіційних статистичних даних та інформації з екологічних паспортів областей

## **Екологічна безпека та природокористування**

України, розміщених на сайті Міністерства екології та природних ресурсів України, а також на інформації, визначеній за допомогою експертних методів (див. табл. 3).

Таблиця 3 – Перелік базових індикаторів для обчислення індексу *ЕТО*

№	Назва індикатора	Субіндекси	
		<i>TL</i>	<i>TP</i>
1	Рівень індустріалізації	+	
2	Рівень концентрації промислових підприємств	+	
3	Рівень нагромадження твердих побутових відходів	+	
4	Рівень безконтрольності при використанні природних ресурсів	+	
5	Рівень впливу екологічно небезпечних об'єктів	+	
6	Ступінь технологічного зношення очисних споруд	+	
7	Рівень підтоплених земель		+
8	Ступінь деградації земель		+
9	Рівень дефіциту при використанні гідроресурсів		+
10	Рівень нестачі свіжої води на господарсько-питні потреби		+
11	Частка забруднених оборотних вод		+
12	Ступінь порушення гідрологічного та гідрохімічного режиму малих рік		+
13	Рівень забруднення атмосферного повітря		+
14	Передумови для поглиблення техногенного забруднення		+
15	Передумови для втрати біорізноманіття		+

Як і вище, для розрахунку індексу *ЕТО* спочатку обчислюються агрегати:

- ступінь індустріалізації, агрегат *J* – середньоарифметичне значення індикаторів 1–3 (табл. 3);
- ступінь екологічної небезпеки від підприємств, агрегат *H* – індикаторів 4–6 (табл. 3);
- ступінь забруднення земель, агрегат *K* – індикаторів 7–8 (табл. 3);
- ступінь забруднення водойм, агрегат *L* – індикаторів 9–12 (табл. 3);
- ступінь забруднення атмосферного повітря, умовний агрегат *A*, дорівнює індикатору 13 (табл. 3);
- ступінь пригнічення біосфери, агрегат *B* – середньоарифметичне значення індикаторів 14–15 (табл. 3).

На основі цих агрегатів утворюються зазначені вище субіндекси техногенного навантаження на довкілля *TL* та техногенного забруднення довкілля *TP*:

$$TL = e^{I+J} e^{I+H}, TP = e^K e^L e^A e^B,$$

та індекс техногенного пригнічення навколишнього середовища регіону *ЕТО* –

$$ETO = TL + TP.$$

**Оцінка сталості технологічного розвитку країни**

Оцінка виконується за індексом *SUTED* (SUstainable TEchnological Development) шляхом порівняння середньозважених значень регіональних рівнів технологічного розвитку *TD* та екологічного благополуччя *EW* (Environmental Welfare), які оцінюються через індекси *TEDR<sub>k</sub>* та індекс *ETO<sub>k</sub>*

$$TD = \frac{w_1 TEDR_1 + \dots + w_n TEDR_{27}}{w_1 + \dots + w_{27}};$$

$$EO = \frac{w_1 ETO_1 + \dots + w_n ETO_{27}}{w_1 + \dots + w_{27}};$$

де *TD* – середньозважене значення індексів *TEDR<sub>k</sub>*, *EO* – середньозважене значення індексів *ETO<sub>k</sub>* по всіх регіонах України, *k = 1, ..., 27*, *w<sub>k</sub>* – вага *i*-го регіону, яка визначається експертним шляхом та залежить від відношення площі регіону до загальної площі країни, його впливу на життєдіяльність країни та інших факторів (зауважимо, що вага регіону не є результатом простого ділення відповідних площ, їх сума також не дорівнює одиниці, водночас чим більше відсоток площі регіону, тим вище його вага).

На основі *EO* вводиться індекс екологічного благополуччя *EW*:

$$EW = \frac{1}{EO} \cdot 10^3,$$

та індекс технологічного розвитку країни:

$$SUTED = e^{-x^2} \cdot k, \quad x = (TD - EW)^2 \cdot c,$$

*k* та *c* – масштабні коефіцієнти.

Виходячи з формули, значення *SUTED* досягає максимуму, якщо *TD* дорівнює *EW*. У цьому випадку забезпечується сталий технологічний розвиток, країна добре адаптується до внутрішніх і зовнішніх змін, технологічні та екологічні процеси перебувають у стані рівноваги, відхилення від якого не вигідне з обох точок зору.

Інакше кажучи, будь-які дії, спрямовані на підвищення індексу технологічного розвитку *TD*, не можуть проводитися без аналізу впливу на індекс екологічного благополуччя *EW*, також як і протилежні дії, спрямовані на зниження індексу *EW* без урахування впливу на індекс *TD*. Природно, що рівноважна ситуація, коли *TD* дорівнює *EW*, є скоріше теоретичною. В залежності від різниці між значеннями рівнів технологічного розвитку та значення *SUTED*, можна виділити різні ситуаційні зони (див. табл. 4).

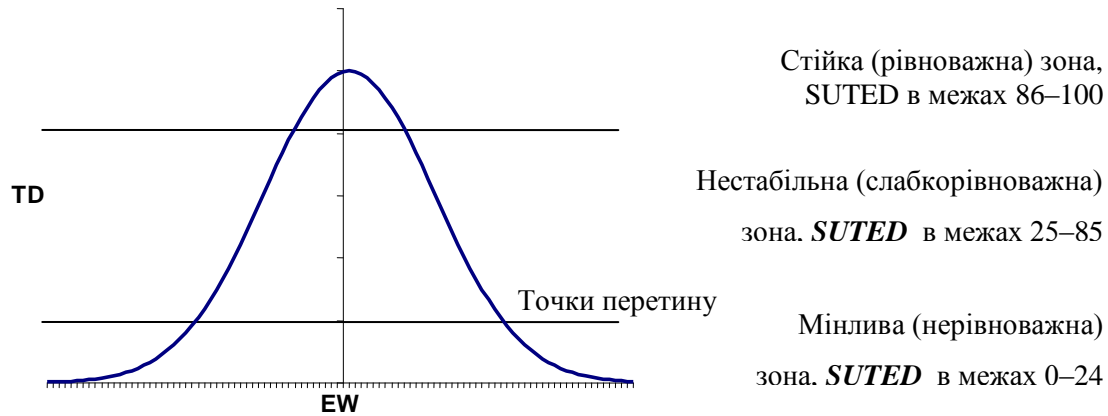
Таблиця 4 – Якісна характеристика рівня технологічного розвитку

Оцінка ситуації для технологічного розвитку	Різниця поміж значеннями <i>TD</i> та <i>EW</i>
Стійка (рівноважна) <i>SUTED</i> знаходиться в межах 86–100 (абсолютне значення)	1–19
Нестабільна (слабкорівноважна) <i>SUTED</i> знаходиться в межах 25–85 (абсолютне значення)	20–34
Мінлива (нерівноважна) <i>SUTED</i> знаходиться в межах 0–24 (абсолютне значення)	35 та більше

Якщо рівень технологічного розвитку та рівень екологічного благополуччя достатньо близькі (різниця значень *TD* та *EW* не більше 19 одиниць), то країна перебуває в сталій (рівноважній) зоні, тобто вона має потенціал для забезпечення сталого технологічного розвитку та здатна модифікувати діючі технології або своє оточення при несприятливих змінах, щоб не допустити зниження ефективності або відновити її. Тобто, завдяки сталому технологічному розвитку країна може тривалий час зберігати свою життєдіяльність.

Якщо різниця між *TD* і *EW* знаходиться у діапазоні 20–34 одиниці, то країна перебуває в нестабільній (слабкорівноважній) ситуації, яка визначається як «межа ефективного розвитку». Перебуваючи в цій області, процеси технологічного розвитку, хоча й відхиляються від рівноваги, але не настільки, щоб під впливом оточення почати деградувати. Вони тільки видозмінюють свою спрямованість та силу впливу на інші процеси життєдіяльності. Однак ресурсний потенціал в змозі забезпечити сталий технологічний розвиток тільки із застосуванням сучасних високоефективних і маловитратних технологій.

Якщо рівні технологічного розвитку та екологічного благополуччя відрізняються настільки суттєво, що значення *SUTED* знаходиться нижче точок перетину (див. мал. 3), то це вказує на те, що країна перебуває в мінливій (нерівноважній) ситуації. Це може виникнути і при  $TD > EW$ , і при  $TD < EW$ . У першому випадку – у державі неефективно використовується природний (ресурсний) потенціал. Тобто технологічний розвиток «рубаче сук, на якому сидить». Така ситуація найбільш характерна для промислово розвинутих країн з обмеженою територією. Технологічний розвиток не враховує потенціалу навколишнього середовища, не адаптується до нього. Він перестає бути фактором прогресу, тому що подальший технологічний розвиток, при надмірному пригніченні навколишнього середовища прискорює знищення ресурсного потенціалу. У цьому випадку від держави потрібні цілеспрямовані зусилля для підвищення значення *EW*. При  $TD < EW$  держава має відносно благополучне природне середовище з низьким технологічним рівнем розвитку. Зараз таке положення можна спостерігати в слаборозвинутих країнах. Довкілля з таким ресурсним потенціалом має добрі перспективи для підвищення технологічного розвитку. Але в цьому випадку технології розвиваються самі по собі, недостатньо використовуються кооперативні дії задля досягнення загальнодержавних цілей економічного та технологічного розвитку країни.



Мал. 3 – Експонента рівня сталості *SUTED*

Друга ситуація у певному смислі краща, ніж перша. Але в обох випадках має місце несприятлива ситуація для забезпечення високого рівня добробуту населення та належної безпеки для існування держави.

На основі цього підходу були виконані експериментальні розрахунки сталості технологічного розвитку України станом на середину 2013 р. Зокрема, були одержані такі оцінки:

1) за рівнем технологічного розвитку ( $TD = 32,1$ ) Україна знаходиться на інтенсивному рівні та пройшла значну частину шляху від інтенсивного рівня розвитку до синергетичного; рівень екологічного благополуччя  $EW$  дорівнює 56,2;

2) при різниці  $TD$  та  $EW$ , що дорівнює 24,1, країна знаходиться у верхній третині нестабільної (слабкорівноважної) зони (див. мал. 3), яка визначена як межа ефективного розвитку, проте має відносно високий рівень сталості розвитку ( $SUTED = 71$ ), що може бути характерним для країн з недостатньо інтенсивною економікою.

Викладена концепція індикативної оцінки сталості розвитку базується на його головних факторах та параметрах, що дозволяють створити загальну картину поточної ситуації, об'єктивні вихідні параметри для розробки стратегії забезпечення сталості технологічного розвитку країни. Але ця розробка вимагає інших засобів, насамперед, знаходження збалансованого спільного розвитку всіх елементів зазначених вище концептуальних трьох та чотирьохфакторних моделей життєдіяльності суспільства. Ці засоби базуються на використанні теоретико-ігрових евристичних моделей складних систем та знаходяться на стадії дослідження.

### Список використаної літератури

1. Повестка дня на XXI век. Принята Конференцией ООН по окружающей среде и развитию в Рио-де-Жанейро. 3–14 июня 1992 г. // [http://www.un.org/ru/documents/decl\\_conv/conventions/agenda21.shtml](http://www.un.org/ru/documents/decl_conv/conventions/agenda21.shtml)
2. Википедия // <http://ru.wikipedia.org>
3. Индикаторы устойчивости для регионов: опыт разработки. // На пути к устойчивому развитию России. / Бюллетень Центра экологической политики России, 2003. № 24. – С. 8–9. Научная библиотека диссертаций и авторефератов disserCat <http://www.dissercat.com/content/>

nauchnoe-obosnovanie-razrabotka-i-aprobatsiya-regionalnykh-indikatorov-ustoichivogo-razvitiy#ixzz2r80BLZqs

4. Боссель Х/ Показатели устойчивого развития: Теория, метод, практическое использование/ Международный институт устойчивого развития. – Тюмень: Издательство Института проблем освоения Севера СО РАН, 2001. – 121 с. <http://www.ipdn.ru/izdaniya-instituta/bossel/soderzhanie/>.

5. Inclusive Green Growth The Pathway to Sustainable Development. The World Bank Washington DC 2012.

6. Global Sustainable Development Report – Executive Summary: Building the Common Future We Want. New York: United Nations Department of Economic and Social Affairs, Division for Sustainable Development. 2013, <http://sustainabledevelopment.un.org/globalsdreport>.

7. Hardi P., Pinter L. Models and methods of measuring sustainable development performance // International Institute for Sustainable Development, Canada, 1995.

8. Krajnc D., Glavic/P A model for integrated assessment of sustainable development // Resources, Conservation and Recycling, 43 (2005), p. 189–208.

9. Згуровский М. Украина в глобальных измерениях устойчивого развития // «Зеркало недели», № 19, 2006.

10. Садовенко А., Масловська Л., Серета В., Тимочко Т. .Сталий розвиток суспільства: навчальний посібник.: – 2 вид. – К.; 2011. – 392 с.

11. Барский В.Г., Перелет Р.А. Диагностика и семиотика устойчивого развития. Электронный научный журнал «Биосфера». РАН, 2003, № 1. <http://www.ihst.ru>.

12. Тарасова Н.П., Кручина Е.Б. Индексы и индикаторы устойчивого развития. Материалы международной конференции «Устойчивое развитие: природа – общество – человек». Том 1. М. 2006 г. – <http://rudocs.exdat.com/download/docs-262115/262115.doc>.

13. Konzept Nachhaltigkeit – Vom Leitbild zur Umsetzung. Technical report, Deutscher Bundestag, Enquete-Kommission Schutz des Menschen und der Umwelt des 13. Deutschen Bundestages, Berlin, 1998.

14. Шауэр Т. Влияние технологий информационного общества на устойчивое развитие // [www.new.e-ukraine.org.ua/publications/is/Schauer%20-%20impact%20of%20IS.htm](http://www.new.e-ukraine.org.ua/publications/is/Schauer%20-%20impact%20of%20IS.htm).

15. Национальная стратегия устойчивого социально-экономического развития Республики Беларусь на период до 2020 г. / Национальная комиссия по устойчивому развитию Республики Беларусь; Редколлегия: Я.М. Александрович и др. – Мн.: Юнипак. – 200 с.

16. Ireland’s Sustainable Development Model STRIVE Report Series No.47. Environmental Protection Agency Programme 2007–2013.

17. Перелет Р.А. Переход к эре устойчивого развития ? Россия в окружающем мире: 2003 (Аналитический ежегодник).– М.: Изд. МНЭПУ, 2003.

18. Седов С.Б. Концепция устойчивого развития и индикаторы устойчивого развития экономики. [www.edit.muh.ru/content/mag/trudy/02\\_2009/10](http://www.edit.muh.ru/content/mag/trudy/02_2009/10)

19. Measuring Sustainable Development, United Nations Economic Commission for Europe New York and Geneva, 2009.



20. Indicators of Sustainable Development: Guidelines and Methodologies, Third Edition. United Nations New York, 2007.
21. Орловська Ю.В. Проблеми та перспективи системних індикаторів сталого розвитку / Ю.В. Орловська, О.О. Зайченко. – Донецьк : ДонНУ, 2009. – С. 40–44.
22. Бібік Н.В. Індикатори сталого розвитку – міжнародна практика та українські реалії / Н.В. Бібік // Економіка і регіон. – 2009. – № 2 (21). – С. 43–48.
23. Концепція сталого розвитку населених пунктів. Постанова Верховної Ради України № 1359-XIV 24 грудня 1999 року
24. Трофимова В.В. Регіональні інноваційні комплекси в глобальній економіці: монографія / – Сімферополь: ВіТроПрінт, 2009. – 260 с.
25. ICTs as an Enabler for Private Sector Development. Information economy report 2011 / United Nations conference on trade and development. New York and Geneva, 2011.
26. Энергетика світу та Києва: огляд та аналіз тенденцій. К.: «Тираж», 2003 р. – 109 с
27. Полумієнко С.К., Рыбаков Л.О., Грінченко Т.О. ІТ-проекція технологічного розвитку України. К.: Азимут-Україна, 2011. – 184 с.
28. Stork C. Sustainable Development and ICT Indicators. International Institute for Sustainable Development // Winnipeg, Manitoba Canada, 2007. – <http://www.iisd.org>
29. Полумієнко С.К., Рыбаков Л.О. Про рівень розвитку інформаційного суспільства в Україні // Наука та інновації. – 2012. – Т. 8, № 6. – С. 84–89.
30. Постанова Кабінету Міністрів України № 1134 від 28.11.2012 р. «Про запровадження Національної системи індикаторів розвитку інформаційного суспільства». – <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/1134-2012-%D0%BF>
31. Бобылев С.Н. Индикаторы устойчивого развития: региональное измерение. М.: Акрополь, ЦЭПР, 2007. – 60 с.
32. Малинецкий Г.Г. Принципы прогнозирования технологического развития. <http://spkurdyumov.narod.ru/PrProgObRaz.htm>

*Стаття надійшла до редакції 23.01.14 українською мовою*

**© С.К. Полумієнко, Л.А. Рыбаков**

### **ОБ ОЦЕНКЕ УСТОЙЧИВОГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ**

*Определяются основы «технологического» подхода к проблеме устойчивого развития. Предлагаются методы построения индикативных оценок устойчивого технологического развития и соответствующие индексы и индикаторы.*

**© S.K. Polumiienko, L.O. Rybakov**

### **ON THE EVALUATION OF SUSTAINABLE TECHNOLOGICAL DEVELOPMENT**

*It is defines the framework of "technological" approach to sustainable development. The methods of constructing indicative evaluations of sustainable technological development and the corresponding indices and indicators are proposed.*

УДК 539:537.8:504

© **И.Н. Симонов**, д-р физ.-мат. наук, профессор

Киевский национальный университет строительства и архитектуры, г. Киев

## **ПОЛЕВАЯ ТЕОРИЯ СТРУКТУРНЫХ ЧАСТИЦ МАТЕРИИ И НОВЫЕ АСПЕКТЫ ЭКОЛОГИИ**

*Показано, что структурные частицы материи – протон, электрон – это энергетические паттерны, сформированные из стоячей континуальной электромагнитной волны. Вещество – форма проявления свойств континуального поля, дополнительный канал электромагнитного взаимодействия между живой и физической материей.*

**Ключевые слова:** континуальная электродинамика, стоячая волна, энергетический паттерн, экология, дополнительное полевое взаимодействие.

В работе [1] исследовалась идея полевого устройства материи на основе решения стационарных уравнений континуальной электродинамики в предположении малых энергий электромагнитного взаимодействия. В рамках механической и электродинамической моделей было показано, что устройство структурных частиц материи может носить полевой характер, при этом характерные частоты колебаний для протона и нейтрона лежат в диапазоне:  $.4 \cdot 10^{24} - .3 \cdot 10^{25} \text{ Гц}$ , а для электрона:  $.2 \cdot 10^{21} - .1 \cdot 10^{22} \text{ Гц}$ . Существование таких частот позволило предположить [1], что обмен взаимодействием между живой и неодушевленной материями может осуществляться и за счет моделируемого электромагнитного излучения объектов. Такого типа взаимодействия могут, по крайней мере, влиять на особенности пребывания объекта в тех или иных условиях.

Решение задачи в рамках стационарных уравнений позволяет лишь описать внутреннюю электромагнитную структуру частиц на основе известных характеристик – массы, заряда, магнитного момента, спина.

В настоящей работе вернемся к исследованию полевого устройства материи, но в рамках нестационарных уравнений континуальной электродинамики [2, 3], решения которых не имеют особенностей в нуле ( $r \rightarrow 0$ ). Представляет интерес исследовать возмущенное состояние континуального поля с тем, чтобы выяснить особенности этого состояния и возможность формирования полевых структур. Для сопоставления с решениями стационарной задачи будем использовать данные [1, 3].

**Возмущенное состояние поля в классической и континуальной электродинамике**

Волновой процесс для систем классической электродинамики связывают в основном с возникновением электромагнитных волн, благодаря движению зарядов некоторого источника (например, излучение колеблющегося диполя). Исследуются процессы распространения волн от источника в окружающее пространство. Определение постоянных интегрирования соответствующих дифференциальных уравнений происходит на основе использования характеристик источника. При этом анализируются решения уравнений, отражающие свойства бегущих волн. Хотя следует заметить, что общее решение волновых уравнений для колебаний в ограниченном и в открытом объемах можно представить в «виде суперпозиции стоячих волн» [4, с. 421].

В этом легко убедиться, рассмотрев решение волнового уравнения для одномерной задачи:

$$\frac{d^2U}{dx^2} = \frac{1}{c^2} \frac{d^2U}{dt^2} .$$

Метод разделения переменных  $U = X(x) \cdot T(t)$  дает:

$$\frac{d^2X(x)}{dx^2} + k^2 \cdot X(x) = 0 \quad \text{и} \quad \frac{d^2T(t)}{dt^2} + \omega^2 \cdot T(t) = 0 ,$$

где  $c$  – скорость,  $\omega$  – циклическая частота,  $k$  – волновое число. Решениями этих уравнений будут функции:

$$X(x) = C_1 \cos kx + C_2 \sin kx \quad \text{и} \quad T(t) = A_1 \cos \omega t + A_2 \sin \omega t ,$$

а общее решение будет иметь вид:

$$U(x,t) = (C_1 \cos kx + C_2 \sin kx) \cdot (A_1 \cos \omega t + A_2 \sin \omega t) .$$

Из этого выражения следует, что при любых вариантах выбора нетривиальных решений остается произведение двух тригонометрических функций, содержащих переменные  $kx$  и  $\omega t$ , которые характеризуют стоячую волну.

Покажем, что возбужденное состояние континуального поля приводит к возникновению колебаний и формированию континуальной стоячей волны, которую можно рассматривать как структурную частицу с определенным значением массы.

В отличие от волновых уравнений классической электродинамики, где исследуется распространение волн вне зоны источников (за исключением сложных систем, например, плазмы и растворов электролитов, проводников), т.е. в отсутствии зарядов и токов, волновые

процессы континуальных систем связаны с присутствием и колебаниями некоторой структуры. Эта структура определяется метрическим тензором и полевыми характеристиками и по формальной записи уравнения может быть интерпретирована как некоторая субстанция с  $\varepsilon = 1$  и  $\mu = 1$ . Ее особенности задаются функциями самосогласованности, которые определяют свойство пространства к накоплению электричества [2]. Если поискать аналогию, то такая задача подобна исследованию свойств возбужденной плазмы, где ее конфигурация (свойство пространства–плазмы) заложена в задании распределения зарядов и токов. Подобную роль, но для пространства, играют произведения функции самосогласованности  $\delta, \vec{\tau}, \nu$  и соответствующих характеристик поля [2, 3].

### Решение уравнений континуальной электродинамики

Возмущенное состояние континуального электричества описывается уравнениями для векторного и скалярного потенциалов  $\vec{A}$  и  $\Phi$ . В настоящей работе воспользуемся системой уравнений, представленной в [2]:

$$\begin{cases} \nabla^2 \vec{A} + \frac{\delta}{\varepsilon_0} \cdot \vec{A} - \frac{\vec{\tau}}{\varepsilon_0} \times \text{rot} \vec{A} - \nu \varepsilon_0 \mu_0 \cdot \frac{\partial \vec{A}}{\partial t} - \varepsilon_0 \mu_0 \cdot \frac{\partial^2 \vec{A}}{\partial t^2} = 0 & (1) \\ \nabla^2 \Phi + \frac{\delta}{\varepsilon_0} \cdot \Phi + \frac{\vec{\tau}}{\varepsilon_0} \cdot \vec{\nabla} \Phi - \nu \varepsilon_0 \mu_0 \cdot \frac{\partial \Phi}{\partial t} + \frac{\vec{\tau}}{\varepsilon_0} \cdot \frac{\partial \vec{A}}{\partial t} - \varepsilon_0 \mu_0 \cdot \frac{\partial^2 \Phi}{\partial t^2} = 0 & (2) \end{cases}$$

с условием:

$$\text{div} \vec{A} + \nu \varepsilon_0 \mu_0 \Phi + \varepsilon_0 \mu_0 \frac{\partial \Phi}{\partial t} = 0, \quad (3)$$

которые справедливы, если  $\nu$  не является функцией времени и координат [2]. Определение  $\nu$  дано [2] и оно связано с функцией самосогласованности  $\vec{\tau}$ . В данной работе ограничимся случаем, когда  $\nu = 0$ .

В сферической системе координат будем искать  $\varphi$ -тую составляющую векторного потенциала  $\vec{A}$ , которая в классической электродинамике ассоциируется с токами вдоль этой составляющей и, полагая из соображений симметрии задачи, что составляющие  $A_r = A_\theta = 0$ . Для  $\vec{\nabla} \Phi$ , как и в [1–3], определим только составляющую вдоль вектора  $\vec{r}$ , как и для вектора  $\vec{\tau}$ . Тогда для составляющей  $A_\varphi$ , раскрывая векторное произведение в (1), можем записать:

$$\nabla^2 A_\varphi + \frac{\delta}{\varepsilon_0} A_\varphi + \frac{\tau}{\varepsilon_0 r} \left( A_\varphi + r \frac{\partial A_\varphi}{\partial r} \right) - \varepsilon_0 \mu_0 \frac{\partial^2 A_\varphi}{\partial t^2} = 0. \quad (4)$$

Если  $A_\varphi$  не зависит от угловой переменной " $\varphi$ ", то из условия (3) следует:  $div A_\varphi = 0$  и тогда с учетом того, что  $v = 0$  из (3) получим:

$$\varepsilon_0 \mu_0 \frac{\partial \Phi}{\partial t} = 0. \quad (5)$$

Имея в виду соотношение:

$$\vec{E} = -\vec{\nabla} \Phi - \frac{\partial \vec{A}}{\partial t}, \quad (6)$$

и то, что отлична от нуля только составляющая  $A_\varphi$ , а вектор  $\vec{\tau}$  направлен вдоль радиус-вектора " $r$ ", из (6) следует, что вихревая и стационарная составляющие континуального электрического поля будут определяться из соотношений:

$$E_\varphi = -\frac{\partial A_\varphi}{\partial t}, \quad E_r = -\nabla_r \Phi. \quad (7)$$

Стационарное уравнение для потенциала  $\Phi$  приведено в [3]:

$$\nabla_r^2 \Phi + \frac{\delta}{\varepsilon_0} \cdot \Phi + \frac{\tau}{\varepsilon_0} \cdot \nabla_r \Phi = 0, \quad (8)$$

и его решение будет записано ниже.

Уравнение (4) для  $A_\varphi$  позволяет определить электрическую составляющую континуального поля с использованием (7), а магнитные составляющие  $B_r$  и  $B_\theta$  можно найти из соотношений:

$$B_r = \frac{1}{r \sin \theta} \cdot \frac{\partial}{\partial \theta} (A_\varphi \cdot \sin \theta) \quad B_\theta = -\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} (A_\varphi \cdot r). \quad (9)$$

Для поиска распределения векторной составляющей  $A_\varphi$  воспользуемся методом разделения переменных, записав ее в виде:

$$A_\varphi = R(r) \cdot Y(\theta, \varphi) \cdot T(t). \quad (10)$$

Из соотношения (10) для соответствующих функций получим следующие уравнения:

$$\frac{\partial^2 R}{\partial r^2} + \frac{2}{r} \frac{\partial R}{\partial r} + \frac{\tau}{\varepsilon_0} \frac{\partial R}{\partial r} + \left( \frac{\delta}{\varepsilon_0} + \frac{\tau}{\varepsilon_0 r} - \frac{l(l+1)}{r^2} + k^2 \right) R = 0; \quad (11)$$

$$\frac{\partial^2 Y}{\partial \theta^2} + \frac{\cos \theta}{\sin \theta} \frac{\partial Y}{\partial \theta} + \left( l(l+1) - \frac{1}{\sin^2 \theta} \right) \cdot Y + \frac{1}{\sin^2 \theta} \frac{\partial^2 Y}{\partial \varphi^2} = 0; \quad (12)$$

$$\varepsilon_0 \mu_0 \frac{\partial^2 T}{\partial t^2} + k^2 T = 0. \quad (13)$$

Решения для  $Y(\theta, \varphi)$  [1] и  $T(t)$  имеют простой вид:

$$Y(\theta, \varphi) = A_1 \cdot \sin \theta, \quad (14)$$

при условии, что  $A_\varphi$  не зависит от угловой переменной [1] " $\varphi$ " и  $l=1$  по [2], а для временной зависимости имеем из (13):

$$T(t) = C \cdot \sin \omega t + D \cdot \cos \omega t, \quad (15)$$

где  $\omega^2 = \frac{k^2}{\varepsilon_0 \mu_0}$ .

В [1, 3] были получены функции самосогласованности  $\delta$  и  $\vec{\tau}$ , которые, по сути, определяют свойства пространства к накоплению электричества, в виде:

$$\delta = 3 \frac{\varepsilon_0}{r^2} \quad \tau = \frac{\varepsilon_0 (3 \cdot r - s)}{r^2}. \quad (16)$$

Вспользуемся для рассматриваемой задачи этими же соотношениями. С учетом вида функций самосогласованности  $\delta$  и  $\tau$ , значением  $l=1$  [2] для  $R$  из (11) получим:

$$\frac{\partial^2 R}{\partial r^2} + \frac{2}{r} \frac{\partial R}{\partial r} + \frac{(3 \cdot r - s)}{r^2} \frac{\partial R}{\partial r} + \left( \frac{4}{r^2} - \frac{s}{r^3} + k^2 \right) R = 0. \quad (17)$$

Уравнение (17) не имеет решения в общем виде удобном для анализа. Будем искать решение этого уравнения в виде произведения функции стационарной задачи  $A_{\varphi 0} = A \cdot e^{-\frac{s}{r}} \cdot r^{-2}$  на некоторую неизвестную функцию  $f(r)$ :

$$R = A \cdot e^{-\frac{s}{r}} \cdot r^{-2} \cdot f(r). \quad (18)$$

После подстановки (18) в (17), для  $f(r)$  получим:

$$\frac{\partial^2 f(r)}{\partial r^2} + \frac{s+r}{r^2} \cdot \frac{\partial f(r)}{\partial r} + f(r) \cdot k^2 = 0 . \quad (19)$$

Если рассматривать случай, когда  $\frac{r}{s} \gg 1$ , то при этом условии вторым слагаемым в (19) можно пренебречь, и в результате имеем:

$$\frac{\partial^2 f(r)}{\partial r^2} + f(r) \cdot k^2 = 0 , \quad (20)$$

решением которого будет функция:

$$f(r) = B_1 \cdot \sin k \cdot r + B_2 \cdot \cos k \cdot r ,$$

и тогда  $R$  имеет вид:

$$R = A \cdot e^{-\frac{s}{r}} \cdot r^{-2} \cdot (B_1 \cdot \sin kr + B_2 \cdot \cos kr) . \quad (21)$$

С учетом найденных выражений для функций, определяющих угловую и временную зависимости, для  $A_\varphi$  окончательно получим:

$$A_\varphi = A \cdot e^{-\frac{s}{r}} \cdot r^{-2} \cdot \sin \theta \cdot (B_1 \cdot \sin kr + B_2 \cdot \cos kr) \cdot (C \cdot \sin \omega t + D \cdot \cos \omega t) . \quad (22)$$

### **Выбор граничных и начальных условий**

Из граничного условия поведения функции в точке  $r$  следует, что она обращается в нуль независимо от выбора тригонометрической функции в первой скобке, поэтому без ограничения общности в (22) можно положить постоянную  $B_1$  равной нулю ( $B_1 = 0$ ). Начальное условие для  $A_\varphi$  можно определить, полагая:

$$A_\varphi = 0 \text{ при } t = 0 , \quad (22a)$$

и тогда в (22) можно положить равной нулю постоянную  $D$ . В таком случае с учетом граничных и начальных условий для составляющей векторного потенциала  $A_\varphi$  можно записать:

$$A_\varphi = D_2 \cdot e^{-\frac{s}{r}} \cdot r^{-2} \cdot \sin \theta \cdot \cos kr \cdot \sin \omega t , \quad (23)$$

где  $D_2$  – новая постоянная, вместо произведения  $A \cdot B_2 \cdot C$ , оставшихся в (22) после учета начальных и граничных условий. Используя соотношения (7), можно определить выражения для электрической и магнитных составляющих континуального поля частицы. Из представленного в (23) вида функции следует, что  $A_\varphi$  является стоячей волной, сосредоточенной в области порядка нескольких значений  $s$ , что следует из рис. 1.

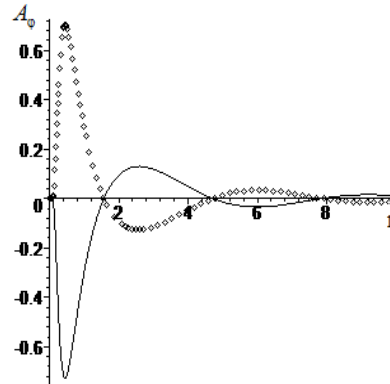


Рис.1 – Зависимость векторного потенциала  $A_\varphi$  в условных единицах от координаты  $r$

На рис. 1 точки и кривая проведены для разных промежутков времени соответственно:  $\omega t = 1$  и  $\omega t = 4.2$  при значениях:  $\omega = 1, s = 1, k = 1, \theta = \pi/3$ . Из рис. 1 видно, что векторный потенциал  $A_\varphi$  определяет стоячую волну вдоль радиуса  $r$  сферической системы координат. Положение узлов и пучностей волны не зависят от времени, но амплитуда колебаний зависит от угловой координаты  $\theta$  в соответствии с полученной зависимостью (23).

Соотношение (6) дает следующее выражение для  $E_\varphi$  – вихревой составляющей континуального электрического поля:

$$E_\varphi = -D_2 \cdot e^{\frac{s}{r}} \cdot r^{-2} \cdot \omega \cdot \sin \theta \cdot \cos kr \cdot \cos \omega t. \quad (24)$$

Соответствующие выражения для магнитных составляющих, полученные из соотношений (9), имеют вид:

$$B_r = 2 \cdot D_2 \cdot e^{\frac{s}{r}} \cdot r^{-3} \cdot \cos \theta \cdot \cos kr \cdot \sin \omega t, \quad (25)$$

$$B_\theta = D_2 \cdot e^{\frac{s}{r}} \cdot r^{-4} \cdot \sin \theta \cdot \sin \omega t \cdot (\sin kr \cdot k \cdot r^2 - \cos kr \cdot s + \cos kr \cdot r). \quad (26)$$

Для скалярного потенциала  $\Phi$  с учетом решения стационарной задачи и того, что он зависит только от координаты " $r$ ", из [1, 3] имеем:



$$\Phi(r,t) = A_2 e^{-\frac{s}{r}} r^{-3}, \quad (27)$$

постоянная  $A_2 = \frac{Q \cdot a^3}{4\pi\epsilon_0 \cdot (3 \cdot a - s) \cdot e^{-\frac{s}{a}}}$  определена в [1].

Полученные выражения для составляющих континуального электромагнитного поля позволяют найти распределение плотности электромагнитной энергии, массы и плотности потока электромагнитной энергии. Плотность энергии определим из соотношения:

$$w = \frac{\epsilon_0 E_\varphi^2}{2} + \frac{B_r^2 + B_\theta^2}{2\mu_0}. \quad (28)$$

А плотность массы из:

$$\rho = \frac{w}{c^2}. \quad (29)$$

Плотность потока энергии определяется вектором Пойтинга – Умова:

$$\vec{S} = \left[ \vec{E} \cdot \frac{\vec{B}}{\mu_0} \right]. \quad (30)$$

Отличными от нуля являются только составляющие  $E_\varphi, B_r, B_\theta$ , и тогда для плотности потока получим отличными от нуля только  $S_r$  и  $S_\theta$  составляющие, т.е.:

$$\vec{S} = \left[ \vec{E} \cdot \frac{\vec{B}}{\mu_0} \right] = \vec{i} \cdot \left( -E_\varphi \cdot \frac{B_\theta}{\mu_0} \right) + \vec{j} \cdot \left( E_\varphi \cdot \frac{B_r}{\mu_0} \right), \quad (31)$$

где  $\vec{i}$  и  $\vec{j}$  – единичные вектора в направлении радиуса-вектора  $r$  и в направлении угловой переменной  $\theta$ . После вычислений с подстановкой в (31) соответствующих выражений  $E_\varphi, B_r, B_\theta$  из (24)–(26) получим:

$$S_r = \frac{D_2^2 \cdot \omega \cdot \sin^2 \theta \cdot \sin 2\omega t \cdot \cos kr \cdot (\sin kr \cdot k \cdot r^2 - \cos kr \cdot s + \cos kr \cdot r)}{2 \cdot r^6 \cdot \mu_0 \cdot e^{-\frac{2s}{r}}} \quad (32)$$

$$S_{\theta} = - \frac{D_2^2 \cdot \sin 2\theta \cdot \cos^2 kr \cdot \sin 2\omega t \cdot \omega}{2 \cdot r^5 \cdot \mu_0 \cdot e^{\frac{2s}{r}}} \quad (33)$$

Как показывают проведенные расчеты, среднее значение плотности потока энергии  $S_r$  из объема произвольного радиуса  $R$  через замкнутую поверхность, окружающую этот объем, с центром в точке  $r = 0$  за время, равное одному периоду колебаний, равно нулю:

$$P_r = \frac{\omega}{2\pi} \int_0^{\pi} \int_0^{2\pi} \int_0^{\frac{2\pi}{\omega}} S_r \cdot R^2 \sin \theta \cdot d\theta \cdot d\varphi \cdot dt = 0. \quad (34)$$

Поток плотности энергии  $S_{\theta}$  направлен по касательной к выделенной сферической поверхности, а значит – перпендикулярно радиус-вектору  $r$ . Составляющая плотности потока, перпендикулярная экваториальным плоскостям, будет определяться выражением  $S_{\theta} \cdot \sin \theta$ . Суммарный поток, проходящий через поверхности, параллельные экваториальным, в таком случае будет определяться соотношением:

$$P_{\theta} = \frac{\omega}{2\pi} \int_0^{\infty} \int_0^{\pi} \int_0^{2\pi} \int_0^{\frac{2\pi}{\omega}} S_{\theta} \cdot r \cdot \sin \theta \cdot dr \cdot d\theta \cdot d\varphi \cdot dt,$$

и, как показывают расчеты, этот поток также равен нулю.

Принципиальное различие в постановке рассматриваемой задачи состоит в способе определения постоянной  $D_2$ . В начале настоящей работы говорилось о том, что исследуемая задача отличается от традиционных задач классической электродинамики. В данной задаче изначально вещественного источника возмущения поля нет. Сам источник формируется из возмущенного состояния пространства – поля.

Основная идея – это формирование из континуального поля энергетического паттерна – структурной частицы материи с определенным значением массы. Она, в свою очередь, связана с электрической и магнитной составляющими поля, а значит, со значениями заряда и магнитного момента частицы. И это позволяет искать постоянную  $D_2$ , исходя из соответствующего вклада электрических и магнитных составляющих в энергию и, соответственно, в массу частиц, полученных в рамках решения стационарной задачи.

### **Определение постоянной интегрирования**

Существование отличной от нуля стационарной составляющей электрического поля и связанная с ней энергия поля [1] позволяет предположить, что среднее значение энергии вихревой составляющей поля равна стационарной [1]. Аналогичное предположение можно сделать и для соответствующих магнитных составляющих континуального поля.

Полученные в результате соотношения позволяют определить постоянную  $D_2$  и найти связь между зарядом и магнитным моментом. Используя соотношение (27) и найденные выражения для составляющих полей (24)–(26), найдем соответствующие значения вклада электрической и магнитной составляющих в полную энергию системы.

$$W = \int \left( \frac{\varepsilon_0 E_\varphi^2}{2} + \frac{B_r^2 + B_\theta^2}{2\mu_0} \right) \cdot r^2 dr \cdot \sin \theta \cdot d\theta \cdot d\varphi \cdot dt = WE + WB_r + WB_\theta. \quad (35)$$

После интегрирования по угловым переменным и усреднению по времени за один период колебания выражение (35) можно представить в следующем виде:

$$WE = \frac{2}{3 \cdot s} \pi \cdot \omega^2 \cdot \varepsilon_0 \cdot D_2^2 \cdot IE, \quad IE = \int \frac{\cos^2 \beta x}{x^2} \cdot e^{-\frac{2}{x}} \cdot dx \quad (36)$$

$$WB_r = \frac{4}{3\mu_0 \cdot s^3} \pi \cdot D_2^2 \cdot IB_r, \quad IB_r = \int \frac{\cos^2 \beta x}{x^4} \cdot e^{-\frac{2}{x}} \cdot dx \quad (37)$$

$$WB_\theta = \frac{2}{3\mu_0 \cdot s^3} \pi \cdot D_2^2 \cdot IB_\theta$$

$$IB_\theta = \int \frac{\beta^2 x^4 \cdot \sin^2 \beta x + \beta x^2 (x-1) \cdot \sin 2\beta x + (x-1)^2 \cdot \cos^2 \beta x}{x^6 \cdot e^{\frac{2}{x}}} \cdot dx \quad (38)$$

$$W_s = \frac{Q^2 \cdot s}{\varepsilon_0} \cdot C_E + \frac{Mm^2 \cdot \mu_0 \cdot s}{a^2} \cdot M_B \quad (39)$$

$$C_E = \frac{(6s^4 a^2 + 12s^3 a^3 + 18s^2 a^4 + 18sa^5 + 9a^6 - 12s^5 a + 4s^6)}{64\pi \cdot s^6 \cdot (3a - s)^2} \quad (40)$$

$$M_B = \frac{4 \cdot (6s^2 a^2 + 6sa^3 + 3a^4 + 2s^4)}{3\pi^3 \cdot s^4 \cdot (3a - s)^2}, \quad (41)$$

где  $x = r/s$ ,  $\beta = k \cdot s$ .

Если предположить, что среднее значение электрической энергии (36) равно соответствующей составляющей из (39), то для постоянной интегрирования  $D_2$  получим:

$$D_2 = \frac{Q \cdot s}{\varepsilon_0 \cdot \omega} \sqrt{\frac{3 \cdot C_E}{2 \cdot \pi \cdot IE}} \quad (42)$$

Эту же постоянную можно выразить и через значение магнитного момента  $Mm$ , из равенства энергий магнитного поля стационарной задачи (39) и усредненного значения из (35). Тогда получим:

$$D_2 = \frac{Mm \cdot \mu_0 \cdot s^2}{a} \sqrt{\frac{M_B}{2 \cdot \pi \cdot (2 \cdot IB_r + IB_\theta)}} \quad (43)$$

Сравнивая выражения для  $D_2$  из (42) и (43), найденных из сопоставления энергий для электрической и магнитной составляющих, получим условие эквивалентности этих постоянных:

$$Q = \frac{Mm \cdot \mu_0 \cdot \varepsilon_0 \cdot s \cdot \omega}{a} \sqrt{\frac{IE \cdot M_B}{(2 \cdot IB_r + IB_\theta) \cdot C_E}} \quad (44)$$

Связь между величиной заряда и магнитным моментом частицы, которая зависит от частоты колебания стоячей континуальной волны, указывает на то, что релятивистскими (электромагнитная волна) по природе являются не только ее магнитные свойства, но и электрические. Возможно, релятивистским является и сам эффект формирования структурной частицы материи из континуального поля. Используя соотношение (44), можно при найденных значениях  $s$  и  $a$  для протона и электрона в [1] определить собственные частоты  $\omega$  стоячих волн для этих частиц. Проведенные расчеты показали, что при  $s = .35 \cdot 10^{-15} \text{ м}$  и  $a = .14 \cdot 10^{-15} \text{ м}$  для протона и  $s = .72 \cdot 10^{-12} \text{ м}$  и  $a = .25 \cdot 10^{-12} \text{ м}$  для электрона, соответственные значения частот равны:  $\omega_p = .15 \cdot 10^{24} \text{ Гц}$ ,  $\omega_e = .24 \cdot 10^{21} \text{ Гц}$ . Расхождение с данными из электродинамической модели для протона ( $\omega_p = .46 \cdot 10^{24} \text{ Гц}$ ), рассмотренной в [1], связаны в исследуемом приближении с погрешностью при значениях  $s \ll 10^{-12} \text{ м}$  в определении области локализации заряда частиц. Заметим, что целью настоящей работы было получение «частицеподобных решений» в случае нестационарных уравнений континуальной электродинамики, и это, по сути, и было достигнуто. Уточнение модели составит цель последующих публикаций, а полученные здесь результаты вполне достаточны для проведения анализа и соответствующих выводов.

### **Анализ результатов**

В одной из работ [5, с. 758] А. Эйнштейном была высказана такая мысль: «Пустое пространство, т.е. пространство без поля не существует. Пространство-время существует не само по себе, но только как структурное свойство поля». Нами же в развитии этой идеи в [3] было показано, что «пространство-время – материально из-за электромагнетизма». Идеи, созвучные [5], были высказаны Дж. Максвеллом в работах [6, с. 253] и [7, с. 66].

Идея построения полевой концепции для структуры частиц в рамках одного континуального поля и связи инерционности с электромагнетизмом этого поля оказалась продуктивной и привела к качественно новому физическому результату. Очевидно, возмущенное состояние электромагнитного поля может существовать в двух формах: свободном – электромагнитная волна и континуальном – структурные частицы материи [3]. Последние связаны с накопительным механизмом, локальной концентрацией электромагнитной энергии. В дифференциальных уравнениях это отражено функциями самосогласованности, которые связаны с емкостными характеристиками системы, т.е. с механизмом накопления электричества.

Если обратиться к мысли, что пространство отражает “структурное свойство поля”, то с помощью поля можно сформировать пространство-время. Но с помощью какого поля? Уже в самой идее Эйнштейна утверждается, что пустого пространства не существует. Значит, есть некоторое первичное поле, которое обеспечивает существование самого пространства, даже этого понятия. Из того, что известно нам на сегодняшний день, в окружающем нас пространстве наличествуют материальные тела, состоящие из структурных частиц и поля. Структурные частицы в таком случае являются первичными, они могут претерпевать различные изменения вплоть до превращения в электромагнитное излучение (гамма-кванты), но и электромагнитное излучение, в свою очередь, в результате реакции может стать источником частиц. Но свободная электромагнитная волна не может определять содержание пространства, поскольку не отражает свойство пространства вмещать (накапливать) материальные объекты. Свободная волна констатирует факт существования источника, но не возможность его формирования в пространстве.

Не следует исключать, что при определенных условиях свободная электромагнитная волна может сформировать стоячую волну (например, интерференция).

А континуальные поля, их распределение зависят от самосогласованных характеристик  $(\delta, \vec{\tau}, \nu)$ , которые связаны с метрическим тензором и вместе с полевыми характеристиками отражают свойства пространства к структурообразованию [2, 3]. Можно сделать вывод, что именно континуальное поле является тем элементом, благодаря которому формируется пространство-время и материя.

Из-за ограниченного объема статьи в настоящей работе представлены результаты решения нестационарных уравнений только лишь для одного приближения. Но предварительный анализ других приближений показал, что они не вносят принципиальных изменений в представленные результаты, а только уточняют некоторые детали. Из настоящей работы очевидны следующие выводы.

### **Выводы**

1. Структурные частицы материи – это динамические полевые образования – энергетический паттерн из сформированной в пространстве стоячей континуальной электромагнитной волны. Безусловно, окончательное решение за экспериментальным подтверждением.

2. Частота колебаний в такой волне для протона порядка  $\omega_p = .15 \cdot 10^{24} \text{ Гц}$ , а для электрона  $\omega_e = .24 \cdot 10^{21} \text{ Гц}$  (в рассмотренной модели). Именно из этих частиц формируется атом водорода – основной элемент Вселенной.

Можно предположить, эти частицы определяют процессы, которые характеризуют два основных временных интервала Вселенной, что является некоторым масштабом, для гармонизации происходящих в ней процессов.

С другой стороны, протяженность частиц, их конечный размер задает, возможно, пространственные характеристики микро- и макрокосмоса.

3. В таком энергетическом паттерне на передний план выходит энергетическая характеристика, а с ней и понятие массы на основании известного соотношения ( $E = mc^2$ ). Континуальный электромагнетизм только способствует формированию паттерна. Но именно масса структурных частиц, по сути, являясь электромагнитной по природе, задает значения заряда и магнитного момента частицы через частоту колебаний стоячей волны. Здесь в единстве – и масса (мера инертности), и время (частота колебаний), и заряд (электрическое поле), и магнитный момент (магнитное поле). Т.е. *все характеристики, которые определяют первичный материальный мир. По сути, многообразие материального мира – это форма проявления свойств континуального электромагнитного поля.*

4. Возможно, что в рамках континуальной теории удалось подойти к реализации давнишней идеи физиков – «объяснить полную инерцию частиц электромагнитным путем» [8].

5. Для экологии полевое устройство материи приводит к новому пониманию взаимодействия окружающей среды (в широком смысле) с живой материей. Это взаимодействие становится всеобъемлющим из-за того, что и живая, и первичная материя являются полевыми образованиями. В этом случае взаимодействие биологических систем, живой [9] и первичной материи, полей техногенного происхождения приобретает совершенно другой аспект. И живая материя, и окружающий ее мир – это полевые образования, полевые динамические структуры, которые формируются в соответствии с законами космоса, но в заданных земных условиях. Континуальное поле совокупности земных минералов, водного бассейна, живой материи *создают свою неповторимую архитектуру такого поля, в котором формируются биосистемы планеты Земля.* А проникновение человека не только в ближний Космос, но и дальний, ставит перед экологами совершенно другие задачи. Выходя за пределы влияния континуального поля Земли, биологические системы подвергаются воздействию другого неизвестного поля, иной структуры.

И если в экологии еще не изучались в настоящее время континуальные поля, хотя имеются некоторые смутные о них представления, то о континуальном поле ближнего космоса мало что известно. В этом аспекте перед экологами (перед физиками тоже) стоит задача исследования континуального электромагнитного поля окружающего пространства и возникает цель – определить его характеристики с тем, чтобы иметь возможность сопоставить его с полем хотя бы ближнего Космоса. Тем более, что человечество ставит перед собой задачи активного освоения дальнего.

6. *Общее поле структурных частиц материи и континуальное поле водных растворов электролитов, которые входят в состав живой материи, может стать материальной составляющей и посредником во взаимодействии с окружающей средой и Космосом.* В таком

случае идея В.И. Вернадского о влиянии мыслительной деятельности человека на ноосферу становится вполне осязаемой.

**Список использованной литературы**

1. Симонов И.Н. О полевой концепции вещества и возможном механизме взаимодействия живой материи и водных сред / Проблемы водопостачання, водовідведення та гідравліки. – 2013, вип. 21.
2. Симонов И.Н. Континуальная электродинамика. – К.: Укр ИНТЭИ, 2001. – 252 с.
3. Симонов И.Н. Континуальная теория самосогласованных систем. – К.: Издательско-полиграфический центр “Киевский университет”, 2008. – 311 с.
4. Тихонов А.Н., Самарский А.А. Уравнения математической физики. – М.: Наука, 1966. – 725 с.
5. Эйнштейн А. Относительность и проблема пространства: Сборник научных трудов. – М: Наука, 1966. – Т. 2. – 778 с.
6. Максвелл Дж. Кл. Динамическая теория электромагнитного поля: Избранные сочинения по теории электромагнитного поля. – М.: Гос. изд. тех.-теор. лит., 1954. – 688 с.
7. Максвелл Дж. Кл. Трактат об электричестве и магнетизме. – Т. 1. – М.: Наука, 1989. – 415 с.
8. Эйнштейн А. Физика и реальность: Сборник научных трудов. – М: Наука, 1966. – Т. 4, 599 с.
9. Симонов И.Н., Трофимович В.В. Современная интерпретация экологии как науки в контексте исследования форм движения живой материи / Зб. наук. праць “Екологічна безпека та природокористування” КНУБА К., 2011. – Вип. 8. – С. 166–175.

*Стаття надійшла до редакції 14.01.14 російською мовою*

**© I.M. Симонов**

**ПОЛЬОВА ТЕОРІЯ СТРУКТУРНИХ ЧАСТОК МАТЕРІЇ  
І НОВІ АСПЕКТИ ЕКОЛОГІЇ**

*Показано, що структурні частинки матерії – протон, електрон – це енергетичні патерни, сформовані стоячою континуальною електромагнітною хвилею. Речовина – форма прояву властивостей континуального поля, додатковий канал електромагнітної взаємодії між живою і фізичною матерією.*

**© I.N. Simonov**

**FIELD THEORY OF STRUCTURAL PARTICLES OF MATTER  
AND NEW ASPECTS OF ECOLOGY**

*It is shown that the structural particles of matter – a proton, an electron – is the energy patterns formed from of the continual the standing electromagnetic wave. Substance -the form of manifestation properties of the field, the occurrence of an additional channel of the electromagnetic interaction between the living and physical matter.*

УДК 004.051

© О.Є. Толчевська<sup>1</sup>, аспірант;  
Ю.Г. Коняєв<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського «ХАІ», м. Харків;

<sup>2</sup>ТОВ «Геогрупа»

## ГІС ТЕХНОЛОГІЇ В ЗЕМЛЕУСТРОЇ

*Розглянуті найбільш популярні програмні продукти з використанням геоінформаційних систем (ГІС), які забезпечують вирішення різноманітних завдань в землеустрої. Описані основні функції, характеристики, можливості та принципи роботи з програмними засобами. На їх основі наведено порівняльний аналіз програмних засобів. Запропоновані найбільш доступні та інтуїтивно зрозумілі програмно-технічні засоби, які найкраще підходять для вирішення конкретних завдань в землеустрої, таких як нанесення ділянки на карту, конвертація даних в різні формати, складання землевпорядної документації та ін.*

**Ключові слова:** землекористування, геоінформаційні системи (ГІС), землеустрій.

### Вступ

Зміни земельних відносин, що склалися за час здійснення земельної реформи в нашій країні, визначили новий характер і зміст соціально-економічних проблем землекористування [1]: утворення нової земельної власності, її поділ і збільшення, передача прав на земельні ділянки (паї) землекористувачам, передача земель в оренду, охорона земель і раціональне землекористування. Постійно виникають нові або відбувається упорядкування існуючих землекористувань. Виникла необхідність максимального задоволення економічних інтересів землевласників і землекористувачів, найбільш повного і ефективного використання виробничого потенціалу господарств і закріплених за ними земель, при суворому дотриманні особливих режимів і умов використання земельних ресурсів. Тому одним із головних завдань сучасного землеустрою є складання проектів землеустрою щодо створення нових та впорядкування існуючих землеволодінь (землекористувань).

Останнім часом, для швидкого та якісного складання землевпорядної документації, деякі підприємства застосовують сучасні методи геоінформаційних технологій, які значно полегшують цю процедуру. Застосування методів геоінформаційних систем (ГІС) дозволяє в автоматичному режимі аналізувати поточний стан задокументованого землекористування, виявляти раніше допущені недоліки та помилки, а також у табличному вигляді в лічені хвилини формувати масиви відомостей про земельні ділянки та права на них певних землекористувачів.



Однак, однією з причин того, що в даний час аналітичні можливості ГІС не знаходять широкого застосування, є те, що для багатьох дані технології ще вважаються незрозумілими. Крім того, значна частина користувачів не використовують ГІС для аналізу тому, що не мають елементарних знань, як можна працювати за допомогою ГІС, крім відображення просторових даних. Також деякі користувачі не мають достатньої поінформованості щодо ГІС, які краще підходять для використання в землевпорядкуванні.

В результаті аналізу причин, за якими ГІС в землевпорядкуванні використовується не досить широко, можна сказати, що необхідно розробити нові методи автоматизованого виконання інвентаризації земель з використанням сучасних геоінформаційних технологій. Актуальним є вирішення завдання розробки методичного та алгоритмічного забезпечення інформаційної технології застосування геоінформаційних систем (ГІС) для вирішення низки практичних завдань, що виникають при створенні кадастрових планів території, проектів територіального землеустрою та землевпорядних справ. Актуальність визначається вимогою до підвищення ефективності прийняття управлінських рішень та точною оцінкою матеріально-технічної бази.

Мета статті: аналіз існуючих комп'ютерних систем та програм, які можуть бути використані із застосуванням ГІС при проведенні землеустрою та земельного кадастру в Україні.

#### **1. Можливості застосування ГІС у землеустрої**

ГІС широко застосовується у землеустрої для створення та оновлення планово-картографічних матеріалів. За останні роки обсяг землевпорядної та кадастрової інформації суттєво збільшився, а до переліку її одержувачів додалися державні адміністрації, органи земельних ресурсів та сотні державних, комунальних та приватних землевпорядних організацій. Проте, відсутність належної уваги, фінансування та відповідних методик призвела до того, що стан крупномасштабних матеріалів є вкрай незадовільним, їх актуалізація на загальнодержавному рівні практично не проводилась. Тому проблема оновлення та інтеграції векторних та растрових даних на сьогоднішній день постала в Україні надзвичайно гостро.

Для успішного вирішення цих задач необхідне програмне забезпечення, що дозволяє на основі ГІС створити єдине інформаційне середовище, що включає в себе як стандартні функції ГІС, так і технологічні, пов'язані із сучасними методами отримання даних (GPS) та їх представлення (клієнт-серверні та інтернет-технології).

Крім того, світовий досвід показує, що сучасні ГІС-технології незамінні у створенні та веденні системи державного земельного кадастру. Із створенням системи на всій території впроваджується єдине інформаційне середовище управління земельними ресурсами, інформаційне забезпечення ринку земель, оподаткування, реєстрація прав власності та взаємодія з іншими автоматизованими системами.

Важливою властивістю сучасних ГІС є те, що вони забезпечують розробку і аналіз значної кількості варіантів проектних рішень, створення рекомендаційних та управлінських карт на регіони, що дає можливість віднайти найоптимальніше еколого-економічне обґрунтування системи заходів щодо організації території і охорони земель новостворених агро-

структур, формування їх сталого землекористування, відтворення природних агроландшафтів, оперативного контролю використання земельних ресурсів, прогнозування можливих ерозійних процесів, створення протиерозійної організації території. Накопичення інформації про деградовані і малопродуктивні землі забезпечує оперативне обґрунтування їх консервації [2].

Отже, показники економічної ефективності створення автоматизованих технологій проектування характеризуються: ефективністю автоматизованих технологій як виду нової техніки, впливом на діяльність проектно-організацій, впливом на ефективність і якість проектних рішень.

Основними факторами, які обумовлюють економічну ефективність автоматизованих технологій у процесі проектування:

- зниження вартості проектно-кошторисних робіт за рахунок їх автоматизації;
- покращення проектних рішень у результаті застосування методів оптимізації, уніфікації, багатоваріантного проектування, комплексних математичних моделей.

До основних показників економічної ефективності застосування ГІС слід віднести:

- економію за рахунок зниження проектних робіт;
- економію за рахунок підвищення якості проектних рішень;
- річний економічний ефект;
- розрахунковий коефіцієнт загальної економічної ефективності ;
- термін окупності;
- чисельність умовно вивільнених проектувальників;
- підвищення продуктивності праці проектувальника;
- відносне скорочення термінів виконання проектних робіт;
- рівень автоматизації проектних робіт.

## **2. Склад робіт при розробці документації із землеустрою**

Як відомо, землеустрій – це сукупність соціально-економічних та екологічних заходів, спрямованих на регулювання земельних відносин та раціональну організацію території адміністративно-територіальних утворень, суб'єктів господарювання, що здійснюються під впливом суспільно-виробничих відносин і розвитку продуктивних сил [3].

Документація із землеустрою – це затверджені в установленому порядку текстові та графічні матеріали, якими регулюється використання та охорона земель державної, комунальної та приватної власності, а також матеріали обстеження і розвідування земель, авторського нагляду за виконанням проектів тощо.

Документація із землеустрою розробляється у вигляді програм, схем, проектів, спеціальних тематичних карт, атласів, технічної документації.

При складанні документації із землеустрою виконуються обстежувальні, вишукувальні, топографо-геодезичні, картографічні, проектні та інші роботи. Склад, зміст і правила оформлення документації із землеустрою регламентуються відповідною нормативно-технічною документацією з питань здійснення землеустрою. Порядок складання документації із землеустрою встановлюється залежно від мети, конкретних природно-економічних умов,

передбачених заходів тощо. Етапи розробки кожного виду документації із землеустрою різні. В цілому при складанні документації із землеустрою роботи можна виділити наступні види робіт:

- збирання, вивчення земельно-кадастрових та планово-картографічних матеріалів;
- підбір існуючої або створення топографічної основи на територію (у т.ч. цифрової);
- підготовка викопіювань з планово-картографічних матеріалів;
- складання списку власників земельних ділянок та землекористувачів;
- польове обстеження земельних ділянок з уточненням їх меж;
- складання планово-картографічних матеріалів території;
- структуризація території – формування зон, районів з урахуванням вимог нормативних документів та зонування території;
- геодезичне встановлення (відновлення) меж земельних ділянок;
- погодження меж земельних ділянок із суміжними власниками та землекористувачами;
- встановлення меж зон обмежень і обтяжень щодо використання земельних ділянок;
- визначення зон впливу різноманітних факторів;
- складання контурних відомостей території;
- складання експлікації земель за формами власності, власниками землі і землекористувачами та угіддями;
- створення обмінного файлу;
- формування та випуск проектної документації.

Практично всі ці роботи можна віднести до задач геоінформаційного (просторового) аналізу, оскільки їх виконання потребує врахування впливу факторів, які мають кількісні характеристики, просторову прив'язку та просторові відношення.

Виконання цих робіт передбачає наявність у геоінформаційних систем таких функціональних можливостей:

- робота з космічними та аерознімками;
- конвертація даних із інших форматів;
- завантаження даних із електронних геодезичних приладів;
- створення векторних примітивів цифрових карт шляхом прямого введення координат;
- перетворення координатних систем, картографічних проекцій і масштабів;
- обробка результатів геодезичних вимірювань;
- формування таблиць баз даних про об'єкти карти;
- різні методи просторового аналізу (за атрибутивними даними, за просторовими даними та ін.);
- створення технічної документації щодо землеустрою;
- робота з обмінними файлами кадастрових даних у форматах IN4 та XML;
- автоматичне формування звітів та пояснювальних записок;
- робота з обмінними файлами кадастрових даних у форматі IN4 [4].

### **3. Характеристика програмних засобів, що можуть бути застосовані при розробці документації із землеустрою**

Аналіз функцій, наведених у попередньому розділі, показує, що для виконання землепорядних робіт у проектних організаціях можуть бути використані «Digitals», «Геопроект», «Інвент-Град», ГІС «Карта» та інші.

Розглянемо більш детально вищенаведені ГІС.

#### **1. Програма «Digitals»**

Виробник: НПП «Геосистема»

Призначення: Програма призначена для створення/оновлення топографічних і спеціальних карт, видання карт міського кадастру і землеустрою, рішення інженерних і прикладних завдань.

Структура і вартість системи: система містить базове картографічне ядро, що забезпечує функції редагування і друку цифрових карт, запитів і звітів, читання і запису карт в різних форматах, включає модуль для розпаювання земельних ділянок і підготовки документації. Digitals Professional включає додатково функції векторизації карт і поодиноких знімків.

- Внутрішні формати графічних даних: DMF, TIFF
- Внутрішні формати баз даних: DMF
- Експорт і імпорт графічних даних: DXF, MID/MIF, SHP, DGN, TXF, TIF, BMP, JPG
- Експорт і імпорт баз даних: DBF
- Обмін даними з іншими програмними продуктами: AutoCAD, MapInfo, ArcView, MicroStation, ГІС «Карта»
- Має можливість взаємодії з іншими програмними продуктами: Microsoft Word/Excel
- Поєднує можливості створення цифрових карт для ГІС і підготовку топографічних карт до видання; містить шари, що настроюються, атрибути об'єктів, умовні знаки і систему шаблонів. Має можливість доповнення модулями стереообробки. В новій версії пакету є можливість запису файлів в новому форматі кадастрового файла In-5 . Для складення даного файлу запроваджено шаблон XMLNormal.dmf

#### **2. «Геопроект»**

Виробник: Компанія «Укргеопроект»

Призначення: Обробка геодезичних вимірів, формування електронних карт місцевості, адміністрування і моніторинг електронних карт, облік просторової і атрибутивної інформації про об'єкти, вивід на друк картографічної і різноманітної звітної інформації.

Можливості:

- Створення цифрових векторних планів і карт.
- Розрахунок основних видів ходів теодолітів.
- Трансформація координат пунктів і об'єктів.
- Інтерполяція горизонталей.
- Імпорт даних із широкого спектру форматів зовнішніх даних, а також з електронних тахеометрів.
- Потужний генератор звітів із вбудованою мовою програмування.

- Набір шаблонів, що гнучко настроюються, вже входить в комплект постачання продукту.
- Робота з обмінними файлами кадастрових даних у форматі IN4.
- Можливість розширення програми, використовуючи API-функції, створення модулів будь-якою мовою програмування і підключення їх за допомогою бібліотек DLL та ін.

### **3. Програма «Інвент-Град»**

Виробник: Компанія СНПП «ИТЕС»

Призначення: Автоматизована система ІНВЕНТ-ГРАД призначена для обробки результатів польових топографо-геодезичних і кадастрових робіт, що виконуються при інвентаризації земель. Система також може бути використана як кадастрова система населеного пункту або адміністративного району.

Можливості системи ІНВЕНТ-ГРАД:

- забезпечує користувачу максимальну продуктивність, дозволяючи швидко і якісно вирішувати поставлені задачі;
- графічний інтерфейс, повністю відповідний прийнятим стандартам, забезпечує інтуїтивне розуміння системи і допомагає швидко освоїти її основні функції;
- всі компоненти проекту представлені в єдиній інтегрованій базі даних. Будь-яка інформація проекту легко доступна і може бути змінена;
- введення і редагування даних виконується в електронних таблицях, форма яких максимально наближена до традиційних форм і може налаштовуватися на введення певної інформації. Введення і редагування даних супроводжується семантичним і синтаксичним контролем інформації, що вводиться;
- використання єдиного каталогу координат пунктів проекту забезпечує автоматичний зв'язок між різними мережами, розглядаючи геодезичне обґрунтування проекту як єдине ціле. Наприклад, відмітки, одержані в результаті зрівнювання мережі нівеляції, можуть бути використані при попередній обробці кутових і лінійних вимірювань геодезичного обґрунтування;
- для пошуку грубих помилок початкових даних розроблена спеціальна система попередньої діагностики і дворівнева система апробації мережі, що дозволяє оцінювати відносні помилки ходів, кутова і лінійна нев'язність в довільно заданих полігонах;
- обробка топографічних зйомок виконується з урахуванням типів і метрологічних характеристик приладів. Передбачена обробка пікетів, одержаних з різних станцій топографічної зйомки, шляхом усереднювання їх координат і висновку для контролю відхилень координат від середніх значень. Виконується автоматичний перерахунок координат пікетів станцій топографічної зйомки при виявленні системою змін координат точок знімального обґрунтування.

### **4. Проект КБ «ПАНОРАМА»**

Проект КБ "ПАНОРАМА" – це набір геоінформаційних технологій, що включає в себе професійну ГІС "Карта", професійний векторизатор електронних карт "Панорама-Редактор", додаток ГІС «Сервер» , призначений для забезпечення видаленого доступу до

картографічних даних, універсальний засіб розробки геопорталів різного призначення "GIS WebServer", інструментальні засоби розробки ГІС додатків для різних платформ GIS ToolKit, муніципальну ГІС "Земля і Нерухомість", систему обліку об'єктів нерухомості "ГІС "Нерухомість", систему для автоматизації управління сільськогосподарським підприємством у галузі рослинництва ГІС "Панорама АГРО", конвертори для обміну даними з іншими ГІС (DXF/DBF, MIF/MID, Shape, GML, S57/S52, MP, IN4/XML та ін.), а також спеціалізовані додатки (Internet, сільське господарство, диспетчерські системи, зв'язок, навігація, екологічний моніторинг та інше).

Програмне забезпечення. Професійна ГІС «Карта» – основний модуль проекту «ПАНОРАМА». Це універсальна геоінформаційна система, яка має засоби створення та редагування електронних карт, виконання різноманітних змін та розрахунків, оверлейних операцій, побудови 3D моделей, обробки растрових даних, засоби підготовки графічних документів в електронному та друкованому вигляді, а також інструментальні засоби для роботи з базами даних.

Розвинені засоби редагування векторних та растрових карт місцевості та нанесення додаткової графічної інформації на карту. Підтримка декількох десятків різноманітних проєкцій карт та систем координат, включаючи системи 42 року, ПЗ-90, WGS-84 та інші. Підтримка усього масштабного ряду – від поверхового плану до космонавігаційної карти Землі.

#### **4. Принципи роботи з програмними засобами**

Сучасні ГІС у своєму арсеналі мають потужні програмні засоби та вирішують багато задач. Для кожного виду землевпорядних робіт можливе групування задач з використанням ГІС.

На думку авторів, задачі можна групувати за такими ознаками:

- одержання польових геодезичних даних;
- обробка польових журналів;
- створення планово-картографічних матеріалів;
- створення технічної документації;
- проведення економічних розрахунків.

Далі для кожного етапу коротко розглядаються основні зміст, результати та методи застосування ГІС.

Як правило, сучасні польові роботи проводяться за допомогою геодезичних електронних приладів. Обробка польових вимірів, окрім спеціалізованих комп'ютерних програм, які, як правило, входять в комплект поставки електронних приладів, можуть проводитись за допомогою таких ГІС, як «Digitals», «Геопроект», «ИНВЕНТ-ГРАД», ГІС «Карта» [5].

Далі більш детально розглядається вирішення цього завдання за допомогою пакету «Геопроект».

Під час проведення польових робіт був прокладений замкнений теодолітний хід, який має дві тверді точки 1, 7. Виміряні горизонтальні кути та відстані між точками ходу. Для обчислення ходу необхідно на панелі інструментів включити модуль розрахунку теодолітних

ходів. Внести вихідні дані, внести дані, одержані при теодолітній зйомці. Після цього необхідно провести розрахунок сітки та виконати перенесення на карту. При виконанні цих операцій буде створена відомість обчислень та виконане зрівнювання. Результати проведення обчислень наведені на рис. 1.

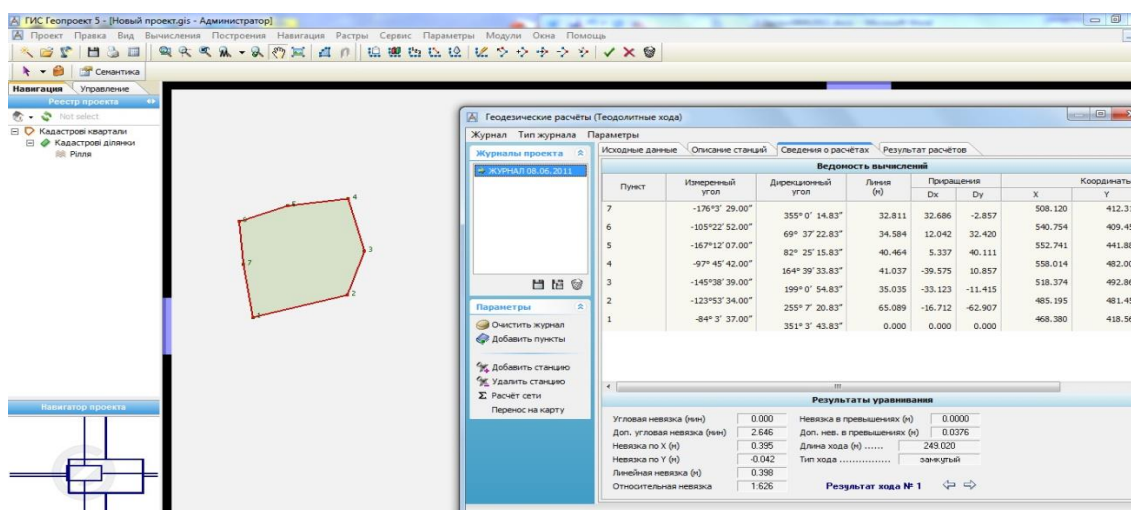


Рис. 1 – Результати проведення обчислень у «Геопроект»

У результаті одержано набір документів та креслення в робочому полі проекту.

Широкі можливості мають ГІС при формуванні технічної документації. Сучасні комплекси ГІС мають можливість надавати вихідні матеріали у файлах із розширенням \*.gbd, \*.In4, що дає можливість використання їх в інших ГІС, зокрема, «Digitals», «Геопроект», ГІС «Карта» та інші [12].

Наприклад, результати зйомки ділянки, оброблені в «Digitals» і збережені у файлі з розширенням \*.gbd, мають вигляд, зображений на рис. 2.

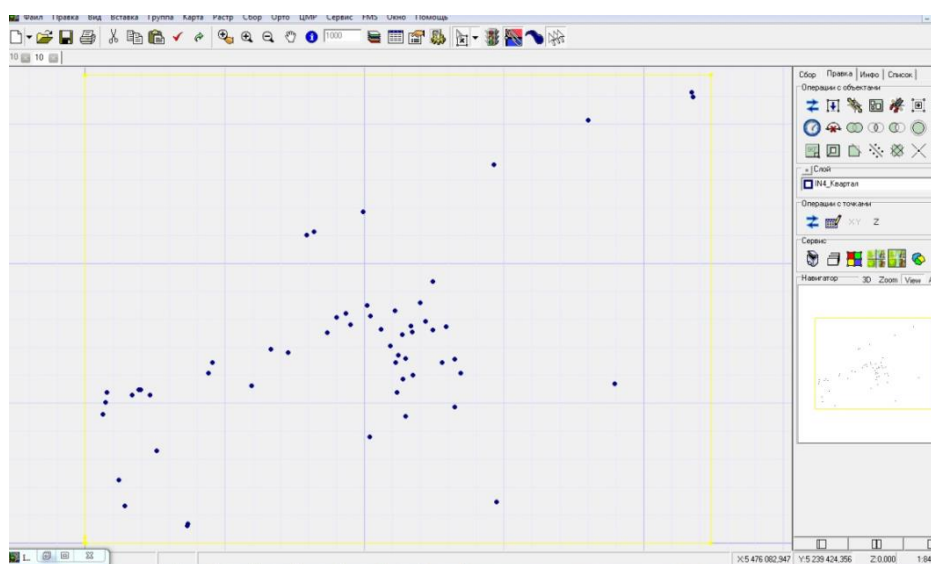


Рис. 2 – Файл із розширенням \*.gbd в «Digitals»

Результати зйомки ділянки, оброблені в «Digitals» і збережені у файлі з розширенням \*.In4, мають вигляд, зображений на рис. 3.

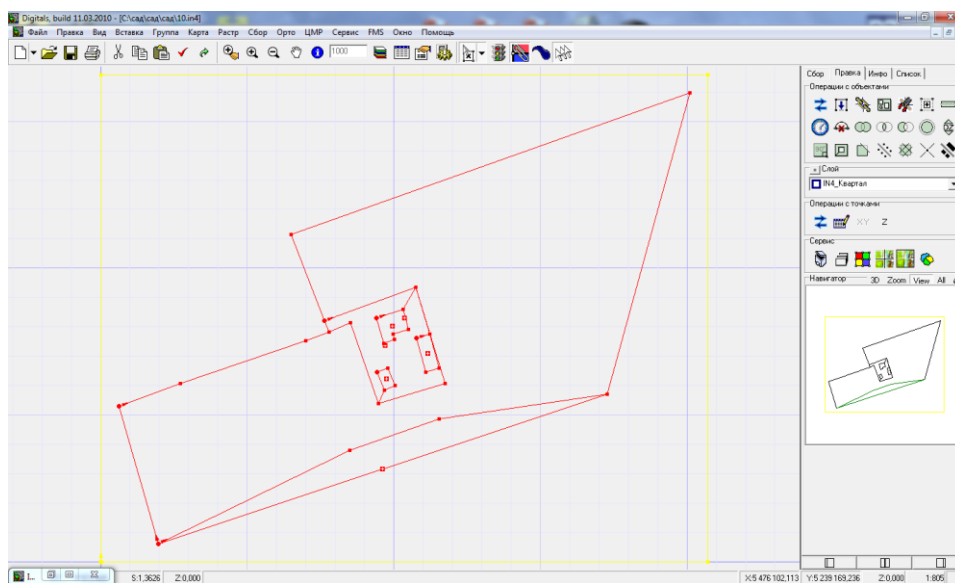


Рис. 3 – Файл із розширенням \*.In4, оброблений в «Digitals»

Подальше використання «Digitals» дає можливість автоматично створити кадастровий план (рис. 4).

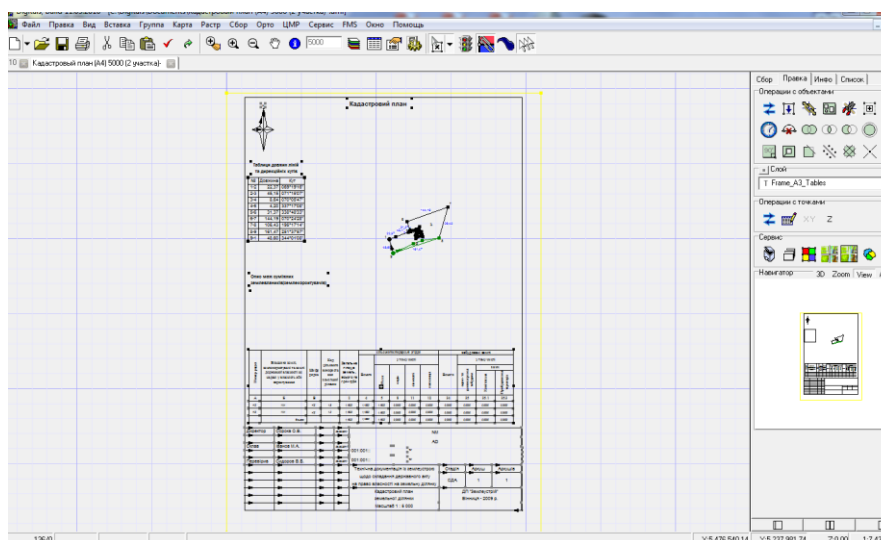


Рис. 4 – Кадастровий план земельної ділянки в «Digitals»

Крім цього, використання ГІС дає можливість одержання в автоматичному режимі каталогу координат та розрахунків геодезичних даних для перенесення проекту в натуру.

Слід відмітити, що програма «Геопроект» порівняно дешева, не потребує особливих вимог до ПК. На відміну від неї, програма ІНВЕНТ-ГРАД застосовувати при сучасних операційних системах проблематично. «Digitals» вимагає придбання повного пакету програм.



Недоліком «Геопроект» є те, що даний пакет дає можливість урівняти теодолітні ходи, які мають недопустимі нев'язки, що вимагає великого досвіду та уваги виконавця.

Перевагою ГІС є те, що при створенні планово-картографічних матеріалів значно підвищується точність креслень, швидкість. Головне в тім, що електронні картографічні матеріали можливо використовувати необхідну кількість раз, розмножувати як повне креслення, так і фрагменти, проводити накладення одних креслень на інші. Цю задачу виконують всі вищезгадані ГІС.

Останнім часом все більше при проведенні землевпорядних робіт, зокрема, для створення планово-картографічного матеріалу, застосовуються матеріали космічної зйомки. Виходячи з цих задач, проводиться вдосконалення ГІС програм. Так, ГІС «Карта» та останні версії «Digitals» мають можливість за допомогою мережі Інтернет зв'язуватися із сервером Google Earth, що дає змогу накласти креслення на космічний знімок за заданими координатами та переглянути існуючу ситуацію.

При виборі ГІС для роботи з космічними та аерознімками необхідно, щоб програми працювали з растровими зображеннями. Крім того, необхідно, щоб вибрана програма мала можливість провести просторові прив'язки.

Проведений аналіз ГІС, які застосовуються в Україні, показав, що деякі програми не відповідають даним вимогам. Так, на нашу думку, програма «Геопроект» має недостатні функціональні можливості для роботи з растрами, з якими не проведена просторова прив'язка, що деякою мірою призводить до неможливості використання даної програми. Цей недолік має і програма «ІНВЕНТ-ГРАД». При роботі з растрами необхідно звернути увагу на можливість проведення імпорту та експорту даних з вибраної ГІС.

Створення технічної документації виконують ГІС, які розроблені в Україні. Непоганий набір шаблонів для виготовлення технічної документації мають такі програми, як «ГЕОПРОЕКТ», «Інвент-ГРАД» та «Digitals».

Як було сказано вище, описані ГІС мають можливість створювати обмінний файл In-4.

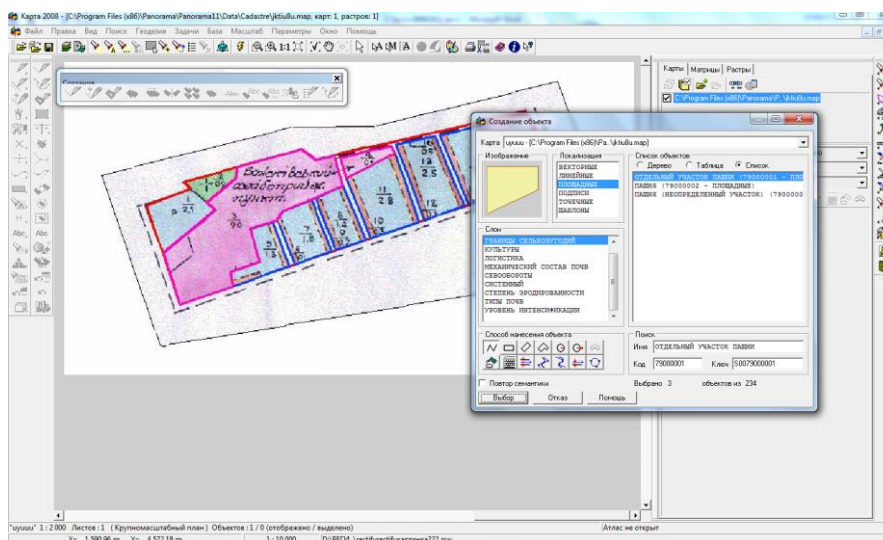


Рис. 5 – Фрагмент створення проекту землеустрою

На даний час на території України з'явився новий програмний продукт КБ «ПАНОРА-МА» – ГІС «Карта». Перевагою даної ГІС є великі можливості експорту як растрових, так і векторних зображень різних видів формату, зв'язок з базами даних, робота в динаміці, зв'язок з об'єктами, які перебувають в динаміці. Особлива цінність – це динамічна зміна баз даних, які розміщені на віддалених серверах.

### **Порівняльна характеристика програмних засобів**

Проведений аналіз ГІС, які застосовуються на сучасному етапі, показує неоднорідність робіт та вимог до їх. Деякі роботи згруповані та наведені в таблиці 1.

Таблиця 1 – Порівняльна характеристика програмних засобів

Роботи	Програмні засоби			ГІС «Карта»
	«Інвент-град»	«Геопроект»	«Digitals»	
Обробка результатів геодезичних вимірювань	+	+	+	+
Автоматичне відображення результатів зйомочних робіт на планово-картографічному матеріалі	+	+	+	+
Робота з аерознімками	–	–	+	+
Можливість роботи в 3D	–	–	+	+
Інтерполяція горизонталей	–	+	+	+
Моноблочність	+	+	–	–
Робота з бібліотеками	–	+	+	+
Вартість	3000	2800	5200	11000

За результатами аналізу можна зробити висновок про те, який програмний засіб краще використовувати при вирішенні землевпорядних робіт. При виборі ГІС необхідно провести аналіз насамперед вхідних даних. Наприклад, якщо будуть застосовані аерознімки, то краще використовувати «Digitals», тому що «Геопроект» не має просторової прив'язки. «Геопроект» краще застосовувати, якщо територія земельної ділянки не перевищує 5–10 га та зроблені геодезичні роботи електронними приладами. Це пов'язано з проблемами друку на форматах А1 та А2. Крім цього, як було сказано, в «Геопроекті» слабкий контроль ув'язки теодолітних ходів. Слабим місцем «Геопроекту» є відсутність команди «відміна вводу». Відсутність маніпулювання з панелями інструментів (якщо випадково закрити панель, то її не можна відновити). Програма «Інвент-Град» має самий точний математичний блок.

Таким чином, виходячи з вищесказаного, неможливо визначити найкращу ГІС. Але можна сказати, що на даному етапі розвитку країни все більша кількість землевпорядної документації складається за допомогою комп'ютерних програм та спеціалізованих геоінформаційних систем (ГІС).

### **Висновок**

Проаналізовані програмні засоби ГІС дають можливість швидко та ефективно вирішувати землевпорядні завдання, аналізувати поточний стан задокументованого

землекористування, виявляти раніше допущені недоліки та помилки, формувати масиви відомостей про земельні ділянки, формувати масиви відомостей про права на ділянки певних землекористувачів.

Слід відмітити, що до аналізу потрапили тільки ті програми та комплекси, які застосовуються в більшості проектних організацій з виконання землевпорядних робіт та можуть самостійно використовуватись для цілей землеустрою та земельного кадастру.

### **Список використаної літератури**

1. Романова, В.А. Соціально-економічна ефективність використання земельних ресурсів регіону [Текст]: автореф. дис. канд. екон. наук: 08.07.02 / Романова Вікторія Анатоліївна; Дніпропетр. держ. аграр. ун-т. – Д., 2005. – 20 с.
2. Учебная программа базового курса «Геоинформационные технологии ПАНОРАМА. ГИС карта-2008. Базовый курс» [Текст]. – Ногинск, 2010. – 45.с.
3. Закон України про землеустрій [Текст]: офіц. Текст – К.:Землеустрій, 2003.
4. ГИС “ГЕОПРОЕКТ” Географическая информационная система серии 5.хх [Текст]. – 2006.
5. О программе создания автоматизированной системы ведения государственного земельного кадастра [Текст]: постанова Кабинета Міністрів України від 2 грудня 1997 р. № 1355.

*Стаття надійшла до редакції 13.01.14 українською мовою*

### **© О.Е. Толчевская, Ю.Г. Коняев ГИС ТЕХНОЛОГИИ В ЗЕМЛЕУСТРОЙСТВЕ**

*Рассмотрены наиболее популярные программные продукты с использованием геоинформационных систем (ГИС), которые обеспечивают решение разнообразных задач в землеустройстве. Описаны основные функции, характеристики, возможности и принципы работы с программными средствами. На их основе приведён сравнительный анализ программных средств. Предложены наиболее доступные и интуитивно понятные программно-технические средства, которые лучше подходят для решения конкретных задач в землеустройстве, таких как нанесение участка на карту, конвертация данных в различные форматы, составление землеустроительной документации и др.*

### **© O.E. Tolchevska, Y.G. Konyayev GIS TECHNOLOGY IN LAND TENURE**

*Considered the most popular software products using geographic information systems (GIS), which provide solving problems in land management. We describe the main features, characteristics, features and principles of operation of the software. On this basis, given the comparative analysis software. Offered the most accessible and intuitive, software and hardware tools that are better suited for specific tasks in land management, such as application area on the map, converting the data into different formats, making land documents and others.*

УДК 005.94 + 004.9 +519.7

**О.Є. Стрижак**, канд. техн. наук

Інститут телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України, м. Київ

## **ІНСТРУМЕНТИ ІНФОРМАЦІЙНО-АНАЛІТИЧНОГО СУПРОВОДУ ПРОЦЕСІВ МОНІТОРИНГУ**

*У статті розглядаються питання щодо використання конструктивних властивостей теорії онтологій при проектуванні та побудові інформаційно-аналітичних систем на основі таксономій, як певного типу нормальних систем. Визначаються певні моделі таксономій та їх застосування при вирішенні завдань ІАС. Описуються механізми формування множини таксономій та ієрархій на основі певних властивостей концептів онтологій. Визначаються механізми вирішення задач вибору на основі використання альтернативних тавтологій і таксономічних моделей, які формуються на їх основі.*

**Ключові слова:** онтологія, тавтологія, таксономія, альтернатива.

### **Вступ**

Сучасні засоби супроводу процесів моніторингу станів певних об'єктно існуючих процесів навколишнього середовища використовують методи аналітичного оцінювання. Для цього визначають механізми та інструменти обробки відповідної інформації, яка містить різноманітні дані та описи процесів, що аналізуються. На сьогодні для вирішення завдань поточного моніторингу використовують програмно-інформаційні засоби інформаційно-аналітичних систем (ІАС). Відмітимо, що головним завданням будь-якої ІАС є отримання інформації – тобто управління інформаційними потоками, та її перетворення, обробка і аналіз – тобто управління інформаційними процесами [1]. Управління процесами обробки інформації у середовищі ІАС реалізується на основі використання певних ієрархій, які відображають властивості інформаційних процесів, що складають операційне середовище системи. Від оптимального визначення та динаміки формування ієрархій взаємодії компонентів операційного середовища ІАС певним чином залежить ефективність її використання. Тому дуже важливо мати певні інструменти, за допомогою яких можливо досить ефективно спроектувати та реалізувати механізми управління ієрархією, яка відображає взаємодію усіх компонентів ІАС.

### **Об'єкт досліджень**

Одним з таких інструментів може бути онтологічна модель [2, 3, 6], яка у своїй інформаційній основі має механізм динамічного формування та використання ієрархій у вигляді

певних таксономій [4]. Онтологія деякого операційного середовища в загальному випадку формально представляється впорядкованою трійкою:

$$O = \langle X, R, F \rangle, \tag{1}$$

де  $X, R, F$  – кінцеві множини відповідно:

$X$  – концептів (понять, термінів) предметної області (ПрО), на основі яких формується предметна складова операційного середовища ІАС;

$R$  – відношень та властивостей між ними (будемо вважати, що властивості є інтерпретацією відношень, тобто існує перетворення, яке кожному відношенню встановлює відповідність певної властивості);

$F$  – функцій інтерпретації (визначень)  $X$  та/або  $R$ , які складають функціональну частину операційного середовища ІАС.

Тоді певна таксономія може бути створена певною непустою множиною відношень упорядкованості  $R_t$ , де  $R_t \subset R$ . |  $R_t \neq \emptyset$

$$R_t = \{t_1, t_2, \dots, t_i, \dots, t_n \mid t_i = \prod_1^n x_k * x_m \mid x \in X, k \neq m, k \leq n, m \leq n\} \tag{2}$$

Причому множина  $\prod_1^n x_k * x_m$  має властивість асоціативності [5, 6].

Тоді під таксономією у контексті застосування множин онтологій у процесі створення ІАС можливо розглядати певну множину концептів онтології, які завжди мають бінарне не комутативне відношення, яке можливо інтерпретувати як властивість **бути елементом певного класу**. Причому з цих онтологій також можливо утворення упорядкованої множини, елементи якої також мають бінарну не комутативну властивість **бути елементом певної онтології**.

У формалізованому вигляді це буде виглядати наступним чином:

$$\begin{aligned} & (\exists (x_i \times x_j = t_k) \mid \forall x_{1..n} \in X \rightarrow \exists t_{1..m} \in R_t) \Rightarrow \\ & \Rightarrow (\exists O_l \subset \prod_1^k O_l \mid O_i \times O_j = t_k) \end{aligned} \tag{3}$$

Це твердження можливо представити у наступній інтерпретації – множини тавтологій і тверджень створюють певні категорії [5], властивості концептів, які створюють ці тавтології і твердження, також створюють категорію. Онтології, які створюються цими концептами та властивостями, також створюють певну категорію. І між цими категоріями завжди існує морфізм (рис. 1) [5].

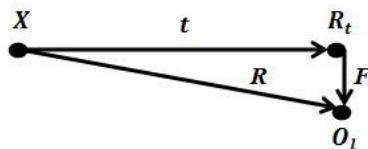


Рис. 1

Комутативна діаграма, яка представлена на рис.1, показує, що усі концепти створюють за своїми властивостями множину певних класів. Усі твердження, які можуть бути сформувані з концептів, що створюють клас на основі певної означеної властивості, повинні бути тавтологіями [6], і на їх основі створюється певна множина онтологій, усі елементи якої мають властивість – **бути елементом певної онтології**.

На основі тавтологій, як представників класів, які створюються концептами онтологій операційного середовища ІАС, може бути створена система класифікації, яка, як і будь-яка система, повинна представляти певну ієрархію, кожен з елементів якої, у свою чергу, має внутрішню структуру (елементи внутрішньої структури та їх зв'язки) і взаємодіє із зовнішнім середовищем. Якщо перекласти це мовою класифікацій, то внутрішня структура – це угруповання об'єктів класифікації, зв'язки внутрішньої структури – це взаємне співвідношення угруповань об'єктів класифікації, а взаємодія із зовнішнім середовищем – це взаємозв'язки між класифікаційними угрупованнями різних концептів. У взаємозв'язках же є два аспекти взаємозв'язку угруповань:

- структурний – входження об'єктів класифікації до операційного середовища ІАС на основі бінарних відношень та властивостей;
- лексико-семантичний – формування певних множин тверджень-висловлювань, які є тавтологіями відносно проблем, які вирішуються в операційному середовищі ІАС.

### **Функціональні компоненти аналітичного супроводу**

Практично завдання створення системи класифікації в ІАС зводиться до поєднання класифікацій на структурному та лексико-семантичному рівнях:

1) при взаємодії з однорідними класифікаціями найчастіше просто вихідна класифікація ІАС розширюється:

- додаються нові показники, у вигляді тавтологій, в існуючі розділи, підрозділи і т.д. з присвоєнням нових кодів згідно із системою кодування, прийнятою в ІАС ;
- додаються нові розділи, підрозділи і т.д., також у вигляді тавтологій;

2) при взаємодії з різнорідними класифікаторами, які базуються на інших словниках, показники мають інший сенс і т.п., необхідно розглядати кожен окремий елемент класифікацій.

Тобто такі класифікатори можливо розглядати як упорядковані множини тавтологій, на основі яких можуть бути створені таксономії операційного середовища ІАС.

Будь-яка ІАС забезпечує вирішення певного набору задач проблемних ситуацій з набором заданих цілей, які можуть бути представлені у вигляді кортежу [7]:

$T = \langle K, K^*, Aim \rangle$ ,  $K$  – модель ПрО, яка відображає проблемну ситуацію;

$K^*$  – кортеж станів ПрО, які актуалізуються на кожному кроці досягнення цілей;

$K^* = \langle K_0, K_1, \dots, K_i, \dots, K_n \rangle$ ,  $Aim = F \times R$  – набір цілей.

Тоді процес вирішення задачі може являти собою певну послідовність упорядкованих тавтологій, кожна з яких наслідуює усі властивості концептів, які складають тавтологію, що їй

безпосередньо передус. У введеній нами формалізації цей процес можливо представити у наступному вигляді:

$$I = \langle K, K^*, F \times R, X, R_b, F, A, (X \times R_i \times R_s, R^+ \times R_i) \rangle, \quad (4)$$

$R_s$  – множина обмежень;  $R_s = R^+ \times R$ ;  $R_s$  – може бути розглянуто як замикання відношень  $R_i$ ;  $R^+$  – множина властивостей, які можуть характеризувати елементи множини таксономій –  $R_i$ .

Тоді множину станів вирішення задачі  $I$  можливо розглядати як послідовність упорядкованих тавтологій, які визначають множину можливих таксономій як функціональних компонентів операційного середовища ІАС.

Типова ІАС може бути створена на основі певного набору тавтологій, які формуються на основі класів, що створено ієрархічною структурою концептів-об'єктів. Ці тавтології створюють класи, які і визначають тематику завдань ІАС. Кожен концепт  $x$  множини  $X$  згідно з визначенням онтології (1) має певний набір  $F$  – функцій інтерпретації (визначень)  $X$ , які складають функціональну частину операційного середовища ІАС (визначення (1–4)). Тоді ІАС може бути представлена у вигляді системи {дія → результати}. Вказаний тип системи може бути визначено як **натуральний** –  $S_N$  [8, 9]. Згідно з теорією натуральних систем, яку викладено у роботах А.В. Малишевського [8], натуральна система може бути представлена за умови існування непустої множини можливих наборів дій –  $F$ . Множину  $F$  далі будемо розглядати у якості кінцевої множини функцій інтерпретації, яка задана на певній предметній області (ПрО). Предметну область безпосередньо складають певні концепти та їх властивості.

Концепти складають множину  $X = \{X_1, X_2, \dots, X_i, \dots, X_n\}$ , а множина властивостей  $R$  утворюється множиною декартових добутоків множини  $X$  самої на себе –  $R = \prod_i^n X_i$ . Тоді множина  $F$  може бути утворена декартовим добутком множин  $X$  і  $R$  –  $F = X \times R$  [7].

Тоді завжди можливо знайти певний набір дій  $F_k \subset F$ , таких, що завжди існує хоча б одне непусте  $f^i F_k$  таке, що існує також набір концептів  $X_j$ , для яких  $f^i(x_1, \dots, x_n) \in F_k$ . Тобто для елементів множини концептів  $X$  завжди знайдеться відповідний непустий набір дій із множини  $F$ . Згідно з [8] такі множини можуть бути або замкнуті, або відкриті. Надалі ми будемо розглядати відкриті множини дій, тому що для кожної множини властивостей  $R$  у натуральній системі можливе визначення новітнього концепту  $x_{n+1}$  для множини  $X$ , такого, що існує додаткова властивість  $r'$ , яка забезпечує виконання правила  $f^i(x_1, \dots, x_n, x_{n+1}) \in F_k$ . Такий набір дій ми будемо згідно з визначенням у роботах [8, 9] визначати як **узгоджений**.

Також можливо зазначити, що усі непусті декартові добутки множин  $X$  і  $R$  утворюють певну підмножину тавтологій  $F_i \subset F$ . Із цього слідує, що на множині дій  $F$  можливо задати певну множину висловлювань, яка також утворює натуральну систему. Таким чином, стає очевидним, що будь-яка онтологія, яка утворює натуральну систему, може бути утворена на основі певної системи висловлювань.

Конструктивним у визначенні натуральної системи є той факт, що усі наведені множини утворюють певну онтологію виду (1) –  $O = \langle X, R, F \rangle$ , множина інтерпретацій якої  $F$

визначає операційне середовище для кожного користувача ІАС. Онтологія також задає первинні умови –  $\bar{R} \subset R | R = X \times X$  існування систем такого типу. Тобто завжди можливо визначити умови  $\bar{R}$ , коли будь-яка онтологія буде складати натуральну систему. Назвемо таку властивість онтологій **пластичним перетворенням**. Властивість пластичності дозволяє стверджувати наступне – для довільної натуральної системи завжди існує непуста множина тавтологій, яка може бути поширена новітньою тавтологією. Таким чином, можливо при використанні певних онтологій виконувати підстановку множин висловлювань, які задаються на множині концептів онтології і які є тавтологіями. Це твердження можна перефразувати наступним чином – якщо певна онтологія є натуральною системою, то завжди є певна непуста множина висловлювань, яка утворюється концептами цієї онтології, за умови, що ці концепти пов'язані між собою бінарними відношеннями виду:

$$r^m(x_i^j, x_i^k | x_i^j \in X_i; x_i^k \in X_i; r^m \in R \neq \emptyset)$$

Як можна побачити, ми побудували певну нормальну систему у вигляді онтології деякої предметної області (ПрО). Слід відзначити, що комп'ютерна онтологія предметної області, як визначається у роботах [2, 3, 10–18], – це:

- ієрархічна структура скінченної множини понять, що описують задану предметну область;
- структуру онтології можливо представити у вигляді орієнтовного дводольного графу (онтографу), вершинами якого є концепти онтології (поняття ПрО), а дугами – бінарні властивості концептів (семантичні відношення між поняттями ПрО);
- поняття і відношення інтерпретуються відповідно до загальнозначущих функцій інтерпретації, взятих з електронних джерел знань заданої ПрО;
- визначення концептів і їх властивостей (понять і відношень) виконується на основі тавтологій (аксіом) і умов-обмежень їх області дії (правил використання/застосування концептів на основі їх властивостей);
- завжди існує формальна система, за правилами нотації якої можливо описати правила формування онтографу;
- функції інтерпретації та аксіоми можуть бути описані за правилами нотації формальної теорії.

Онтологічні засоби ІАС забезпечують обробку певних суджень, висловлювань та тверджень стосовно розвитку процесів, що розглядаються на різних етапах прийняття рішень. Тому визначення ІАС як нормальної системи дозволяє формувати її операційне середовище у вигляді системи підтримки прийняття рішень (СППР). Самі судження та твердження у собі несуть об'єктні представлення предметних областей, які описують конкретні процеси і можуть бути представлені певними інформаційними моделями [2, 4, 10–18]. Кожна така модель на практиці відображає деяку сукупність знань, яка описує властивості процесів, що розглядаються на етапах прийняття рішень. Тобто прийняття рішень за певними вимогами залежить від складності відображення і сприйняття властивостей та функціональності складових



об'єктів та процесів. Відображення процесів у вигляді моделі деякого типу потребує забезпечення спільної обробки взаємопов'язаної різнопланової інформації, її інтеграції й взаємодії з іншими різними за призначенням системами [2]. І кожна така модель, і композиція моделей може бути представлена та визначена певною таксономією [4].

Тому найбільш адекватно представлення інформаційних моделей в середовищі СППР у вигляді певної множини онтологій [3, 10–18]. Кожна онтологія містить інформаційні описи, на основі об'єктно-орієнтованої процедури формалізації, а також описи інтерпретаційних функцій, які управляють на основі онтології процесом поставки інформаційного ресурсу на усіх етапах прийняття рішень.

В основі онтологічної методології лежить об'єктно-орієнтований підхід, при якому предметна прикладна область представляється у вигляді сукупності об'єктів, які взаємодіють між собою за допомогою семантичного зв'язування висловлювань, тверджень та суджень [4, 6, 7].

Під об'єктом розуміється деяка сутність (реальна або абстрактна), що володіє станом, поведінкою і індивідуальністю.

- Стан об'єкта характеризується переліком всіх його можливих властивостей – структурою і значеннями кожної з цих властивостей.

- Поведінка об'єкта (або його функціональність) характеризує те, як об'єкт взаємодіє з іншими об'єктами або піддається взаємодії інших об'єктів, проявляючи свою індивідуальність. Поведінка об'єкта реалізується у вигляді функцій, які називають методами. При цьому структура об'єкта доступна тільки через його методи, які в сукупності формують інтерфейс об'єкта.

- Індивідуальність об'єкта характеризують такі властивості об'єкта, які відрізняють його від всіх інших об'єктів.

Для формування адекватного операційного середовища СППР особливий інтерес представляють два типи ієрархічних співвідношень об'єктів:

- зв'язки – позначають рівноправні відношення між об'єктами; об'єкт співробітничав з іншими об'єктами через зв'язки, що з'єднують його з ними;

- агрегація – агрегація описує відношення цілого і частини, що наводять до відповідної таксономії (ієрархії об'єктів).

За процедурою побудови онтології на основі її певної функціональної повноти і ступеня формальності виділимо наступні види онтологій: первинна, кінцева і множина проміжних онтологій [12–18].

Процес формування операційного середовища СППР вимагає визначення тематичної онтології ( $R \neq \emptyset$ ;  $F \neq \emptyset$ ), множина концептів та концептуальних відношень у якої максимально повні, а до функцій інтерпретації додаються аксіоми, визначення та обмеження за тематикою СППР. Тематична онтологія є формальним представленням концептуальних знань про предметну область і може бути представлена певною інформаційною системою. Процес побудови такої інформаційної системи можна представити композицією певних висловлювань, суджень, тверджень, термінів-понять і відношеннями між ними, а його результат – основою для

побудови складової частини наукової теорії – онтологічної бази знань у заданій предметній області, описаній в декларативній формі [11–14].

При цьому опис всіх компонент представлений деякою формальною мовою, яка може інтерпретуватися деякою процедурою (алгоритмом). Розширимо визначення онтології (1) до певної формальної моделі тематичної онтології, яку будемо описувати четвіркою:

$$O = \langle X, R, F, A(D, R_s) \rangle \quad (5)$$

де  $X$  – множина концептів;  $X = \{X_1, X_2, \dots, X_i, \dots, X_n\}$ , ( $i = \overline{1, n}$ ,  $n = \text{Card } X$ ), кінцева множина концептів (понять) заданої в операційному середовищі СППР;

$R = \{R_1, R_2, \dots, R_k, \dots, R_r_m\}$ ,  $R: X_1 \times X_2 \times \dots \times X_n$ ,  $k = \overline{1, m}$ ,  $m = \text{Card } R$  – кінцева множина семантично значущих властивостей (відносин) між концептами ПрО. Вони визначають тип взаємодії між поняттями. У загальному випадку, ставлення поділяють на загальнозначущі (з яких виділяють, як правило, ставлення часткового порядку) і конкретні відносини заданої ПрО;

$F: X \times R$  – кінцева множина функцій інтерпретації, заданих на концептах і/або відносинах. Окремим випадком завдання безлічі функцій інтерпретації  $F$  є глосарій, складений для безлічі понять  $X$ . Визначення поняття  $X_i$  в загальному випадку, включає підмножину понять  $\{x_{i-1}\}$ , через які визначаються  $X_i$ , ставлення, що зв'язує  $X_i$  з  $\{x_{i-1}\}$ , і множина атрибутів (ознак), присутніх  $X_i | i =$ .

$A$  – скінченна множина аксіом, які використовуються для запису завжди істинних висловлювань (визначень і обмежень) – тавтологій в термінах тематики ПрО;

$D$  – множина додаткових визначень концептів (понять) в термінах тематики ПрО;

$R_s$  – множина обмежень, що визначають певні властивості концептів ПрО і можуть трактуватися як критерії, які визначають область дії понятійних структур (концепти, поняття, висловлювання, твердження) визначеної тематики –  $R_s: R_s \subset R$ .

### Методика формування операційного середовища

Надалі при формуванні онтологій у операційному середовищі СППР будемо визначати множину обмежень  $R_s$  як таку, що дозволяє виділити (вибрати) з множини концептів  $X$  підмножину  $A$ , таку, що її можливо розбити на пересічні підмножини  $A_i = \{a_{i1}, \dots, a_{in}\}$ , які надалі ми будемо називати множиною альтернатив.  $\prod_{i=1}^n A_i \neq \emptyset$  | де  $\emptyset$  – пуста множина). Усі елементи  $a_{in}$  кожної множини  $A_i$  повинні мати властивість певної переваги, що дає на етапах вирішення задач СППР здійснити вибір необхідної тавтології. Тобто у задачах прийняття рішень множина обмежень дозволяє побудувати множину альтернативних концептів на основі визначення таксономічної структури онтології.

Одним з елементів задачі прийняття рішень є критерій, відповідно до якого особа, що приймає рішення (ОПР), вибирає ту або іншу альтернативу із множини можливих альтернатив. В онтологічному представленні критерії становлять певну підмножину множини властивостей  $R$ . Таксономічна структура онтології забезпечує виділення певної множини альтернатив, які визначають деякі задачі вибору [16, 21, 22]. Математично такі задачі описуються

набором альтернатив, для кожної з яких задаються значення певних показників (критеріїв). Розв'язком такої задачі вважається альтернатива, яка має найкращі (за сукупністю) значення критеріїв, які в загальному випадку відрізняються різною важливістю. Властивості об'єктів онтології можуть бути використані як критерії, відповідно до яких СППР може вибирати ту або іншу альтернативу із множини можливих альтернатив на усіх етапах вирішення задачі. Кожен з елементів онтології, яка використовується у задачі прийняття рішень, має певний набір критеріїв (властивостей) [14, 16–22].

Зазвичай в процесі ухвалення рішення виділяють три етапи: пошук інформації і постановка задачі, побудова множини альтернатив, вибір найкращої альтернативи [20–22]. На першому етапі збирається вся доступна на момент ухвалення рішення інформація: фактичні дані, думки експертів, при необхідності проводяться певні аналітичні дослідження, визначаються існуючі погляди на проблему, що впливають на її рішення, формуються критерії вибору рішення й т.д. Другий етап пов'язаний з визначенням таких варіантів рішення, які можуть бути реалізовані на практиці. І вже третій етап містить у собі процес порівняння альтернатив і визначення найкращого варіанта (або варіантів) рішення. Із трьох перерахованих етапів процесу ухвалення рішення найбільша увага традиційно приділяється останньому етапу, на якому і застосовується створена система.

Деяка множина критеріїв може представлятися у вигляді певної оцінної функції, що приймає значення на деякій множині оцінок  $O$ , або у вигляді правила, за яким вибирається "найкраща" альтернатива. При цьому "найкраща" альтернатива відповідає максимальному або мінімальному значенню оцінної функції залежно від змісту критерію. Якщо  $A = \{a_1, \dots, a_n\}$  – множина альтернатив або рішень, то множина значень критеріїв  $C$ , що відповідають певним властивостям об'єктів із  $A$ , може бути задано як певна чисельна функція виду –  $C:A \rightarrow O$  [7–9, 16–18].

Для двох альтернатив  $a_i$  і  $a_k$  можна задати відношення строгої переваги, що позначається  $a_i >_A a_k$  і означає, що із двох альтернатив  $a_i$  та  $a_k$  СППР віддає перевагу альтернативі  $a_i$ . Зазвичай якщо задано оцінну функцію  $O$ , то відношення переваги  $a_i >_A a_k$  породжує відношення переваги  $C(a_i) >_c C(a_k)$ , де  $C$  – множина можливих значень критерію  $C(a_i)$ . Далі будемо вважати, що для будь-якої множини критеріїв  $C$  можливо знайти відповідне число на множині дійсних чисел  $R$ . Тоді відношення переваг  $C(a_i) >_c C(a_k)$ , еквівалентно умові  $C(a_i) \geq C(a_k)$ . Необхідно враховувати, що для тих самих понять із множини  $A$  функція  $C(a_i)$  може приймати різну множину значень.

У більшості практичних задач ухвалення рішення альтернативи оцінюються не за одним, а за декількома критеріями. Так, при економічній оцінці проекту критеріями служать економічна ефективність, вартість, реалізація. Досить складно назвати практичну область, прийняття рішень у рамках якої обмежувалося б тільки одним критерієм. Наявність декількох критеріїв робить задачу прийняття рішень багатокритеріальною. У багатокритеріальній задачі є множина з  $m > 1$  критеріїв  $C_1, \dots, C_m$ , таких, що  $C_i: A \rightarrow O_i$ . Тут  $O_i$  – множина значень функції  $C_i$ . Іноді зручно розглядати кілька критеріїв у вигляді одного векторного критерію або векторної оцінки  $C(a) = (C_1(a), \dots, C_m(a))$  альтернативи  $a \in A$ .

Таким чином, задача багатокритеріального прийняття рішення визначається множиною можливих рішень  $A$ , векторним критерієм та відношенням переваг на множині  $A$ . Ціль рішення задачі – пошук «оптимальної» в деякому сенсі альтернативи  $a^* \in A$  або групи альтернатив з урахуванням відношення переваг на основі векторного критерію, який визначається в середовищі СППР.

Все це дозволяє зробити наступний висновок – включення онтологічних моделей до середовища СППР дозволяє досить ефективно застосовувати метод аналізу ієрархій, як систематичну процедуру для ієрархічного представлення елементів, що визначають суть будь-якої проблеми [14, 15–18, 22]. Онтологічне моделювання забезпечує декомпозицію судження-проблеми на усе більш прості складові частини – тавтології й подальшу обробку послідовності суджень особи, що ухвалює рішення на основі використання властивості певної переваги. У результаті може бути виражений відносний ступінь (інтенсивність) взаємодії елементів в ієрархії. Ці судження потім виражаються чисельно. Метод аналізу ієрархії включає процедури синтезу множинних суджень, одержання пріоритетності критеріїв і знаходження альтернативних розв'язків. Корисно відзначити, що отримані в такий спосіб значення є оцінками в шкалі відносин і відповідають так званим жорстким оцінкам.

Розв'язок проблеми є процесом поетапного встановлення пріоритетів. На першому етапі виявляються найбільш важливі елементи проблеми, на другому – найкращий спосіб перевірки спостережень, випробування й оцінки елементів; наступним етапом може бути вироблення способу застосування рішення й оцінка його якості. Увесь процес зазнає перевірки й переосмислювання доти, доки не буде впевненості, що процес охопив усі важливі характеристики, необхідні для представлення й розв'язку проблеми. Процес може бути проведений над послідовністю ієрархій: у цьому випадку результати, отримані в одній з них, використовуються в якості вхідних даних при вивченні наступної. Тобто вказані інструменти вирішення задачі вибору забезпечують певну систематизацію усіх етапів процесу розв'язку такого багатоступінчастого завдання.

### **Висновки**

Як було визначено вище (визначення задачі (4)) – процес вирішення задачі може являти собою певну послідовність упорядкованих тавтологій, кожна з яких наслідуює усі властивості концептів, які складають тавтологію, що їй безпосередньо передуює, і які можливо розглядати у вигляді певної послідовності, що визначає множину можливих таксономій – ієрархій, як функціональних компонентів операційного середовища ІАС. Тоді конструктивність використання визначених вище інструментів моніторингового супроводу залежить безпосередньо від рівня знань експертів, які й наповнюють певним змістом концепти таксономій.

Нарешті, якщо допустити, що знання, інтуїція й суб'єктивні оцінки, які це знання породжує, є основним вихідним матеріалом, на підставі якого індивідуум одержує ясне уявлення про свої творчі можливості, то судження про перевагу одного елемента над іншим і інтенсивність цих суджень можна використовувати для вираження внутрішніх почуттів і схильностей.

Такий підхід до розв'язку проблеми вибору виходить із природної здатності людей думати логічно й творчо, визначати події й встановлювати стосунки між ними. Відзначимо, що людині властиві дві характерні ознаки аналітичного мислення: перша – уміння спостерігати й аналізувати спостереження; інша – здатність встановлювати стосунки між спостереженнями, оцінюючи рівень взаємозв'язків між відносинами, а потім синтезувати ці відносини в загальне сприйняття спостережуваного. Перераховане вище дає представлення про принцип ідентичності й декомпозиції, принципи дискримінації, порівняльного судження й синтезу. Застосування онтологічних описів у цьому технологічному ланцюгу забезпечує динамічне формування відповідних множин критеріїв для ІАС на основі використання властивостей концептів предметних областей, за якими здійснюється прийняття відповідних рішень. Коректність та адекватність самого рішення повністю залежить від коректності і адекватності онтологічної моделі кожної предметної області. Тоді аналітичний супровід завдань моніторингу різних процесів дозволяє отримувати різним групам експертам досить об'єктивні аналітичні оцінювання.

### **Список використаної літератури**

1. Конноли Т. Базы данных: проектирование, реализация и сопровождение. Теория и практика, 2-у изд.: Пер. с англ. / Конноли Т., Бегг К., Страчан А. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2001. – 1120 с.
2. Гаврилова Т.А. Базы знаний интеллектуальных систем / Т.А. Гаврилова, В.Ф. Хорошевский. – СПб.: Питер, 2001. – 384 с.
3. Guarino N., The Ontological Level. In: Casati R., Smith N. And White G. (eds.), *Philosophy and the Cognitive Sciences*, Vienna: Holder-Pichler-Tempsky, 1994.
4. Шаталкин А.И. Таксономия. Основания, принципы и правила. – М.: Товарищество научных изданий КМК, 2012. – 600 с.
5. Букур И., Деляну А. Введение в теорию категорий и функторов. М.: Мир, 1972. – 259 с.
6. Мендельсон Э. Введение в математическую логику. – М. Наука, 1971. – 320 с.
7. Кантор Г. Труды по теории множеств. – Москва: Наука, 1985..
8. Малишевский А.В. Качественные модели в теории сложных систем. – М.: Наука. Физматлит. 1998. – 528 с.
9. Малишевский А.В. Натуральные системы // *Автоматика и телемеханика*. – 1973. – № 11.
10. Буч Г. Объектно-ориентированное проектирование с примерами применения: Пер. с англ. – М.: Конкорд, 1992. – 519 с.
11. Князева Е. Н. Трансдисциплинарные стратегии исследований // *Вестник ТГПУ*. 2011. № 10.
12. Палагин А.В. К вопросу системно-онтологической интеграции знаний предметной области / А.В. Палагин, Н.Г. Петренко. – *Математические машины и системы*, 2007. – № 3, 4. – С. 63–75.

13. Gruber T.R. A translation approach to portable ontology specifications / T.R. Gruber // Knowledge Acquisition. – 1993. – Vol. 5. – P. 199–220.

14. Гладун В.П. Процессы формирования новых знаний [Текст] / Гладун В.П. – София: СД «Педагог 6», 1994. – 192 с.

15. Стрижак О.Є. Засоби онтологічної інтеграції і супроводу розподілених просторових та семантичних інформаційних ресурсів // Екологічна безпека та природокористування: Збірник наукових праць. / М-во освіти і науки України, Київ, Нац. ун-т буд-ва і архіт., НАН України, Ін-т телекомунікацій і глобал. інформ. простору; редкол.: О.С. Волошкіна, О.М. Трофимчук (голов. ред.) [та ін.]. – К., 2013. – Вип. 12. – С. 166–178.

16. Стрижак О.Є. Онтологічні характеристики натуральних систем – Математичне моделювання в економіці: Зб. наук. праць / НАН України Ін-т телекомунікацій і глобал. інформ. простору, Ін-т економіки та прогнозування, Ін-т кібернетики ім. В.М. Глушкова; редкол.:С.О. Довгий (голов. ред.) [та ін.]. – К., 2013. – Вип. 2. – С. 42–48.

17. Стрижак О.Є. Використання онтологій у системах підтримки прийняття рішень / В.В. Горборуков, О.В. Франчук – Математичне моделювання в економіці: Зб. наук. праць // НАН України Ін-т телекомунікацій і глобал. інформ. простору, Ін-т економіки та прогнозування, Ін-т кібернетики ім. В.М. Глушкова; редкол.:С.О. Довгий (голов. ред.) [та ін.]. – К., 2013. – Вип. 3. – С. 33–40.

18. Стрижак О.Є. Формування операційного середовища інформаційно-аналітичних систем на основі онтологій / О.П. Кучеров, О.Є. Стрижак – Математичне моделювання в економіці: Зб. наук. праць // НАН України Ін-т телекомунікацій і глобал. інформ. простору, Ін-т економіки та прогнозування, Ін-т кібернетики ім. В.М. Глушкова; редкол.:С.О.Довгий (голов. ред.) [та ін.]. – К., 2013. – Вип. 3. – С. 40–48.

19. Ларичев О.И. Наука и искусство принятия решений. – М.: Наука, 1979.

20. Саати, Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий: Пер. с англ. / Т, Саати. – М.: Радио и связь, 1989. – 316 с.

21. Емельянов С.В., Ларичев О.И. Многокритериальные методы принятия решений. – М.: Знание, 1985.

22. Гафт М.Г. Принятие решений при многих критериях. – М.: Знание, 1979.

*Стаття надійшла до редакції 28.01.14 українською мовою*

© А.Е. Стрижак

## **ИНСТРУМЕНТЫ ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКОГО СОПРОВОЖДЕНИЯ ПРОЦЕССОВ МОНИТОРИНГА**

*В статье рассматриваются вопросы использования конструктивных свойств теории онтологий при проектировании и построении информационно-аналитических систем на основе таксономий, как определенного типа нормальных систем. Определяются определенные модели таксономий и их применение при решении задач ИАС. Описываются механизмы формирования множества таксономий и иерархий на основе определенных свойств*

*концептов онтологий. Определяются механизмы решения задач выбора на основе использования альтернативных тавтологий и таксономических моделей, которые формируются на их основе.*

**© O.E. Stryzhak**

**INSTRUMENTS OF INFORMATION AND ANALYTICAL SUPPORT OF MONITORING**

*The article is devoted to the use of structural properties of the theory of ontology in the design and building of information-analytical systems based on taxonomies as a particular type of normal. Identify specific model taxonomies and their usage in solving the IAS. Mechanisms of forming a plurality of taxonomies and hierarchies based on certain properties of ontology concepts. Identify mechanisms to tackle problems of choice through the use of alternative tautologies and taxonomic patterns that are formed based on them.*

УДК 004.422.636

© **В.А. Васянин**, канд. техн. наук;

**Л.П. Ушакова**, соискатель

Институт телекоммуникаций и глобального информационного пространства  
НАН Украины, г. Киев

## **СТРУКТУРЫ ДАННЫХ И ПРОЦЕДУРЫ РЕДУКЦИИ МАРШРУТОВ В ЗАДАЧАХ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПОТОКОВ В КОММУНИКАЦИОННЫХ СЕТЯХ**

*Рассматриваются абстрактные типы данных для разработки алгоритмов распределения и маршрутизации потоков в коммуникационных сетях. Предложены процедуры редукции, позволяющие значительно сократить требуемые объемы оперативной памяти для представления структур данных при решении задач проектирования новых маршрутов передачи потоков, когда в качестве исходных маршрутов выступает их произвольное комбинаторное множество. Приведены оценки трудоемкости алгоритмов. Рассмотрен пример построения структур данных и проведен численный эксперимент для проверки работоспособности и вычислительной эффективности предложенных алгоритмов.*

**Ключевые слова:** абстрактные типы данных, структуры данных, алгоритмы распределения потоков, редукция транспортных маршрутов.

**Введение.** Во многих задачах оптимизации распределения и маршрутизации потоков в коммуникационных сетях в качестве входных данных выступают маршруты транспортировки потоков. В терминах теории графов маршрут представляет собой простой путь, заданный перечислением узлов и дуг сети. Допускаются кольцевые маршруты, у которых начальный и конечный узлы совпадают. Множество маршрутов может быть изначально задано или генерироваться по определенным правилам в процессе решения задачи. Поскольку маршруты имеют разную длину по числу входящих в них узлов (или дуг), более короткие маршруты могут совпадать с более длинными маршрутами, как по узлам, так и по дугам. Для распределения потоков в алгоритмах оптимизации используются специальные структуры данных – абстрактные типы данных (АТД) [1, 2], с помощью которых описывается связь между распределяемыми потоками и маршрутами. Процедуры редукции маршрутов позволяют значительно сократить число таких связей в случае, когда количество исходных или сгенерированных маршрутов в комбинаторных задачах оптимизации очень велико.



**1. Постановка задачі и алгоритм рішення.**

Пусть  $G(N, P)$  – многопродуктовая сеть с множеством неориентированных топологических дуг  $P$ ,  $p = |P|$ , множеством узлов  $N$ ,  $n = |N|$ , где  $|\cdot|$  – знак мощности множества. Под топологической дугой будем понимать физический отрезок линии связи: железной или автомобильной дороги, кабеля сети передачи данных, телефонного кабеля и т. д., соединяющий два любых узла из множества  $N$  так, что между рассматриваемыми узлами на данном отрезке нет больше ни одного узла из  $N$ . Узлы сети соответствуют пунктам отправления, получения, сортировки и перегрузки (коммутации) потоков.

На сети задана матрица потоков  $U = \|u_{ij}\|_{n \times n}$ ,  $i, j = \overline{1, n}$ . Потоки  $u_{ij}$  из источников  $i$  в стоки  $j$ ,  $i, j = \overline{1, n}$  должны перевозиться в транспортных средствах или передаваться по каналам связи с заданной периодичностью.

Пусть далее на сети задано множество маршрутов транспортных средств или каналов связи  $\{m_k\}$ ,  $k = \overline{1, l}$ , каждый из которых состоит из последовательности узлов и топологических дуг сети  $G$ , соединяющих начальный и конечный узлы маршрута или канала связи. В конкретной задаче оптимизации множество маршрутов может быть не заданным, а искомым. Для сетей передачи данных маршруты могут быть представлены простыми каналами связи, соединяющими смежные узлы или коммутируемыми каналами связи, соединяющими любую последовательность узлов (выделенными каналами). В частном случае, все заданные маршруты могут совпадать с топологическими дугами сети. Множество  $\{m_k\}$  может содержать несколько маршрутов, соединяющих любую пару узлов. Определим также маршрутную мультисеть  $G_M(N, P_M)$ , где  $N$  – множество узлов сети,  $P_M$  – множество ее ориентированных маршрутных дуг. Между любыми узлами  $i$  и  $j$  сети  $G_M$  существует маршрутная дуга, если они связаны хотя бы одним маршрутом транспортного средства или каналом связи из  $\{m_k\}$ .

Как известно, вычислительная эффективность алгоритмов во многом зависит от удачного представления структур данных, используемых в процессе решения задачи. При решении задач распределения и маршрутизации потоков необходимо иметь такую структуру данных, которая, с одной стороны, позволяла бы для каждого потока  $u_{ij}$  быстро находить множество маршрутов, на которые может быть распределен данный поток, а также определять множество потоков, которые могут быть реализованы на данном маршруте. С другой стороны, структура данных должна обеспечивать хранение результатов решения задачи – схему распределения потоков, в которой для каждого  $u_{ij}$  определен путь следования от начального  $i$ -го узла до конечного  $j$ -го узла с указанием маршрутов и транзитных узлов. Другим важным требованием, предъявляемым к организации структуры данных, является минимум информации, хранимой в процессе решения задачи.

Пусть  $v_k = \{\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_{\eta_k}\}$  – упорядоченное множество узлов из  $N$  на маршруте  $m_k$ ,  $|v_k| = \eta_k$ ,  $q_k = \{(\xi_1, \xi_2), (\xi_2, \xi_3), \dots, (\xi_{\eta_k-1}, \xi_{\eta_k})\}$ ,  $|q_k| = \eta_k - 1$  – упорядоченное множество дуг из  $P$ , составляющих маршрут  $m_k$ .

Поскольку в большинстве случаев прямые и обратные маршруты, как правило, совпадают, в целях экономии оперативной памяти ЭВМ, для совпадающих маршрутов представляется разумным хранить только прямые маршруты, подразумевая, что транспортировка потока по такому маршруту разрешена в обе стороны. Если прямой и обратный маршруты не совпадают, то каждый из них должен быть представлен отдельно.

Для различия маршрутов будем задавать признак направления движения по маршруту. Пусть  $\{m_k\}$ ,  $k = \overline{1, l}$  – множество маршрутов, полученное с учетом сделанных замечаний, а  $MV_k$  – признак направления движения по маршруту, где

$$MV_k = \begin{cases} 0, & \text{если движение разрешено в обоих направлениях,} \\ 1, & \text{если движение разрешено в одну сторону.} \end{cases}$$

Введем также дополнительные признаки маршрутов:  $MT_k = \lambda$ , где  $\lambda$  – целое число, определяющее тип маршрута;

$$MZ_k = \begin{cases} 0, & \text{если движение по маршруту разрешено,} \\ 1, & \text{если движение запрещено.} \end{cases}$$

Дополнительные признаки будут использоваться в алгоритмах редукции маршрутов и формирования справочной структуры данных.

Определим справочную структуру  $H_s$ , состоящую из матрицы указателей  $\Lambda = \|\Delta_{ij}\|_{n \times n}$  и элементов  $E$ , связанных в однонаправленные линейные списки.

Указатель  $\Delta_{ij}$  соответствует потоку  $u_{ij}$  и указывает на первый элемент  $E$ , называемый головой списка. Каждый элемент  $E$  может иметь ссылку на следующий элемент. Последний элемент в списке имеет нулевую ссылку ( $NULL$  - ссылку) и называется хвостовым. Каждый элемент  $E$  состоит из поля  $FWD$ , содержащего ссылку на следующий элемент или значение  $NULL$ ; поля  $AM$ , указывающего адрес маршрута, на который может быть распределен данный поток и поля признаков  $DM$ . Поле признаков состоит из пяти подполей, которые принимают следующие значения:

$$DM_1 = \begin{cases} 1, & \text{если поток } u_{ij}, i < j \text{ выбран на маршрут } AM, \\ 0, & \text{в противном случае;} \end{cases}$$

$$DM_2 = \begin{cases} 1, & \text{если поток } u_{ij}, i > j \text{ выбран на маршрут } AM, \\ 0, & \text{в противном случае;} \end{cases}$$

$$DM_3 = \begin{cases} 1, & \text{если для } u_{ij} \text{ выполняется } (i < j) \wedge (i < j), \\ 0, & \text{если для } u_{ij} \text{ выполняется } (i < j) \wedge (i > j); \end{cases}$$

$$DM_4 = \begin{cases} 1, & \text{если для } u_{ij} \text{ выполняется } (i > j) \wedge (i < j), \\ 0, & \text{если для } u_{ij} \text{ выполняется } (i > j) \wedge (i > j); \end{cases}$$

$$DM_5 = \begin{cases} 0, & \text{если достигнут конец цепочки элементов } E, \text{ определяющих маршруты,} \\ & \text{на которых поток } u_{ij} \text{ может быть распределен без перегрузок} \\ 1, & \text{в противном случае.} \end{cases}$$

Знаки  $i < j$ ,  $i > j$  соответственно означают, что узел  $i$  предшествует узлу  $j$  или следует за узлом  $j$  при движении по маршруту  $AM$  в порядке прохождения узлов из  $v_{AM}$ , а ' $\wedge$ ' – операция конъюнкции (логического «и»).

Поток  $u_{ij}$  назовем безтранзитным, если для него выполняются условия:  $\exists m_k \in \{m_k\}$ ,  $k = \overline{1, l}$ , для которого справедливо  $(i, j \in v_k \wedge MV_k = 0) \vee (i, j \in v_k \wedge MV_k \neq 0 \wedge i < j)$ , где ' $\exists$ ' – знак существования, ' $\vee$ ' – операция дизъюнкции (логического «или»). В противном случае, поток будем называть транзитным. При начальном формировании структуры  $H_S$ , количество элементов  $E$  в списке для безтранзитного потока  $u_{ij}$  определяется числом маршрутов, на которые может быть распределен поток, причем, если симметричный поток  $u_{ji}$  также безтранзитный, то соответствующие указатели  $\Delta_{ij}$  и  $\Delta_{ji}$  получают ссылки на один список. Для транзитных потоков, которые должны быть один или более раз перегружены с одного маршрута на другой, соответствующие указатели из  $\Lambda$  первоначально получают нулевые ссылки. Построение цепочек элементов  $E$  для транзитных потоков  $u_{ij}$  осуществляется в процессе решения задачи и заключается в следующем: определяются маршруты, на которые может быть распределен поток; для найденных маршрутов создаются элементы  $E$ , которые связываются в список в соответствии с порядком следования по маршрутам от  $i$  до  $j$ . В справочной  $H_S$  для каждого транзитного потока запоминается только один список, определяющий путь, который был выбран для распределения данного потока в процессе оптимизации, промежуточные списки не запоминаются. Если в процессе решения задачи безтранзитный поток переводится в ранг транзитных, то выбранный для него список связывается с первоначальным. Для разграничения списков в этом случае используется подполе  $DM_5$ . Для транзитных потоков каждый элемент  $E$  содержит дополнительное поле  $AU$ , в которое записывается узел маршрута  $AM$ , в котором перегружается поток. Последний элемент  $E$  в цепочке для транзитного потока  $u_{ij}$  в поле  $AU$  будет содержать узел  $j$ . В случае, когда при решении задачи разрешено разветвление (дробление) потоков, в структуру элементов  $E$  могут быть введены дополнительные поля для хранения части распределенного потока.

На рис. 1 показан пример структуры  $H_S$ , поясняющий введенные понятия.

Из правил начального формирования  $H_S$  ясно, что число элементов  $E$  в списках  $H_S$  зависит от числа маршрутов и определяется следующим образом:

$$E_{HS} = \sum_{k=1}^l \eta_k (\eta_k - 1) / 2.$$

Величина  $E_{HS}$  для реальных сетей может быть весьма значительной. Так, например, для сети, содержащей 300 узлов, при генерации для всех симметричных  $n(n-1)/2$  потоков кратчайших путей распределения потоков (отдельных маршрутов) будет сгенерировано 44850 маршрутов. При средней длине маршрута  $\eta_{cp} = 15$  в структуру  $H_S$  будет включено  $44850\eta_{cp}(\eta_{cp} - 1)/2 = 44850 \times 105 = 4709250$  элементов, для размещения которых потребуется

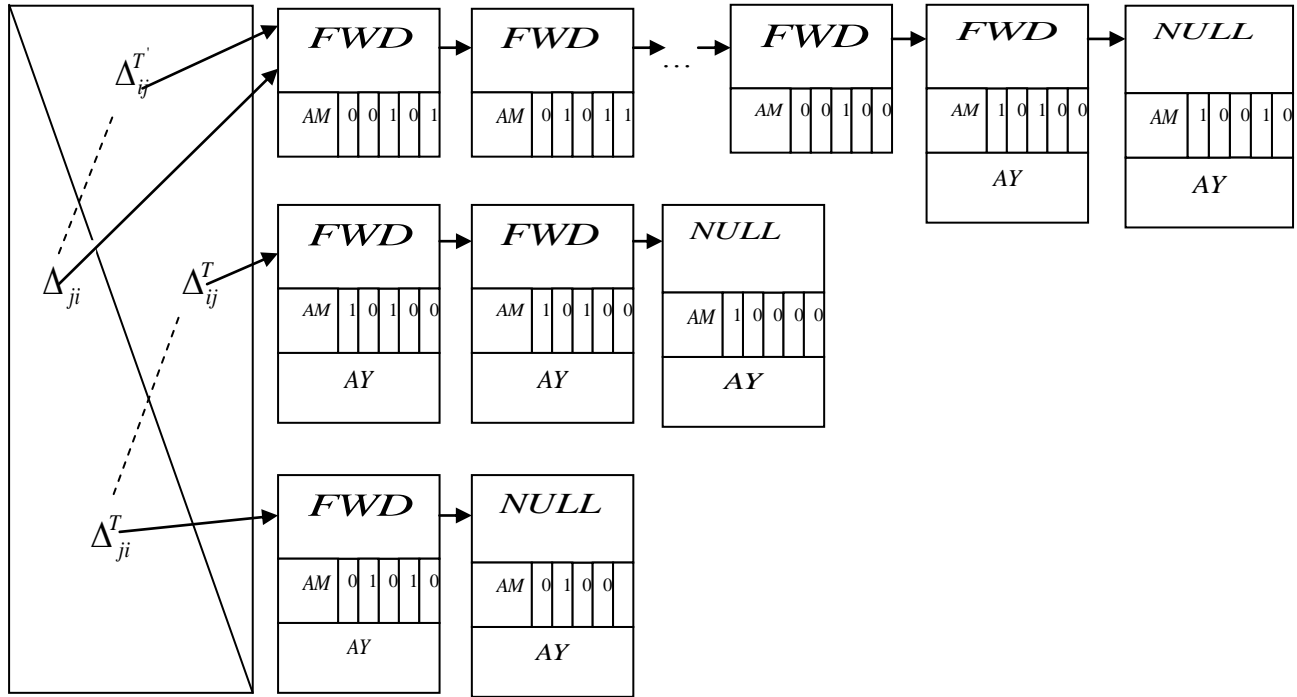


Рис. 1 – Где:  $\Delta_{ij}^{T'}$  – безтранзитный поток, переведенный в ранг транзитных;  
 $\Delta_{ji}^T$  – безтранзитный поток;  $\Delta_{ij}^T, \Delta_{ji}^T$  – симметричные транзитные потоки

порядка 45 Мб оперативной памяти (учитывая, что для размещения одного элемента  $E$  требуется 10 байтов).

В связи с этим, рассмотрим процедуры редукции, позволяющие сократить размерность структуры  $H_S$ . Пусть маршрут  $m_\alpha$  редуцируется в маршрут  $m_\beta$  по узлам, если выполняется условие:

$$v_\alpha \cap v_\beta = v_\alpha,$$

и редуцируется по топологическим дугам, если

$$q_\alpha \cap q_\beta = q_\alpha.$$

Очевидно, что редукция маршрутов сокращает количество связей в сети  $G_M$  и число элементов в структуре  $H_S$  на величину:

$$\sum_{\alpha \in \{k^*\}} \eta_{\alpha} (\eta_{\alpha} - 1) / 2,$$

где  $\{k^*\}$  – множество номеров редуцированных маршрутов.

Пусть далее  $LM_i, i = \overline{1, l}$  – вектор длин маршрутов по числу узлов,  $VM_i, i = \overline{1, l}$  – вектор номеров маршрутов, упорядоченных по убыванию числа узлов в маршруте. В процессе редукции маршрутов будем строить вектор редукции  $VR_i, i = \overline{1, l}$  и справочный вектор  $RV_i, i = \overline{1, l}$ . Элементы векторов определим следующим образом:

$$VR_i = \begin{cases} 0, & \text{если } i\text{-ый маршрут не редуцирован ни в какой другой маршрут,} \\ k, & \text{если } i\text{-ый маршрут редуцирован в некоторый маршрут } \xi. \end{cases}$$

Где  $k$  – номер маршрута, который был редуцирован в маршрут  $\xi$  непосредственно перед маршрутом  $i$ . Если  $i$  – первый редуцируемый маршрут, то  $k = \xi$ .

$$RV_i = \begin{cases} 0, & \text{если } i\text{-ый маршрут редуцирован,} \\ \xi, & \text{если в маршруте } i \text{ редуцирован какой-либо маршрут,} \\ & \text{но сам он не редуцирован ни в какой другой маршрут,} \\ i, & \text{если маршрут } i \text{ сам не редуцирован ни в какой другой} \\ & \text{и в него не редуцирован ни один маршрут.} \end{cases}$$

Где  $\xi$  – номер последнего маршрута, редуцированного в маршрут  $i$ .

Каждый элемент вектора  $VR_i = 0$ , соответствующий маршруту  $m_i$  определяет цепочку редуцированных в этот маршрут других маршрутов. Упорядочение маршрутов в цепочке обратно порядку их редукции. На первый маршрут в цепочке для  $VR_i$  указывает элемент  $RV_i$ .

Приведем алгоритм редукции. Пусть  $S = \|s_{ij}\|_{l \times \eta_{\max}}$  – матрица маршрутов, заданная перечислением номеров узлов сети, где  $\eta_{\max}$  – максимальное число узлов в маршруте. Предполагается, что номера недостающих узлов в более коротких маршрутах заменены на 0.

Обозначим через  $BR1, BR2$  – рабочие векторы размерностью  $n$ . Для большей наглядности в записи псевдокода алгоритма для индексов матриц и векторов будем использовать круглые скобки. Знак ' $\leftarrow$ ' означает операцию присваивания, а знаком '\*\*\*' отделяются комментарии.

#### **Алгоритм 1. Редукция маршрутов.**

1. Для  $\{i \mid i = \overline{1, l}\}$  выполнить  $RV(i) \leftarrow i, VR(i) \leftarrow 0$ .
2. Если выбрана однородная редукция, то  $RT \leftarrow 'O'$ , для смешанной редукции  $RT \leftarrow 'M'$ . \*\*\* Для однородной редукции типы маршрутов  $MT_k = \lambda$  совпадают
3. Если выбрана редукция по узлам, то  $PRT \leftarrow 'U'$ , для редукции по дугам  $PRT \leftarrow 'A'$ .
4. Если  $PRT = 'U'$ , то перейти к 5, иначе перейти к 25.
5. Для  $\{i \mid i = \overline{1, l-1}\}$  выполнить 6–24. \*\*\* Начало цикла по  $i$ , редукция по узлам

6.  $K1 \leftarrow VM(i)$ .
7. Если  $VR(VM(i)) = 0$ , то перейти к 8, иначе к 24.
8.  $BR1 \leftarrow 0$ .
9. Для  $\{k \mid k = \overline{1, LM(VM(i))}\}$  выполнить  $BR1(S(VM(i), k)) \leftarrow 1$ .
10. Для  $\{j \mid j = \overline{i+1, l}\}$  выполнить 11–23. \*\*\* Начало цикла по  $j$
11. Если  $VR(VM(j)) = 0$ , то перейти к 12, иначе к 23.
12.  $BR2 \leftarrow 0$ .
13. Для  $\{k \mid k = \overline{1, LM(VM(j))}\}$  выполнить  $BR2(S(VM(j), k)) \leftarrow 1$ .
14. Если  $RT = 'M \vee RT = 'O \wedge MT(VM(i)) = MT(VM(j))$ , то перейти к 15, иначе к 23.
15. Для  $\{k \mid k = \overline{1, n}\}$  выполнить 16–18. \*\*\* Начало цикла по  $k$
16. Если  $BR2(k) = 1$ , то перейти к 17, иначе к 18.
17. Если  $BR1(k) = 1$ , то перейти к 18, иначе к 23.
18. Перейти к 15. \*\*\* Конец цикла по  $k$
19.  $RV(VM(j)) \leftarrow 0$ .
20.  $RV(VM(i)) \leftarrow VM(j)$ .
21.  $VR(VM(j)) \leftarrow K1$ .
22.  $K1 \leftarrow VM(j)$ .
23. Перейти к 10. \*\*\* Конец цикла по  $j$
24. Перейти к 5. \*\*\* Конец цикла по  $i$
25. Для  $\{i \mid i = \overline{1, l-1}\}$  выполнить 26–55. \*\*\* Начало цикла по  $i$ , редукция по дугам
26.  $KS \leftarrow VM(i)$ .
27. Если  $VR(VM(i)) \neq 0$ , то перейти к 55, иначе к 28.
28. Для  $\{j \mid j = \overline{i+1, l}\}$  выполнить 29–54. \*\*\* Начало цикла по  $j$
29. Если  $VR(VM(j)) \neq 0$ , то перейти к 54, иначе к 30.
30.  $KL \leftarrow 0$ ;  $KF \leftarrow 1$ .
31. Для  $\{k1 \mid k1 = \overline{1, LM(VM(i))}\}$  выполнить 32–34.
32. Если  $S(VM(j), KF) = S(VM(i), k1)$ , то перейти к 36.
33. Если  $S(VM(j), LM(VM(j))) = S(VM(i), k1)$ , то перейти к 48.
34. Перейти к 31.
35. Перейти к 54, продолжить цикл по  $j$ .
36. Для  $\{k \mid k = \overline{1, LM(VM(j))}\}$  выполнить 37–40.
37. Если  $S(VM(j), k) = S(VM(i), k1)$ , то перейти к 38, иначе к 40.
38.  $KL \leftarrow KL + 1$ ;  $k1 \leftarrow k1 + 1$ .
39. Если  $k1 > LM(VM(i))$ , то перейти к 41.
40. Перейти к 36.
41. Если  $RT = 'M \vee RT = 'O \wedge MT(VM(i)) = MT(VM(j))$ , то перейти к 42, иначе к 47.
42. Если  $KL = LM(VM(j))$ , то перейти к 43, иначе к 47.
43.  $RV(VM(j)) \leftarrow 0$ .
44.  $RV(VM(i)) \leftarrow VM(j)$ .
45.  $VR(VM(j)) \leftarrow KS$ .

46.  $KS \leftarrow VM(j)$ .
47. Перейти к 54, продолжить цикл по  $j$ .
48. Для  $\{k \mid k = \overline{LM(VM(j)), 1, -1}\}$  выполнить 49–52.
49. Если  $S(VM(j), k) = S(VM(i), k1)$ , то перейти к 50, иначе к 52.
50.  $KL \leftarrow KL + 1$ ;  $k1 \leftarrow k1 + 1$ .
51. Если  $k1 > LM(VM(i))$ , то перейти к 41.
52. Перейти к 48.
53. Перейти к 41.
54. Перейти к 28. \*\*\* Конец цикла по  $j$
55. Перейти к 25. \*\*\* Конец цикла по  $i$
56. Стоп.

В результате работы приведенного алгоритма цепочки в векторе редукции для  $VR_i = 0$ , на начало которых указывает  $RV_i$ , будут упорядочены по возрастанию числа узлов в редуцированных маршрутах.

После выполнения процедуры редукции строится справочная структура. При этом просматриваются только такие маршруты, у которых  $VR_i = 0$ . Очевидно, что после выполнения процедуры редукции объем оперативной памяти ЭВМ, занимаемой справочной  $H_S$ , сократится на величину:

$$\Delta = \left( \sum_{k=1}^l \eta_k (\eta_k - 1) / 2 - \sum_{\alpha \in \{k^*\}} \eta_\alpha (\eta_\alpha - 1) / 2 \right) V_E,$$

где  $V_E$  – объем памяти, занимаемый одним элементом списка.

Из алгоритма видно, что трудоемкость редукции по узлам составляет в среднем  $O(l^2(n + \eta_{cp}) + l\eta_{cp})$ , а по дугам –  $O(l^2\eta_{cp})$  операций, где  $\eta_{cp}$  – средняя длина маршрута.

Необходимо отметить, что редукция маршрутов несколько увеличит трудоемкость основного алгоритма оптимизации, так как возрастет число просматриваемых маршрутов в шагах выбора маршрутов для распределения потоков. Несмотря на это, редукция маршрутов оказывается крайне необходимой, если в качестве исходного множества маршрутов выступают все возможные маршруты [3]. В этом случае резко возрастает размерность задачи, принимающей характер построения новых, ранее не существующих маршрутов.

Рассмотрим алгоритм начального формирования справочной  $H_S$  с одновременным построением маршрутных дуг сети  $G_M$ .

Пусть  $R = \|r_{ij}\|_{n \times n}$  – топологическая матрица сети  $G$ ,  $r_{ij}$  – длина дуги  $p_{ij}$  (если дуги  $p_{ij}$  не существует,  $r_{ij} = 0$ );  $D = \|d_{ij}\|_{n \times n}$  – матрица длин маршрутных дуг (первоначально  $d_{ij} = \infty$ ,  $i, j = \overline{1, n}$ ).

Поскольку любые два узла могут быть связаны более чем одним маршрутом, длины дуг  $d_{ij}$  будем определять из следующего выражения:

$$d_{ij} = \min_{\{v_k\}} (r_{\xi_\mu, \xi_{\mu+1}} + r_{\xi_{\mu+1}, \xi_{\mu+2}} + \dots + r_{\xi_{\mu+c-1}, \xi_{\mu+c}}), \text{ при } \xi_\mu = i, \xi_{\mu+c} = j, k = \overline{1, l}.$$

В описании алгоритма запись «Образовать новый элемент  $E(P)$ » означает генерацию нового элемента  $E$  и установку указателя  $P$  на адрес элемента. Обращение к полям элемента будем записывать в виде  $P.\langle \text{наименование поля} \rangle$ , а установку указателя в виде  $P \Rightarrow$ .

**Алгоритм 2. Формирование  $H_s$ .**

1. Для  $\{ i \mid i = \overline{1, l} \}$  выполнить 2–18. \*\*\* Начало цикла по  $i$ , формирование  $H_s$
2. Если  $VR(VM(i)) = 0 \wedge MZ(i) = 0$ , то перейти к 3, иначе к 18.
3. Для  $\{ k \mid k = \overline{1, LM(VM(i)) - 1} \}$  выполнить 4–17. \*\*\* Начало цикла по  $k$
4. Для  $\{ j \mid j = k + 1, LM(VM(i)) \}$  выполнить 5–16. \*\*\* Начало цикла по  $j$
5. Образовать новый элемент  $E(P)$ .
6. Если  $\Lambda(S(VM(i), k), S(VM(i), j)).FWD \neq NULL$ , то перейти к 7, иначе к 12.
7.  $P1 \Rightarrow \Lambda(S(VM(i), k), S(VM(i), j)).FWD$ .
8. Пока  $P1.FWD \neq NULL$ , выполнить 9–10.
9.  $P1 \Rightarrow P1.FWD$ .
10. Перейти к 8.
11.  $P1.FWD \Rightarrow P$ . Перейти к 14.
12.  $\Lambda(S(VM(i), k), S(VM(i), j)).FWD \Rightarrow P$ .
13.  $\Lambda(S(VM(i), j), S(VM(i), k)).FWD \Rightarrow P$ . Перейти к 14.
14.  $P.FWD \Rightarrow NULL$ ;  $P.AM \leftarrow VM(i)$ ;  $P.DM \leftarrow 0$ ;  $P.DM(5) \leftarrow 1$ .
15. Если  $S(VM(i), k) < S(VM(i), j)$ , то  $P.DM(3) \leftarrow 1$ , иначе  $P.DM(4) \leftarrow 1$ .
16. Перейти на 4. \*\*\* Конец цикла по  $j$
17. Перейти на 3. \*\*\* Конец цикла по  $k$
18. Перейти на 1. \*\*\* Конец цикла по  $i$
19.  $D \leftarrow \infty$ .
20. Для  $\{ i \mid i = \overline{1, l} \}$  выполнить 21–30. \*\*\* Начало цикла по  $i$ , формирование  $D$
21. Для  $\{ k \mid k = \overline{1, LM(i) - 1} \}$  выполнить 22–29. \*\*\* Начало цикла по  $k$
22.  $SUM \leftarrow 0$ .
23. Для  $\{ j \mid j = k + 1, LM(i) \}$  выполнить 24–28. \*\*\* Начало цикла по  $j$
24.  $m \leftarrow j - 1$ .
25.  $SUM \leftarrow SUM + R(S(i, m), S(i, j))$ .
26. Если  $D(S(i, k), S(i, j)) > SUM$ , то  $D(S(i, k), S(i, j)) = SUM$ .
27. Если  $MV(i) = 0 \wedge D(S(i, j), S(i, k)) > SUM$ , то  $D(S(i, j), S(i, k)) = SUM$ .
28. Перейти к 23. \*\*\* Конец цикла по  $j$
29. Перейти к 21. \*\*\* Конец цикла по  $k$
30. Перейти к 20. \*\*\* Конец цикла по  $i$
31. Стоп.



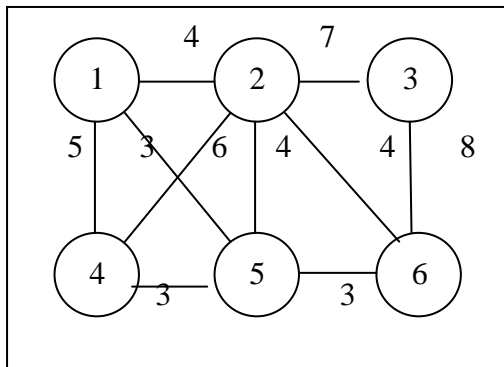
Как нетрудно видеть, средняя трудоемкость алгоритма 2 составляет  $O((l-lr)\eta_{cp}^2)$  операций, где  $lr$  – число редуцированных маршрутов, а  $\eta_{cp}$  – средняя длина маршрута.

Для начального распределения потоков на сети  $G_M$  используется алгоритм построения кратчайших путей по критерию: минимум транзитных перегрузок; при равенстве числа перегрузок – минимум длины пути [4].

**2. Пример формирования справочной структуры  $H_S$ .**

Пусть задана сеть с числом узлов  $n = 6$ , числом дуг  $p = 10$  и матрицей длин дуг  $R$ , приведенная на рис. 2. После редукции заданных маршрутов по узлам ( $U$ ) и дугам ( $A$ ) были получены результаты, показанные в табл. 1 и на рис. 3.

На рис. 4 приведены фрагменты справочной структуры  $H_S$  для потоков  $u_{12}$  и  $u_{21}$  без редукции маршрутов и с редукцией по узлам и дугам. При распределении потоков в первом случае маршруты будут просматриваться в следующем порядке – 8, 11, 5, 2, 4, 3, 1; во втором – 6, 13, 8, 7, 11, 10, 5, 14, 12, 2, 4, 3, 9, 1; в третьем – 8, 6, 5, 4, 10, 3, 1, 13, 11, 2, 1. Таким образом, как уже отмечалось, после редукции маршрутов в основном алгоритме оптимизации общее число просмотров маршрутов увеличивается, что соответственно приводит к увеличению его трудоемкости. Кроме того, в случае редукции по дугам просмотр маршрутов по возрастанию числа узлов может быть нарушен, если какой-либо один и тот же поток может проходить по путям с разными дугами. В нашем примере, это оба потока –  $u_{12}$  и  $u_{21}$  (маршруты 1, 2, 3, 4, 5, 11 и маршрут 8).



		$R$					
$N$		1	2	3	4	5	6
1		0	4	0	5	3	0
2		4	0	7	6	4	4
3		0	7	0	0	0	8
4		5	6	0	0	3	0
5		3	4	0	3	0	3
6		0	4	8	0	3	0

Рис. 2

Таблица 1

	Редукция	
	по узлам $U$	по дугам $A$
Число узлов в сети	6	6
Число дуг в сети	10	10
Число маршрутов в сети	14	14
Число редуцированных маршрутов, в т. ч. в %	13, 92%	6, 42%
Число элементов в структуре АТД	72	72
Число редуцированных элементов, в т. ч. в %	57, 79%	17, 23%

№	$S = \ s_{ij}\ _{14 \times 6}$						$LM_{14}$	$VM_{14}$	$VR_{14}$		$RV_{14}$	
	1	2	3	6	5	4			U		A	
1	1	2	3	6	5	4	6	1	0	6	0	13
2	1	2	3	6	0	0	4	9	4	0	1	0
3	1	2	6	5	0	0	4	3	9	0	0	3
4	1	2	5	6	0	0	4	4	3	0	0	10
5	1	2	4	0	0	0	3	2	14	0	0	5
6	1	4	0	0	0	0	2	12	13	0	8	0
7	2	4	5	0	0	0	3	14	11	0	9	0
8	2	4	1	0	0	0	3	5	7	0	0	6
9	2	4	5	6	3	0	5	10	1	0	0	7
10	2	5	6	0	0	0	3	11	5	0	4	0
11	3	2	1	0	0	0	3	7	10	0	2	0
12	3	2	5	6	0	0	4	8	2	0	0	12
13	3	6	0	0	0	0	2	13	8	0	11	0
14	4	5	2	6	0	0	4	6	12	0	0	14

Рис. 3

На рис. 5 показана матрица длин кратчайших путей  $D$  и справочная матрица построенных путей  $C = \|c_{ij}\|_{n \times n}$ , каждый элемент которой  $c_{ij}$ ,  $i \neq j$  определяет номер предпоследнего узла на кратчайшем пути от  $i$  до  $j$ ,  $c_{ii} = 0$ ,  $i = \overline{1, n}$ . Матрицы получены для сети  $G_M$  алгоритмом [4].

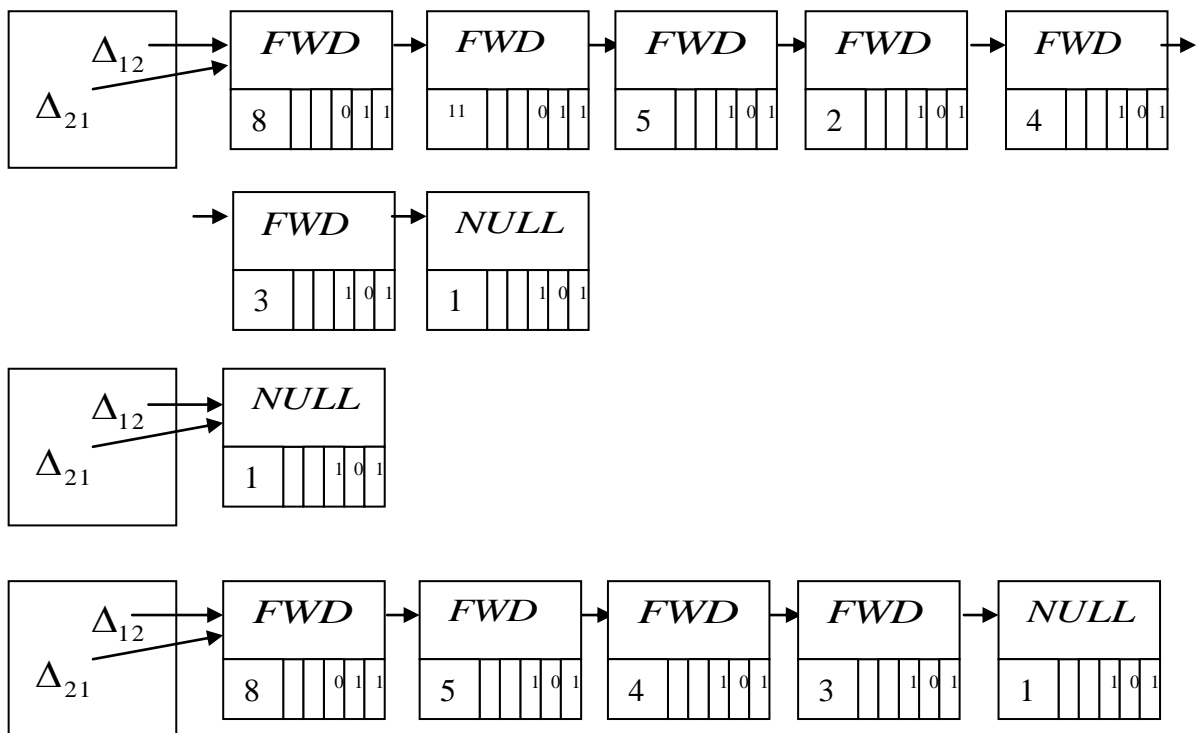


Рис. 4

D						
N	1	2	3	4	5	6
1	0	4	11	5	8	8
2	4	0	7	6	4	4
3	11	7	0	14	11	8
4	5	6	14	0	3	6
5	8	4	11	3	0	3
6	8	4	8	6	3	0

C						
N	1	2	3	4	5	6
1	0	1	1	1	1	1
2	2	0	2	2	2	2
3	3	3	0	3	3	3
4	4	4	4	0	4	4
5	5	5	5	5	0	5
6	6	6	6	6	6	0

Рис. 5

### 3. Результаты вычислительного эксперимента.

Для проверки работоспособности и вычислительной эффективности алгоритмов был проведен вычислительный эксперимент на ПЭВМ IP-IV с тактовой частотой 2,66 ГГц и оперативной памятью 2 Гб под управлением операционной системы Windows Vista. Проверка алгоритмов осуществлялась на сетях, содержащих от 50 до 500 узлов. Для всех размерностей датчиком псевдослучайных чисел генерировались однородные сети с числом исходящих дуг из каждого узла (степенью узлов)  $val = 5$  и длинами топологических дуг в пределах от 80 до 320. Результаты расчетов приведены в табл. 2 и на рисунках 6–9. Где  $lr$  и  $lr\%$ ,  $E$ ,  $Er$  и  $Er\%$ ,  $TFLOYD$ ,  $TRED,U$ ,  $TRED,A$ ,  $TFORM$ ,  $TVVSP$  – соответственно число и процент редуцированных маршрутов; число сгенерированных и число и процент редуцированных элементов  $E$  в структуре  $H_S$ ; время построения кратчайших путей по критерию – минимум длины пути на сети  $G$  алгоритмом Флойда для формирования маршрутов для всех  $n^2 - n$  потоков; время редукции маршрутов по узлам и дугам; время формирования структуры  $H_S$ ; время построения кратчайших путей по критерию – минимум транзитных перегрузок, при равенстве числа перегрузок – минимум длины пути на сети  $G_M$  алгоритмом [4].

Таблица 2

$n$	50	100	150	200	250	300	400	500
$val$	5	5	5	5	5	5	5	5
$P$	125	250	375	500	625	750	1000	1250
$l$	1225	4950	11175	19900	31125	44850	79800	124750
$\eta_{max}$	7	9	10	13	11	12	13	14
$\eta_{cp}$	3	4	5	5	6	6	6	6
$lr$	789,	3382,	7764,	14165,	22102,	31336,	55682,	88619,
$lr\%$	64%	68%	69%	71%	71%	69%	69%	71%
$E$	7797	48961	138596	301079	510913	786289	1618257	2822650
$Er$	3904,	27196,	79606,	181025,	308204,	467208,	967801,	1743565,
$Er\%$	50%	55%	57%	60%	60%	59%	59%	61%
$TFLOYD$	0,02	0,02	0,05	0,08	0,16	0,28	0,64	1,20
$TRED,U$	0,02	0,28	2,12	6,32	17,88	53,38	184,81	546,85
$TRED,A$	0,00	0,16	0,61	1,81	4,35	9,47	31,47	85,47
$TFORM$	0,00	0,02	0,03	0,06	0,11	0,27	1,11	2,65
$TVVSP$	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00

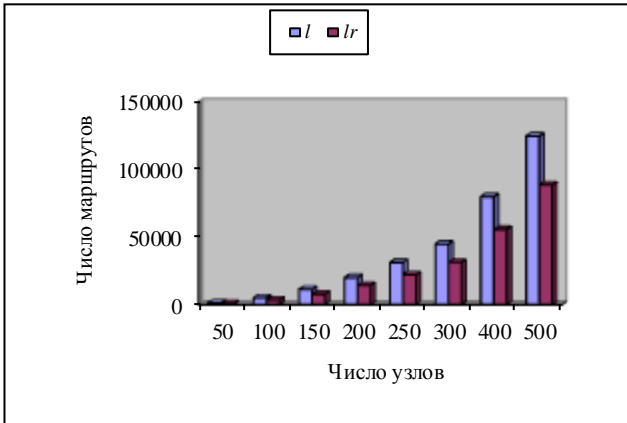


Рис. 6

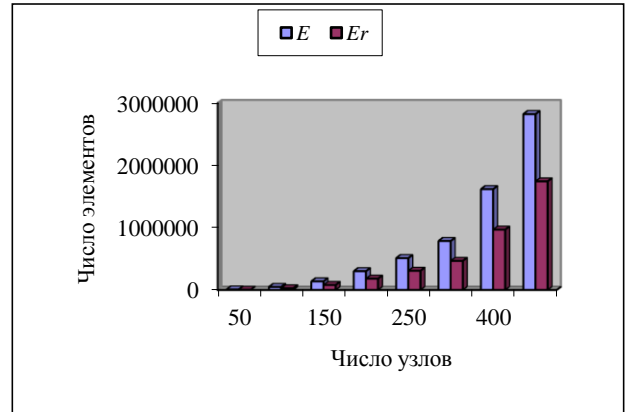


Рис. 7

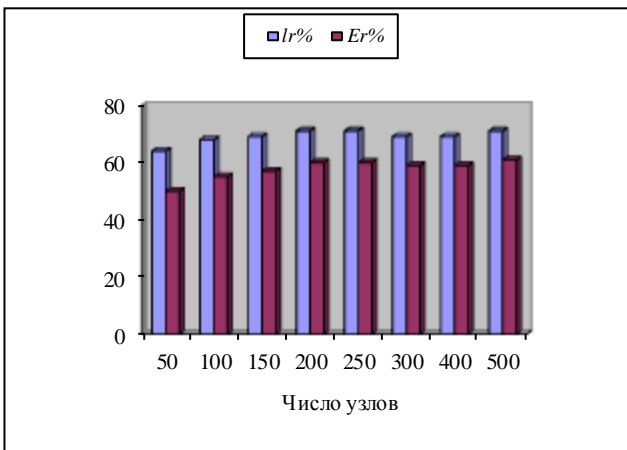


Рис. 8

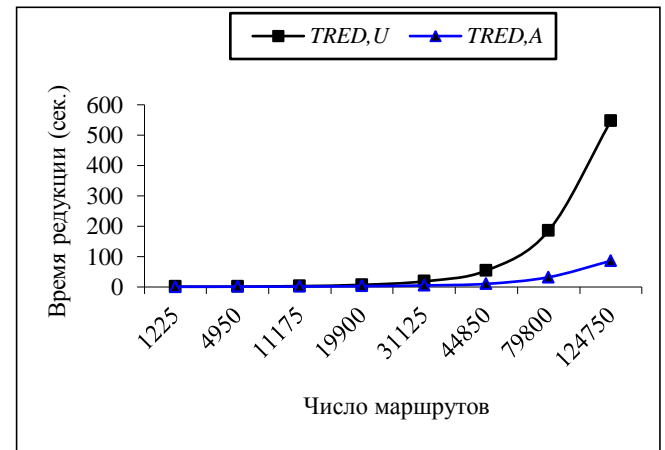


Рис. 9

**Выводы.** 1. Предложены эффективные структуры данных, основанные на линейных динамических списках, с помощью которых можно быстро найти все возможные маршруты для распределения потоков в многопродуктовой сети. Разработаны алгоритмы редукции маршрутов, которые позволяют решать задачи распределения потоков в случае, когда число рассматриваемых маршрутов очень велико, а объем оперативной памяти ЭВМ ограничен.

2. Получены оценки трудоемкости алгоритмов редукции маршрутов по узлам –  $O(l^2(n + \eta_{cp}) + l\eta_{cp})$  и дугам –  $O(l^2\eta_{cp})$ , а также алгоритма формирования справочной структуры данных –  $O((l - lr)\eta_{cp}^2)$ , где  $l$  и  $n$  – число маршрутов и узлов в сети,  $\eta_{cp}$  – средняя длина маршрута,  $lr$  – число редуцированных маршрутов. Проведено тестирование предложенных алгоритмов на сетях с числом узлов от 50 до 500 и числом маршрутов от 1225 до 124750, которое показало их работоспособность и хорошую вычислительную эффективность и они могут быть использованы в практических задачах распределения и маршрутизации потоков на сетях большой размерности.

**Список использованной литературы**

1. Седжвик Р. Фундаментальные алгоритмы на С++. Алгоритмы на графах: Пер. с англ. / Р. Седжвик. – СПб: ООО «ДиаСофтЮП», 2002. – 496 с.
2. Кормен Т. Алгоритмы: построение и анализ, 2-е издание / Т. Кормен, Ч. Лейзерсон, Р. Ривест, К. Штайн: Пер. с англ. – М.: Издательский дом "Вильямс", 2005. – 1296 с.
3. Васянин В.А. Субоптимальный алгоритм решения задачи маршрутизации перевозок / В.А. Васянин, А.И. Савенков // Автоматика. – Киев, 1982. – № 6. – С. 5–9.
4. Васянин В.А. Алгоритм построения кратчайших путей на сети по ступенчатому критерию / В.А. Васянин, А.И. Савенков // Дискретные и эргатические системы управления: Сб. науч. тр. – Киев, 1983. – С. 40–49. – В надзаг.: АН УССР, Научный совет по проблеме "Кибернетика", институт кибернетики.

*Стаття надійшла до редакції 22.01.14 російською мовою*

**© В.О. Васянін, Л.П. Ушакова**

**СТРУКТУРИ ДАНИХ ТА ПРОЦЕДУРИ РЕДУКЦІЇ МАРШРУТІВ В ЗАДАЧАХ РОЗПОДІЛУ ПОТОКІВ В КОМУНІКАЦІЙНИХ МЕРЕЖАХ**

*Обговорюються абстрактні типи даних для розробки алгоритмів розподілу та маршрутизації потоків у комунікаційних мережах. Запропоновані процедури редукції, дозволяючи значно скоротити потрібний обсяг оперативної пам'яті для представлення структур даних при розв'язанні задач проектування нових маршрутів передачі потоків, коли як джерело маршрутів виступає їх довільна комбінаторна множина. Наведені оцінки складності алгоритмів. Розглядається приклад побудови структури даних та проведено чисельний експеримент для перевірки функціональності та ефективності запропонованих обчислювальних алгоритмів.*

**© V.A. Vasyanin, L.P. Ushakova**

**STRUCTURES OF DATA AND PROCEDURES OF REDUCTION OF ROUTES IN PROBLEMS OF FLOWS DISTRIBUTION IN THE COMMUNICATIONS NETWORKS**

*The abstract types of data for developing of algorithms of routing of flows in the communications networks are examined. Are proposed the procedures of reduction, which make it possible to considerably reduce of required working storage for the structures of data with the solution of the problems of designing the new routes of the transfer of the flows, when the set of the initial routes comes out of arbitrary combinatorial set. The estimations of the complexity of algorithm are given. An example of the construction of the structures of data is examined and is carried out the computational experiment for test the functionality and effectiveness of the algorithms proposed.*

УДК 549.61 : 530; 544.163.2 : 544.228

© **В.В. Радчук**<sup>1</sup>, д-р геол. наук, зав. отделом;  
**А.Е. Гречановский**<sup>2</sup>, канд. физ.-мат. наук, старш. научн. сотрудник;  
**А.Б. Брик**<sup>2</sup>, д-р физ.-мат. наук, чл.-корр. НАН Украины, зав.отделом;  
**Б.Г. Шабалин**<sup>3</sup>, д-р геол. наук, зав. отделом

<sup>1</sup>Институт телекоммуникаций и глобального информационного пространства НАН Украины,  
г. Киев;

<sup>2</sup>Институт геохимии, минералогии и рудообразования им. Н.П. Семенко НАН Украины,  
г. Киев;

<sup>3</sup>Государственное предприятие «Институт геохимии окружающей среды НАН Украины»,  
г. Киев

## **КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАДИАЦИОННО-СТИМУЛИРОВАННЫХ ПРОЦЕССОВ В МИНЕРАЛАХ В СВЯЗИ С РЕШЕНИЕМ МИНЕРАЛОГИЧЕСКИХ, МАТЕРИАЛОВЕДЧЕСКИХ И ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ЗАДАЧ (ЧАСТЬ ВТОРАЯ)**

*Радиационная устойчивость кварца  $SiO_2$ , фторапатита  $Ca_{10}(PO_4)_6F_2$ , цирконолита  $CaZrTi_2O_7$ , пирохлора  $Gd_2Zr_2O_7$  и периклаза  $MgO$  изучена методами компьютерного моделирования. Количество пар Френкеля, которые формируются в структуре минерала после прохождения радиационно выбитого атома тория с энергией 20 кэВ, рассчитано с помощью метода молекулярной динамики. Неэмпирические расчеты методом Хартри-Фока с применением гибридного функционала B3LYP были выполнены для вычисления эффективных зарядов атомов кислорода в минералах. Установлено, что радиационная устойчивость исследованных минералов в значительной степени зависит от типа структуры и от значений эффективных зарядов атомов кислорода. Также установлено, что радиационная устойчивость координационных структур значительно выше, чем ранее изученных островных структур циркона  $ZrSiO_4$  и ксенотима  $YPO_4$ .*

**Ключевые слова:** радиационная устойчивость минералов, изоляция радиоактивных отходов, компьютерное моделирование структуры и свойств кристаллов, дефекты Френкеля, молекулярная динамика и расчет каскадов смещенных атомов.

### **1. Вступление**

Данная статья является второй частью нашей работы [1], в которой с помощью компьютерного моделирования описаны радиационно-стимулированные процессы, обусловленные

авторадиационным облучением, радиационная стойкость и механизмы аморфизации минералов с островной структурой. Ниже с помощью аналогичных методов и подходов описаны радиационно-стимулированные процессы аморфизации кристаллической решетки минералов с другим (координационным) типом структуры.

Все возрастающая роль атомных электростанций в производстве электроэнергии, широкое использование радионуклидов в науке и технике и растущая, в этой связи, вероятность возникновения нештатных радиационных ситуаций обуславливают интерес к исследованию радиационно-стимулированных процессов в минералах. Результаты этих исследований имеют большое значение для решения широкого круга как фундаментальных, так и прикладных задач. Фундаментальные задачи связаны, в частности, с выяснением механизмов формирования радиационных дефектов в минералах, а также факторов, которые определяют радиационную стойкость минералов и горных пород [2]. Прикладные задачи связаны с ретроспективной дозиметрией, с изоляцией радиоактивных отходов (РАО) и с решением различных экологических проблем [3–7], обусловленных развитием атомной энергетики. Известно, что в последние десятилетия в ряде стран наметилась тенденция увеличения использования электроэнергии, вырабатываемой на АЭС. Так, по данным МАГАТЭ за 2009 год доля электроэнергии, вырабатываемой на АЭС, составляет 75 % во Франции, 49 % в Украине, 20 % в США, 18 % в РФ. С другой стороны, современное состояние и перспективы развития атомной энергетики связаны со способностью эффективного и безопасного обращения с ядерными отходами. Развитие атомной энергетики порождает ряд проблем, которые касаются изоляции долгоживущих РАО в глубокие (более сотни метров от поверхности) геологические хранилища. Одной из главных проблем в этом смысле является выбор радиационно устойчивых матриц, которые при контакте с долгосуществующими высокоактивными отходами (ВАО) на протяжении длительного времени не будут изменять свои изоляционные свойства под воздействием радиогенных и химических факторов. В настоящее время в качестве матриц для изоляции ВАО, получаемых при переработке отработанного ядерного топлива, используют алюмофосфатные или боросиликатные стекла, однако долговечность этих матриц невелика. Было установлено, что для долговременной изоляции ВАО кристаллические матрицы и керамика на их основе подходят значительно лучше. К настоящему времени разработан целый ряд керамических материалов для изоляции ВАО, включая оружейный плутоний. Активно исследуются материалы на основе перовскита  $\text{CaTiO}_3$ , цирконолита  $\text{CaZrTi}_2\text{O}_7$ , бадделеита  $\text{ZrO}_2$ , циркона  $\text{ZrSiO}_4$ , сфена  $\text{CaTi}(\text{SiO}_4)(\text{O}, \text{OH}, \text{F})$ , титанатных и цирконатных пироксидов  $\text{Gd}_2\text{Ti}_2\text{O}_7$  и  $\text{Gd}_2\text{Zr}_2\text{O}_7$ , монацита  $(\text{Ce}, \text{La})\text{PO}_4$ , ксенотима  $\text{YPO}_4$ , апатита  $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{F}, \text{Cl}, \text{OH})$  и других сложных оксидов [8–13].

Задачи, связанные с созданием матриц для изоляции радиоактивных отходов, решаются в первую очередь с помощью экспериментальных исследований радиационных характеристик минералов, а также с помощью экспериментального изучения свойств горных пород, которые потенциальны для захоронения отходов атомной энергетики. Вместе с тем, прогресс в этой области знаний зависит не только от экспериментальных исследований, но от развития методов компьютерного моделирования радиационно-стимулированных процессов

в минералах [14, 15]. Это обусловлено в первую очередь тем, что при решении многих важных задач методы компьютерного моделирования позволяют существенно сэкономить материальные ресурсы и время. Кроме того, компьютерное моделирование радиационных процессов в минералах способствует созданию научных основ радиационной минералогии, поскольку с помощью моделирования можно выяснять глубинные причины, которые определяют радиационную стойкость минералов и горных пород.

Целью данной работы является обзор литературных данных и полученных нами результатов в области компьютерного моделирования радиационных процессов в минералах, а также анализ возможности использования результатов, полученных с помощью компьютерного моделирования, для решения прикладных задач, связанных с безопасной изоляцией РАО. В первой части нашего исследования [1] была приведена детальная информация о радиационной устойчивости минералов с островной структурой – циркона  $ZrSiO_4$  и ксенотима  $YPO_4$ . Ниже приведены результаты компьютерного моделирования авторырадиационных повреждений в структуре простых и сложных оксидов.

## **2. Моделирование авторырадиационного повреждения в структуре простых и сложных оксидов методом молекулярной динамики**

В данном разделе описаны факторы, которые влияют на радиационную устойчивость простых и сложных оксидов ( $\alpha$ -кварца  $SiO_2$ , фторапатита  $Ca_{10}[PO_4]_6F_2$ , цирконолита  $CaZrTi_2O_7$ , соединения  $Gd_2Zr_2O_7$  со структурой пироклора и периклаза  $MgO$ ). Процессы формирования и отжига поврежденной области, возникающей в результате  $\alpha$ -распада, как правило, длятся десятки пикосекунд. Поэтому для изучения повреждения минералов под действием  $\alpha$ -распада проводят компьютерные модельные эксперименты. Наиболее часто при таких расчетах применяют метод молекулярной динамики (МД) [16].

Методика расчетов методом молекулярной динамики, а также межатомные потенциалы Букингема и Морзе описаны в первой части данной статьи. В качестве ядра отдачи для нанофрагментов минералов использовался выбитый атом тория (аналог атома отдачи) с энергией 20 кэВ. Все МД моделирования были выполнены с использованием пакета программ DL\_POLY, разработанного для моделирования методом молекулярной динамики фрагментов структур макромолекул, полимеров, ионных систем и минералов [17].

### **2.1. Моделирование радиационного повреждения в кварце $SiO_2$**

МД моделирование фрагмента структуры кварца, содержащего 954288 атомов (размеры фрагмента  $237 \text{ \AA} \times 237 \text{ \AA} \times 268 \text{ \AA}$ ), выполнялось с использованием межатомных потенциалов Букингема [18]. После этого один атом кремния был замещен атомом тория (аналог атома отдачи), которому была сообщена скорость в направлении  $[111]$ , соответствующая кинетической энергии 20 кэВ.

Анализ полученных зависимостей (рис. 2.1) показывает, что в момент максимального накопления дефектов ( $t = 0,7$  пс) количество ФП атомов О (с учетом соотношения атомов Si и О взята величина  $N_O/2$ ) значительно превышает  $N_{Si}$ . На протяжении релаксации структуры



кварца в интервале 0,7–17,95 пс отжиг ФП атомов О происходит быстрее, и в конце моделирования величины  $N_{Si}$  и  $N_O/2$  отличаются незначительно.

На рис. 2.2 изображены размеры поврежденной области в кварце для времени  $t = 0,7$  пс и  $t = 17,95$  пс. Видно, что после релаксации структуры кварца длина каскада смещенных атомов составляет около  $100 \text{ \AA}$ .

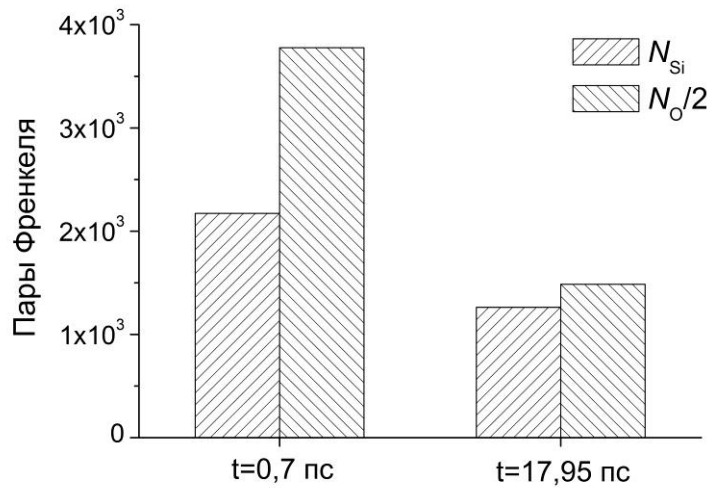


Рис. 2.1 – Количество френкелевских пар  $N_{Si}$  и  $N_O/2$  для времени  $t = 0,7$  пс и  $t = 17,95$  пс

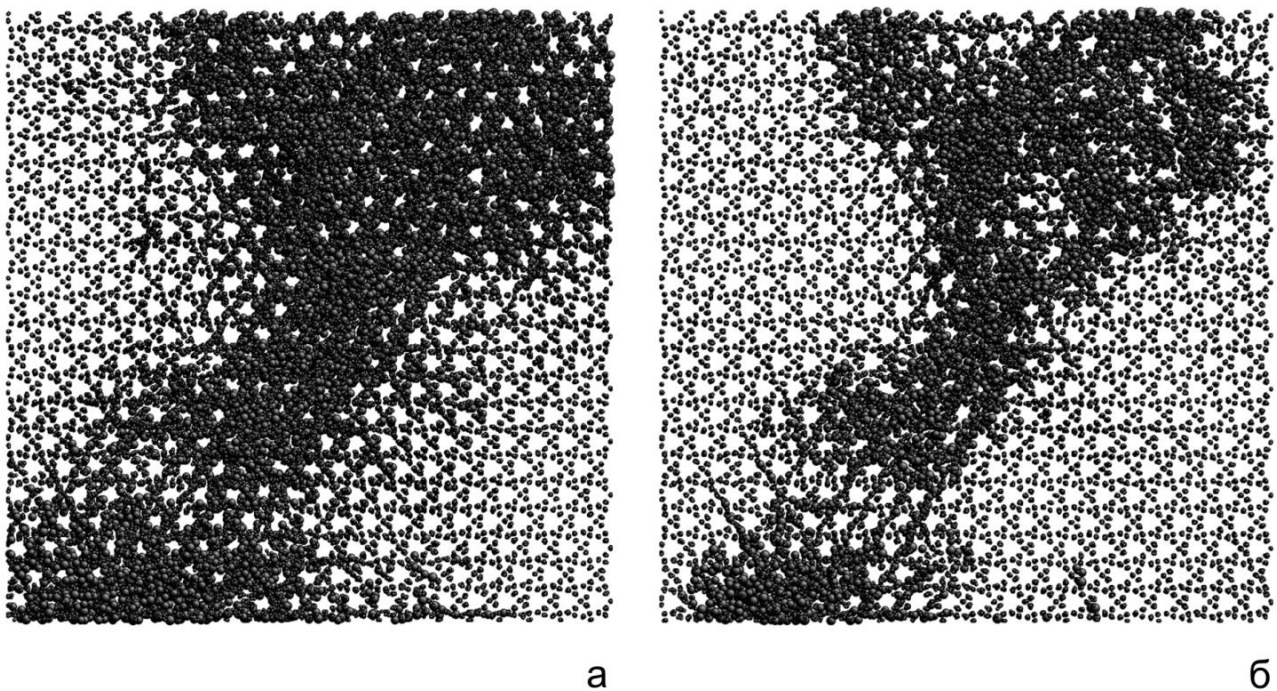


Рис. 2.2 – Размеры поврежденной области в кварце для времени  $t = 0,7$  пс (а) и  $t = 17,95$  пс (б). Рисунок находится в плоскости (110). Размеры фрагмента структуры составляют  $100 \text{ \AA} \times 100 \text{ \AA}$

**2.2. Моделирование радиационного повреждения в фторапатите  $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6\text{F}_2$**

МД моделирование фрагмента структуры фторапатита, содержащего 919296 атомов (размеры фрагмента  $227 \text{ \AA} \times 227 \text{ \AA} \times 262 \text{ \AA}$ ), выполнялось с использованием межатомных потенциалов Букингема и Морзе [19]. После этого один атом кальция был замещён атомом тория (аналог атома отдачи), которому была сообщена скорость в направлении [111], соответствующая кинетической энергии 20 кэВ.

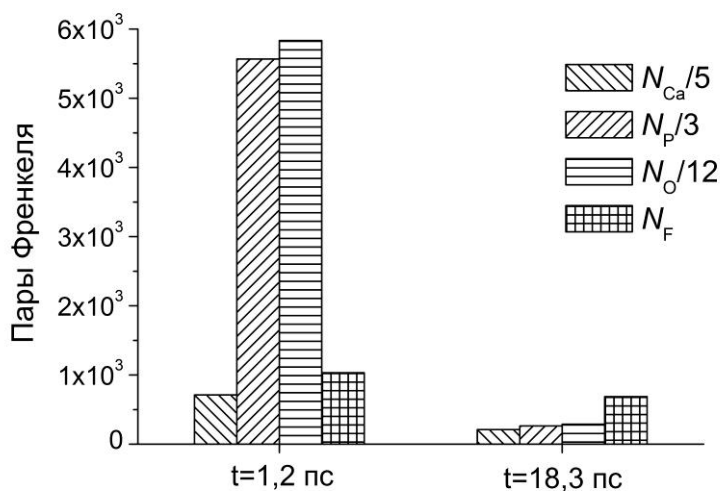


Рис. 2.3 – Количество френкелевских пар  $N_{\text{Ca}}/5$ ,  $N_{\text{P}}/3$ ,  $N_{\text{O}}/12$  и  $N_{\text{F}}$  для времени  $t = 1,2$  пс и  $t = 18,3$  пс

Анализ полученных зависимостей (рис. 2.3) показывает, что в момент максимального накопления дефектов ( $t = 1,2$  пс) количество ФП атомов Р и О (с учетом их содержания во фторапатите) значительно превышает количество ФП атомов Са и F. Такое поведение характерно для всех фосфатов – количество тетраэдров  $\text{PO}_4$ , которые смещаются при авторыдиационных воздействиях значительно больше, чем для силикатов (даже таких радиационно неустойчивых, как кварц). Можно говорить о структуре, в которой тетраэдрические группы значительно более склонны к смещениям из своих положений равновесия. На протяжении релаксации структуры фторапатита в интервале 1,2–18,3 пс количество ФП атомов Р и О значительно уменьшается. Результаты моделирования показывают, что наиболее склонными к формированию ФП являются атомы фтора.

На рис. 2.4 изображены размеры поврежденной области в фторапатите для времени  $t = 1,2$  пс и  $t = 18,3$  пс. Видно, что после релаксации структуры фторапатита длина каскада смещенных атомов составляет около 75  $\text{ \AA}$ .

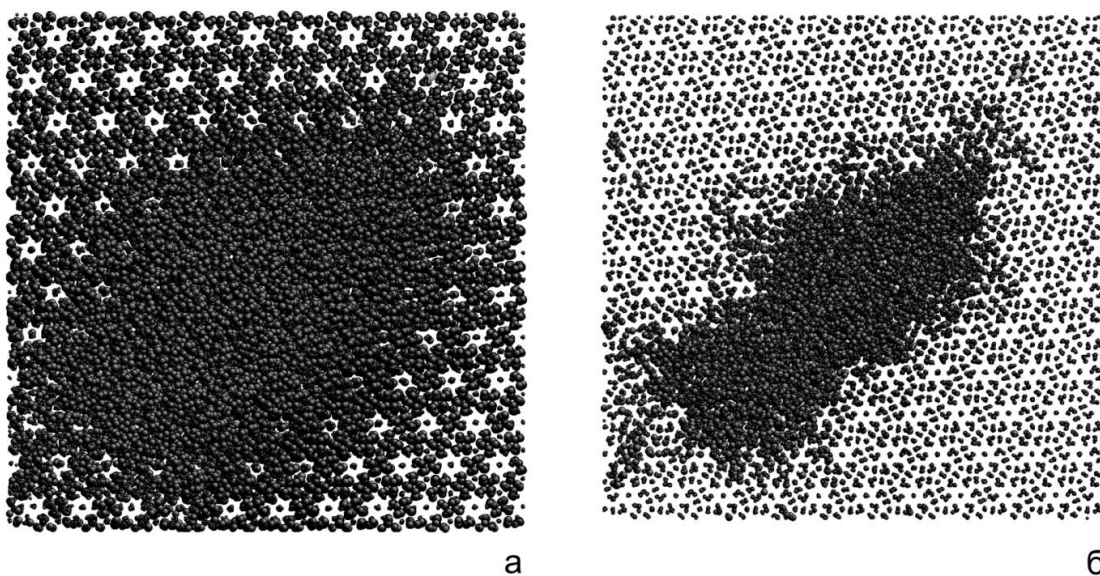


Рис. 2.4 – Размеры поврежденной области в фторапатите для времени  $t = 1,2$  пс (а) и  $t = 18,3$  пс (б). Рисунок находится в плоскости (110). Размеры фрагмента структуры составляют  $100 \text{ \AA} \times 100 \text{ \AA}$

### 2.3. Моделирование радиационного повреждения в цирконолите $\text{CaZrTi}_2\text{O}_7$

МД моделирование фрагмента структуры цирконолита, содержащего 633600 атомов (размеры фрагмента  $198 \text{ \AA} \times 180 \text{ \AA} \times 206 \text{ \AA}$ ), выполнялось с использованием межатомных потенциалов Букингема [20]. После этого один атом циркония был замещён атомом тория (аналог атома отдачи), которому была сообщена скорость в направлении [111], соответствующая кинетической энергии 20 кэВ.

Анализ полученных зависимостей (рис. 2.5) показывает, что в момент максимального накопления дефектов ( $t = 0,53$  пс) количество ФП атомов Ti и O (с учетом их содержания в цирконолите) значительно превышает количество ФП атомов Ca и Zr. Это связано с тем, что атомы Ti характеризуются полиэдрами  $\text{TiO}_6$  и  $\text{TiO}_5$ , а атомы Ca и Zr – полиэдрами  $\text{CaO}_8$  и  $\text{ZrO}_7$  с более ионными связями Ca-O и Zr-O, чем связь Ti-O.

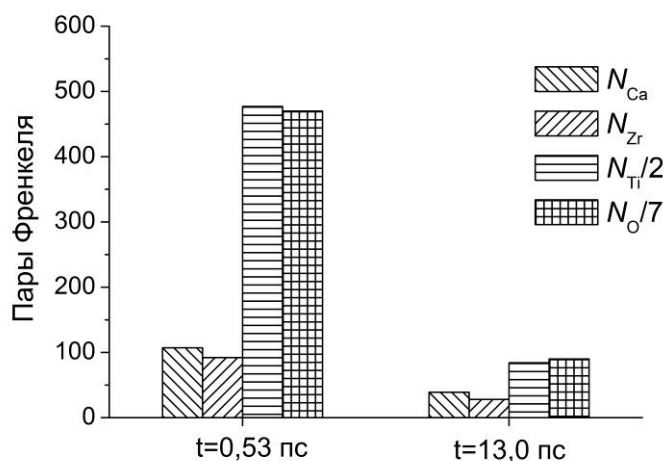


Рис. 2.5 – Количество френкелевских пар  $N_{\text{Ca}}$ ,  $N_{\text{Zr}}$ ,  $N_{\text{Ti}/2}$  и  $N_{\text{O}/7}$  для времени  $t = 0,53$  пс и  $t = 13,0$  пс

На протяжении релаксации структуры цирконолита в интервале 0,53–13,0 пс количество ФП атомов Тi и О значительно уменьшается. Результаты моделирования показывают, что более склонными к формированию ФП являются атомы титана и кислорода.

На рис. 2.6 изображены размеры поврежденной области в цирконолите для времени  $t = 0,53$  пс и  $t = 13,0$  пс. Видно, что в начале релаксации структуры цирконолита длина каскада смещенных атомов составляет около 76 Å, а в конце видны области размером 20–25 Å.

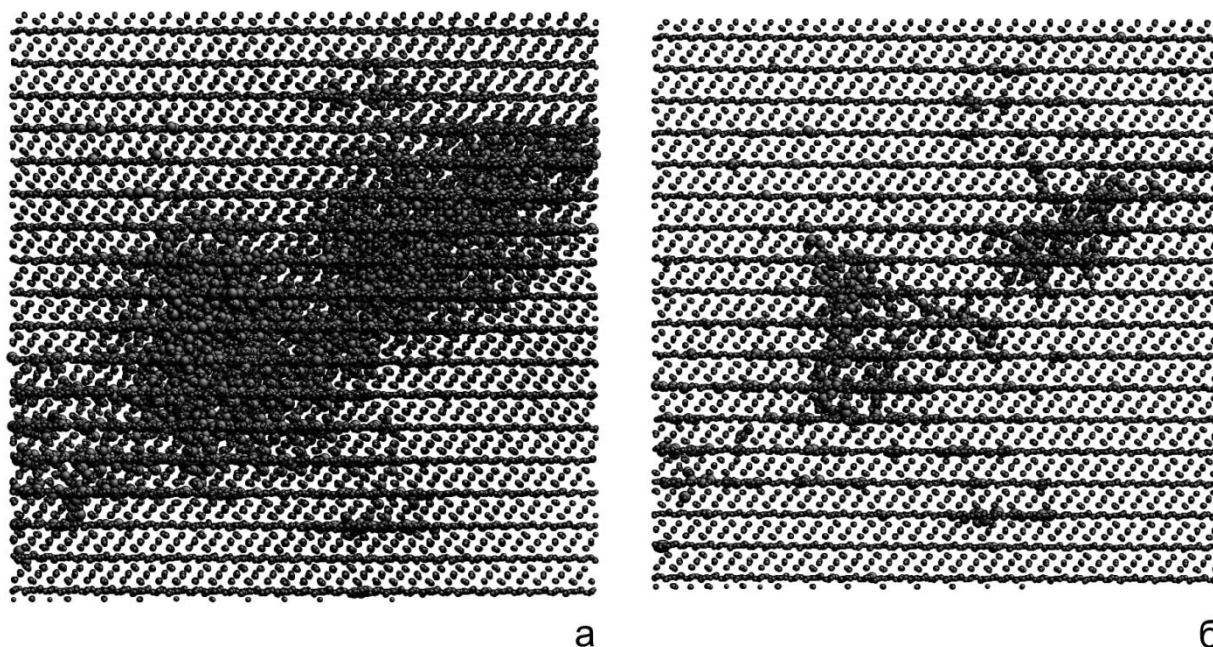


Рис. 2.6 – Размеры поврежденной области в цирконолите для времени  $t = 0,53$  пс (а) и  $t = 13,0$  пс (б). Рисунок находится в плоскости (101). Размеры фрагмента структуры составляют  $100 \text{ Å} \times 100 \text{ Å}$

#### 2.4. Моделирование радиационного повреждения в соединении $\text{Gd}_2\text{Zr}_2\text{O}_7$ со структурой пирохлора

МД моделирование фрагмента структуры пирохлора, содержащего 814968 атомов (размеры фрагмента  $225 \text{ Å} \times 225 \text{ Å} \times 225 \text{ Å}$ ), выполнялось с использованием межатомных потенциалов Букингема [21]. После этого один атом циркония был замещён атомом тория (аналог атома отдачи), которому была сообщена скорость в направлении [111], соответствующая кинетической энергии 20 кэВ.

Анализ полученных зависимостей (рис. 2.7) показывает, что в момент максимального накопления дефектов ( $t = 0,36$  пс) количество ФП атомов О (с учетом их содержания в пирохлоре) приблизительно в два раза превышает количество ФП атомов Gd и Zr. На протяжении релаксации структуры пирохлора в интервале 0,36–15,8 пс количество ФП всех типов атомов, а особенно атомов кислорода, значительно уменьшается. Результаты моделирования показывают, что в координационных структурах дальнедействующие силы «оказывают противодействие» смещению атомов. Таким образом, максимальное количество ФП (при  $t = 0,36$  пс) значительно меньше соответствующего кол-ва ФП для островных структур.

На рис. 2.8 изображены размеры поврежденной области в пирохлоре для времени  $t = 0,36$  пс и  $t = 15,6$  пс. Видно, что в начале релаксации структуры пирохлора длина каскада смещенных атомов составляет около  $100 \text{ \AA}$ , а в конце моделирования отсутствуют сколько-нибудь заметные кластеры френкелевских пар.

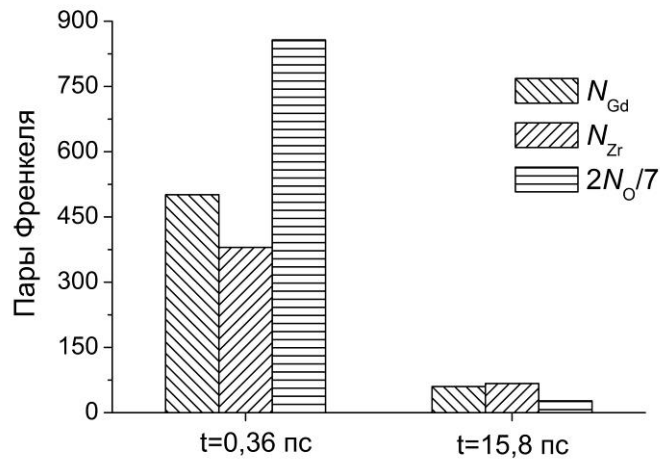


Рис. 2.7 – Количество френкелевских пар  $N_{Gd}$ ,  $N_{Zr}$  и  $2 \cdot N_O/7$  для времени  $t = 0,36$  пс и  $t = 15,8$  пс

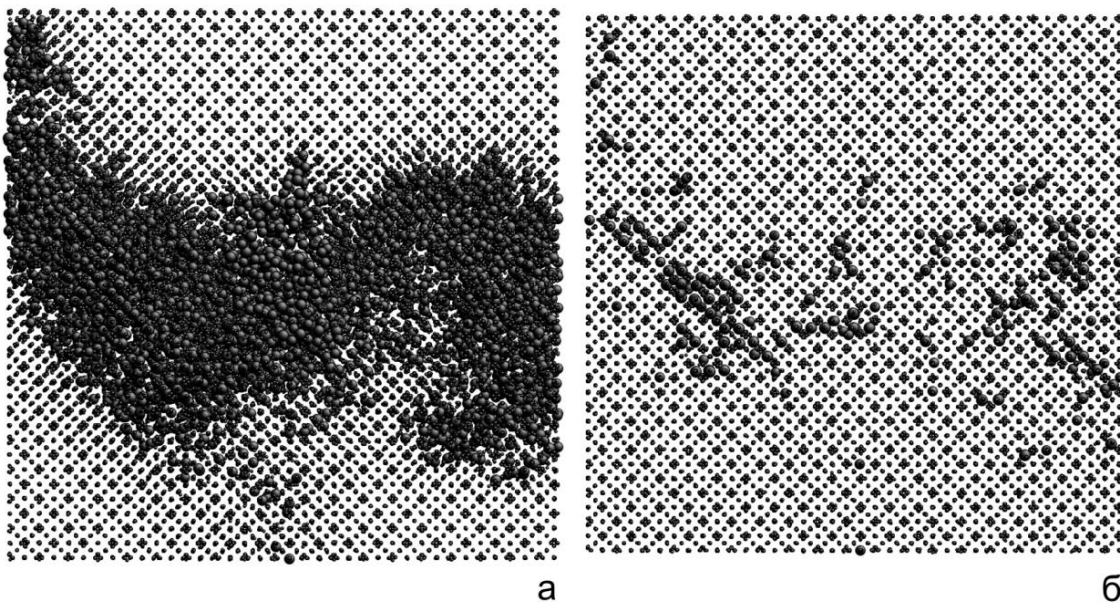


Рис. 2.8 – Размеры поврежденной области в пирохлоре для времени  $t = 0,36$  пс (а) и  $t = 15,8$  пс (б). Рисунок находится в плоскости (110). Размеры фрагмента структуры составляют  $100 \text{ \AA} \times 100 \text{ \AA}$

### 2.5. Моделирование радиационного повреждения в периклазе MgO

МД моделирование фрагмента структуры периклаза, содержащего 941192 атомов (размеры фрагмента  $207 \text{ \AA} \times 207 \text{ \AA} \times 207 \text{ \AA}$ ), выполнялось с использованием межатомных

потенциалов Букингема [22]. После этого один атом магния был замещён атомом тория (аналог атома отдачи), которому была сообщена скорость в направлении [111], соответствующая кинетической энергии 20 кэВ.

Анализ полученных зависимостей (рис. 2.9) показывает, что в момент максимального накопления дефектов ( $t = 0,61$  пс) количество ФП атомов Mg и O приблизительно одинаково. На протяжении релаксации структуры периклаза в интервале 0,61–10,0 пс количество ФП значительно уменьшается. Результаты моделирования показывают, что (как и для структуры пироклора  $Gd_2Zr_2O_7$ ) в координационных структурах дальнедействующие силы «оказывают противодействие» смещению атомов.

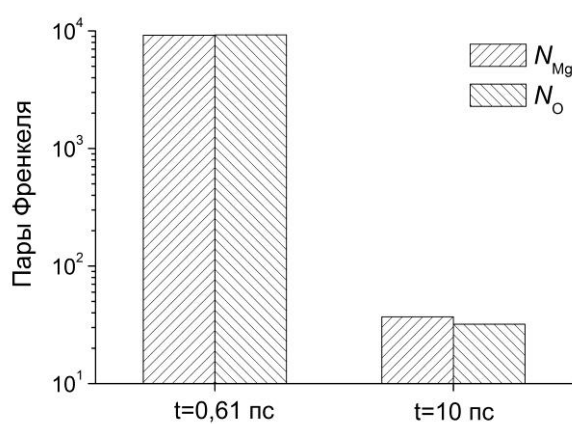


Рис. 2.9 – Количество френкелевских пар  $N_{Mg}$  и  $N_O$  для времени  $t = 0,61$  пс и  $t = 10,0$  пс

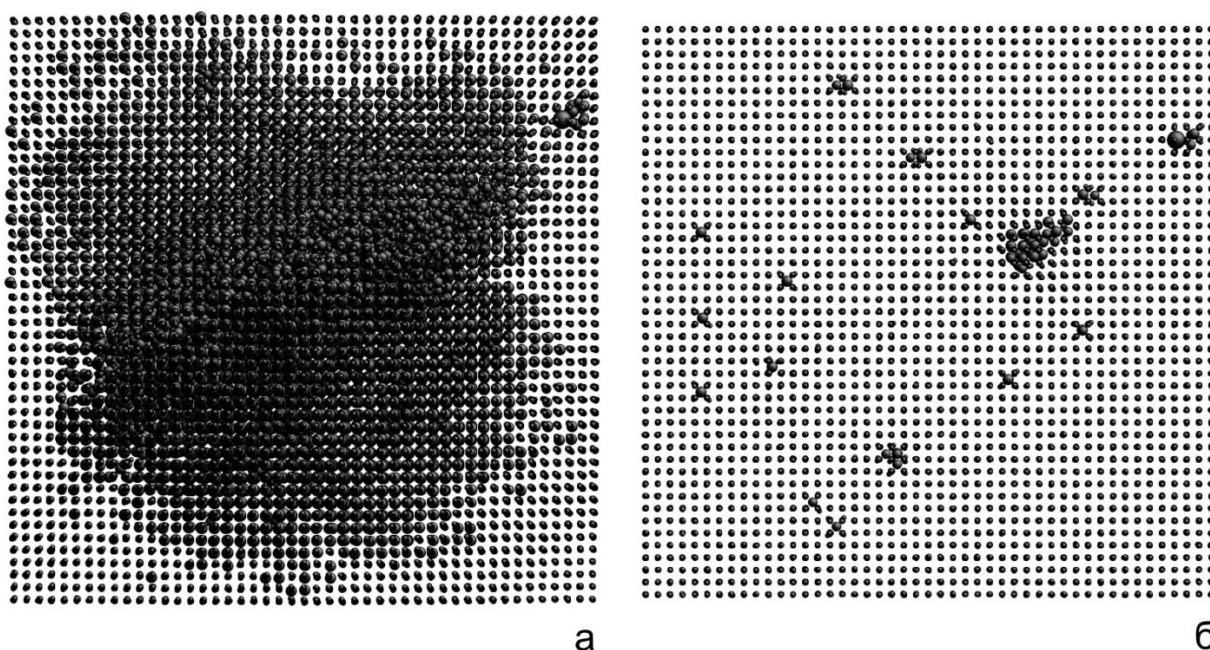


Рис. 2.10 – Размеры поврежденной области в периклазе для времени  $t = 0,61$  пс (а) и  $t = 10,0$  пс (б). Рисунок находится в плоскости (110). Размеры фрагмента структуры составляют  $100 \text{ \AA} \times 100 \text{ \AA}$

На рис. 2.10 изображены размеры поврежденной области в периклазе для времени  $t = 0,61$  пс и  $t = 10,0$  пс. Видно, что в начале релаксации структуры периклаза длина каскада смещенных атомов составляет около  $60 \text{ \AA}$ , а в конце моделирования отсутствуют сколько-нибудь заметные кластеры френкелевских пар.

Таким образом, результаты моделирования ряда структур ( $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Ca}_{10}[\text{PO}_4]_6\text{F}_2$ ,  $\text{CaZrTi}_2\text{O}_7$ ,  $\text{Gd}_2\text{Zr}_2\text{O}_7$  и  $\text{MgO}$ ) показывают, что в координационных структурах дальнедействующие силы «оказывают противодействие» смещению атомов. После смещения атомов, которые происходят вследствие взаимодействия атома отдачи со структурой, для возвращения структуры в неповрежденное состояние необходима перестройка атомов, которая сопровождается значительным атомным движением. В ковалентных структурах взаимодействия между атомами можно рассматривать как короткодействующие направленные связи, возникающие вследствие наличия значительного электрического заряда, локализованного между соседними атомами. Таким образом, кооперативное движение сдерживается электронами, находящимися между соседними атомами, и для их разрыва необходима некоторая энергия. С другой стороны, структуры с высокой степенью ионности могут рассматриваться как совокупность заряженных ионов. Кооперативное движение таких атомов происходит без дополнительной энергии активации, что в значительной степени способствует восстановлению поврежденных структур. Более того, в материалах с высокой степенью ионности связей необходимость компенсации электрического заряда также содействует восстановлению структуры и делает «дефектную» структуру, состоящую из соседних ионов с одноименными зарядами, энергетически невыгодной. Этот эффект отсутствует в ковалентных структурах. Таким образом, максимальное количество дефектов в координационных структурах (с высокой степенью ионности связей) значительно меньше соответствующего количества дефектов для островных структур (с высокой степенью ковалентности).

### **3. Квантово-химические расчеты эффективных зарядов атомов в минералах методом Хартри-Фока**

В данном разделе были проведены неэмпирические расчеты методом Хартри-Фока с применением гибридного функционала *B3LYP* для вычисления эффективных зарядов атомов кислорода в изучаемых минералах (периклаз  $\text{MgO}$ , пирохлор  $\text{Gd}_2\text{Zr}_2\text{O}_7$ , цирконолит  $\text{CaZrTi}_2\text{O}_7$ , фторапатит  $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6\text{F}_2$ , циркон  $\text{ZrSiO}_4$ , ксенотим  $\text{YPO}_4$  и кварц  $\text{SiO}_2$ ).

Для простейших двухчастичных систем (атом водорода) точное решение уравнения Шредингера можно решить аналитически. Другие элементы в периодической системе являются многочастичными системами, в которых движение каждого электрона связано с движением всех других электронов. Поэтому для решения уравнения Шредингера, как правило, используют метод Хартри-Фока. Этот метод основан на следующих приближениях:

1. Приближение Борна-Оппенгеймера (уравнение Шредингера решается для электронов в поле стационарных ядер).
2. Многоэлектронный гамильтониан заменяется на эффективный одноэлектронный гамильтониан, который действует на одноэлектронные волновые функции (орбитали).

3. Кулоновское отталкивание между электронами представлено в усредненном виде (приближение среднего поля).

В результате можно получить уравнение Хартри:

$$-\frac{\hbar^2}{2m}\Delta\psi_i(\vec{r}) + V_{ion}(\vec{r})\psi_i(\vec{r}) + e^2 \sum_j \int d\vec{r}' \frac{|\psi_j(\vec{r}')|^2}{|\vec{r} - \vec{r}'|} \psi_i(\vec{r}) = E_i \psi_i(\vec{r}),$$

где  $V_{ion}(\vec{r})$  – локальный потенциал ионов.

С учетом обменного члена получаем уравнение Хартри-Фока:

$$-\frac{\hbar^2}{2m}\Delta\psi_i(\vec{r}) + V_{ion}(\vec{r})\psi_i(\vec{r}) + e^2 \sum_j \int d\vec{r}' \frac{|\psi_j(\vec{r}')|^2}{|\vec{r} - \vec{r}'|} \psi_i(\vec{r}) - e^2 \sum_j \delta_{\sigma_i \sigma_j} \int d\vec{r}' \frac{\psi_j^*(\vec{r}')\psi_i(\vec{r}')}{|\vec{r} - \vec{r}'|} \psi_j(\vec{r}) = E_i \psi_i(\vec{r})$$

Обменный член позволяет учесть принцип Паули.

Для решения уравнения Хартри-Фока применяется приближение МО-ЛКАО. Оптимизация энергии МО ведет к получению уравнения самосогласованного поля Хартри-Фока:

$$\begin{aligned} \tilde{\mathbf{F}}\psi_i &= E_i \psi_i, \\ \tilde{\mathbf{F}} &= -\frac{\hbar^2}{2m}\Delta\psi_i(\vec{r}) + V_{ion}(\vec{r})\psi_i(\vec{r}) + e^2 \sum_{i,j} \left( [ii | jj] - \frac{1}{2} [ij | ji] \right) - \text{оператор Фока,} \\ [ij | kl] &= \int d\vec{r}_1 d\vec{r}_2 \psi_i^*(\vec{r}_1)\psi_j(\vec{r}_1) \frac{1}{r_{12}} \psi_k^*(\vec{r}_2)\psi_l(\vec{r}_2). \end{aligned}$$

Как известно, степень ионности структуры можно охарактеризовать отношением эффективных зарядов атомов к их номинальным зарядам. В свою очередь эффективные заряды можно получить с помощью малликовенского анализа заселённости.

Для вычислений эффективных зарядов атомов кислорода в минералах были выполнены неэмпирические расчеты методом Хартри-Фока [23] с применением гибридного функционала *B3LYP* [24, 25]. Для этих вычислений был использован пакет программ PC GAMESS [26].

Параметры базисных наборов атомов приведены в таблице 3.1: 1 – тип атома, 2 – количество и типы функций гауссова типа, 3 – количество и типы оболочек, к которым контрактованы функции гауссова типа, 4 – схема контрактивования.

Результаты проведенных вычислений эффективных зарядов атомов кислорода и количество френкелевских пар ( $N_{FP}$ ), полученные в данной статье при МД-моделировании минералов, приведены в таблице 3.2. Также в этой таблице приведены критические температуры аморфизации  $T_c$  (если температура  $T > T_c$ , то минерал не аморфизуется), полученные из



экспериментов по облучению минералов потоком тяжелых ионов  $Kr^+$  с энергиями 800 кэВ–1,5 МэВ [27, 28].

**Таблица 3.1 – Параметры базисных наборов, используемых в вычислениях методом Хартри-Фока**

Тип атома	Функции гауссового типа	Оболочки	Схема контракирования
1	2	3	4
Mg	15s, 7p	1s, 3sp	8/511
O	14s, 6p, 2d	1s, 3sp, 2d	8/411/11
Ti	20s, 12p, 3d	1s, 3sp, 1d	8/651/3
Si	15s, 9p, 1d	1s, 3sp, 1d	6/621/1
P	16s, 8p, 1d	1s, 3sp, 1d	8/521/1
Ga	21s, 13p, 5d	1s, 5sp, 2d	8/64111/41
Ca	21s, 13p, 3d	1s, 4sp, 1d	8/6511/3
Zr	26s, 17p, 9d	1s, 4sp, 3d	9/7631/621
Y	26s, 17p, 10d	1s, 4sp, 3d	9/7631/631

Ионная природа структуры периклаза предполагает, что потенциал Маделунга должен быть учтен в квантово-химических вычислениях. Так, некоторые свойства MgO некорректно описываются без учета кулоновских взаимодействий. Поэтому для учета потенциала Маделунга был использован фрагмент структуры  $[Mg_7O_6]^{2+}$ , окруженный большим массивом точечных зарядов  $\pm 2 |e|$ .

Для структур пироклора  $Gd_2Zr_2O_7$ , цирконолита  $CaZrTi_2O_7$ , фторапатита  $Ca_{10}(PO_4)_6F_2$ , циркона  $ZrSiO_4$  и ксенотима  $YPO_4$  были использованы соответственно кластеры  $[Gd_7Zr_6O_{50}]^{-55}$ ,  $[Zr_3Ti_6O_{39}]^{-42}$ ,  $[Ca_9P_6O_{27}]^{-6}$ ,  $[Zr_5Si_6O_{44}]^{-44}$  и  $[Y_5P_6O_{44}]^{-43}$ . Использование больших кластеров было ограничено компьютерными возможностями.

**Таблица 3.2 – Результаты вычислений методом Хартри-Фока для изученных минералов**

Минерал и его химическая формула	Методика	$Q(O), e_0$	$Q(O), e_0$ [29]	$N_{FP}$	$T_c, K$
периклаз MgO	встроенный кластер	-1,96	-1,86	65	20
пироклор $Gd_2Zr_2O_7$	кластер $[Gd_7Zr_6O_{50}]^{-55}$	-1,65	–	235	25
цирконолит $CaZrTi_2O_7$	кластер $[Zr_3Ti_6O_{39}]^{-42}$	-1,21	–	870	590
фторапатит $Ca_{10}(PO_4)_6F_2$	кластер $[Ca_9P_6O_{27}]^{-6}$	-1,18	–	5985	475
циркон $ZrSiO_4$	кластер $[Zr_5Si_6O_{44}]^{-44}$	-1,06	–	1800	1000
ксенотим $YPO_4$	кластер $[Y_5P_6O_{44}]^{-43}$	-0,96	–	1410	512
кварц $SiO_2$	кластер $[Si_5O_{16}H_{12}]$	-0,79	-0,78	4230	1400

В случае кластера для кварца  $[\text{Si}_5\text{O}_{16}\text{H}_{12}]$  к мостиковым атомам кислорода для «замыкания» ненасыщенных связей были добавлены атомы водорода [30]. Положения атомов водорода были зафиксированы на расстоянии  $0,96 \text{ \AA}$  от соответствующих атомов кислорода вдоль направлений O-Si. Положения атомов Si и O в этом кластере были оптимизированы. Данные Урусова и др. [29], полученные путем минимизации энергии атомизации как функции заряда атомов кислорода для периклаза и кварца, также приведены в таблице 3.2.

Результаты моделирования показывают, что минералы периклаз и пироксенол характеризуются высокой ионностью химических связей (высоким эффективным зарядом атомов кислорода), высокой радиационной устойчивостью по данным МД моделирования ( $N_{FP}$  – количество френкелевских пар, которые формируются в минерале при движении атома тория с энергией  $20 \text{ кэВ}$ ) и экспериментальным данным ( $T_c$ ).

Цирконолит и фторопатит показывают промежуточные значения ионности химических связей и критических температур аморфизации  $T_c$ . Однако, из табл. 3.2 видно, что количество френкелевских пар в структуре фторопатита завышено. Это несоответствие связано с тем, что МД моделирование из-за ограниченных вычислительных возможностей (даже для современных суперкомпьютеров) очень ограничено по времени (сотни пикосекунд). За это время в минералах происходит первичная релаксация структуры. Однако после этого в структуре фосфатов происходит гораздо более длительный процесс радиационно-стимулированной рекристаллизации аморфных зон.

Циркон, ксенотим и кварц характеризуются низким значением ионности химических связей (значение эффективного заряда атома кислорода составляет соответственно  $-1,06$ ,  $-0,96$ ,  $-0,79 e_0$ ). Из этих трех минералов ксенотим характеризуется самой высокой радиационной устойчивостью как по данным МД моделирования, так и по экспериментальным данным.

Таким образом, результаты описанных выше исследований показывают, что на радиационную устойчивость исследуемых минералов оказывает влияние ряд факторов. В случае простых и сложных оксидов металлов главными параметрами являются тип структуры и степень ковалентности химических связей (или эффективный заряд атомов кислорода). Следует отметить, что для этих соединений тип структуры и значение эффективного заряда атомов кислорода взаимосвязаны между собой. Координационные структуры (периклаз, пироксенол) характеризуются высоким значением эффективного заряда атомов кислорода и высокой радиационной устойчивостью, а структуры, в которых присутствуют тетраэдрические группировки  $[\text{SiO}_4]$  и  $[\text{PO}_4]$  (циркон, ксенотим, кварц), характеризуются более низким значением эффективного заряда атомов кислорода и более низкой радиационной устойчивостью.

#### **4. Обсуждение полученных результатов**

Рассмотрен обзор полученных нами и литературных данных, касающийся причин метамиктизации (рентгеноаморфизации) U-, Th-содержащих минералов и факторов, которые определяют радиационную устойчивость различных материалов. Рассмотрены механизмы радиационных повреждений в твердом теле. Каждый акт  $\alpha$ -распада приводит к возникновению

альфа-частицы и тяжелого атома отдачи. Альфа-частицы с энергией 4,2–5,5 МэВ, которые в основном характеризуются электронным торможением, смещают около 100 атомов в конце пути, длина которого составляет 10–20 мкм. Тяжелые атомы отдачи с энергией 70–90 кэВ, которые в основном характеризуются ядерным торможением, смещают несколько тысяч атомов в интервале 20 нм. Поэтому радиационное повреждение, возникающее в результате распада радионуклидов, связано в первую очередь с движением атомов отдачи при  $\alpha$ -распадах радиоактивных элементов.

При движении атомов отдачи происходит лавинообразный процесс смещения атомов – возникает каскад смещенных атомов. Накопление дефектов, формирующих каскад смещенных атомов, и релаксация структуры происходят в течение десятков пикосекунд. Поэтому для исследования формирования дефектов, их отжига, механизмов повреждения минералов, а также взаимосвязи физических свойств минералов с их радиационной устойчивостью на протяжении нескольких последних десятилетий используют методы компьютерного моделирования.

Методом молекулярной динамики были проведены компьютерные моделирования кварца  $\text{SiO}_2$ , фторапатита  $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6\text{F}_2$ , цирконолита  $\text{CaZrTi}_2\text{O}_7$ , пирохлора  $\text{Gd}_2\text{Zr}_2\text{O}_7$  и периклаза  $\text{MgO}$ . Кроме того, для проведения оценки степени ионности структуры методом Хартри-Фока с применением гибридного функционала *B3LYP* были проведены вычисления эффективных зарядов атомов кислорода в этих минералах.

Анализ выполненных экспериментов по МД моделированию показывает следующее. Энергия атома отдачи, возникающего при  $\alpha$ -распаде, составляет 70–100 кэВ. Тяжелый атом с энергией из этого диапазона на своём пути, составляющем несколько десятков нанометров, смещает все атомы, которые в свою очередь смещают другие атомы, и, таким образом, вызывает появление сильно повреждённой области, содержащей тысячи атомов. Часть начальной энергии атома переходит в потенциальную энергию повреждения, в то время, как другая часть энергии рассеивается в матрице в виде тепловых колебаний. На протяжении интервала времени, когда энергия рассеивается в матрице, в каскаде происходит значительное атомное перемешивание, эквивалентное локальному “плавлению”. На начальных стадиях развития повреждения морфология каскада не зависит от природы межатомных сил вследствие того, что при высоких энергиях межатомные взаимодействия определяются только сильными короткодействующими отталкивающими силами. После того, как энергия начнёт рассеиваться в матрице, взаимодействия между атомами в повреждённой области станут сравнимыми с их кинетической энергией. На этой стадии вид межатомных взаимодействий определяет, какие перестройки атомов будут происходить в повреждённой структуре, что очень сильно влияет на радиационную устойчивость материала.

После смещения атомов, которые происходят вследствие взаимодействия атома отдачи со структурой, для возвращения структуры в неповреждённое состояние необходима перестройка атомов, которая сопровождается значительным атомным движением. В ковалентных структурах взаимодействия между атомами можно рассматривать как короткодействующие направленные связи, возникающие вследствие наличия значительного электрического

заряда, локализованного между соседними атомами. Таким образом, кооперативное движение сдерживается электронами, находящимися между соседними атомами, и для их разрыва необходима некоторая энергия. С другой стороны, высокоионные структуры могут рассматриваться как совокупность заряженных ионов. Кооперативное движение таких атомов не нуждается в дополнительной энергии активации, что даёт повреждённым ионным структурам лучшие возможности для восстановления. Более того, в материалах с высоким степенью ионности связей необходимость компенсации электрического заряда также содействует восстановлению структуры и делает “дефектную” структуру, состоящую из соседних ионов с одноимённым знаком, энергетически невыгодной. Этот эффект отсутствует в ковалентных структурах.

Результаты моделирования показывают, что минералы периклаз и пироклор характеризуются высокой ионностью химических связей (высоким эффективным зарядом атомов кислорода), высокой радиационной устойчивостью по данным МД моделирования и экспериментальным данным.

Цирконолит и фторапатит показывают промежуточные значения ионности химических связей и критических температур аморфизации  $T_c$ . Однако радиационная устойчивость фторапатита по данным МД моделирования занижена. Это связано с более длительной релаксацией структур ортофосфатов (фторапатита и ксенотима) по сравнению с другими минералами.

Циркон, ксенотим и кварц характеризуются низким значением ионности химических связей (значение эффективного заряда атома кислорода составляет соответственно  $-1,06$ ,  $-0,96$ ,  $-0,79 e_0$ ). Из этих трех минералов ксенотим характеризуется самой высокой радиационной устойчивостью как по данным МД моделирования, так и по экспериментальным данным.

## **5. Заключение**

Результаты описанных выше исследований могут быть использованы для решения как фундаментальных, так и прикладных задач радиационной минералогии, радиационного материаловедения и экологических проблем, связанных с безопасным обращением с РАО. Среди перечисленных проблем наиболее актуальными являются задачи, связанные с выяснением факторов, которые обуславливают радиационную устойчивость минералов и горных пород, а также задачи, связанные с безопасной изоляцией ВАО, содержащих долгосуществующие радионуклиды.

Из результатов, полученных с помощью компьютерного моделирования, в частности, следует, что при разработке матриц, предназначенных для экологически безопасной изоляции ВАО, нужно учитывать в первую очередь тип химической связи и топологию структуры минералов и их синтетических аналогов, из которых изготовлена минералоподобная матрица. Матрицы с ионным типом связи и координационной структурой являются наиболее перспективными для долговременной изоляции ВАО, содержащих долгосуществующие радионуклиды.

Дальнейший прогресс в области компьютерного моделирования радиационно-стимулированных процессов в минералах и их структурных аналогах связан с детальным сопоставлением результатов моделирования с данными, полученными с помощью экспериментальных методов и подходов. Важную роль в решении практических задач с помощью компьютерного моделирования играет дальнейшее усовершенствование соответствующих программ и моделей, а также мощностей компьютерных сетей, в частности, на основе Грид-технологий. Прогресс в этих направлениях позволит более надежно приблизить свойства рассматриваемых моделей к свойствам реальных систем. Развитие методов компьютерного моделирования радиационно-стимулированных процессов в минералах открывает новые возможности для экономии материальных и временных ресурсов при решении задач радиационной минералогии, радиационного материаловедения и экологии, связанной с радиоактивными изотопами, в частности, при научно обоснованном выборе перспективных матричных материалов для иммобилизации РАО и их последующей безопасной изоляции. Результаты, полученные с помощью компьютерного моделирования, создают научную базу радиационной минералогии, позволяют оценивать и прогнозировать влияние радиационных факторов на человека и, в конечном счете, способствуют минимизации негативных последствий антропогенного радиационного вмешательства в окружающую среду.

**Благодарности.** Работа выполнена при частичной поддержке Государственной целевой научно-технической программы внедрения и применения грид-технологий на 2009–2013 годы (проект № 38/13).

### **Список использованной литературы**

1. Радчук В.В. Компьютерное моделирование радиационно-стимулированных процессов в минералах в связи с решением минералогических, материаловедческих и экологических задач (часть первая) / Радчук В.В., Гречановский А.Е., Брик А.Б., Шабалин Б.Г. // Екологічна безпека та природокористування : зб. наук. праць / М-во освіти і науки України, Київ. Нац. ун-т будівництва і архітект., Інститут телеком. і глобального інформ. простору НАН України, 2013, вип. 13, С. 143–171.

2. Радчук В.В. Структура та властивості радіаційно-активованих центрів в кварці та емалі зубів у зв'язку з ретроспективною дозиметрією людини та доквілля: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня доктора геологічних наук : спец. 04.00.20 "Мінералогія, кристалографія" / В.В.Радчук – Львів, 2011. – 43 с.

3. Брик А.Б., Радчук В.В. Инструментальная ретроспективная дозиметрия // Природа, – 1994. № 12, С. 3–17.

4. Радчук В.В. Властивості радіаційних центрів в кварці, що найбільш суттєво впливають методики ретроспективної дозиметрії / В.В. Радчук, А.Б. Брик // Екологічна безпека та природокористування : зб. наук. праць / М-во освіти і науки України, Київ. Нац. ун-т будівництва і архітект., Інститут телеком. і глобального інформ. простору НАН України, 2011, вип. 8, С. 2–12.

5. Радчук В.В. Аномальный радиационный отклик алюминиевых центров в кварце и ретроспективная ЭПР дозиметрия // Доповіді НАН України. – 2009. – № 3. – С. 99–104.
6. Радчук В.В. Ретроспективная дозиметрия, основанная на электронном парамагнитном резонансе эмали зубов и кварца / В.В. Радчук // Збірник наукових праць / Ін-т геохімії навколиш. середовища НАН та МНС України. – К., 2007. – Вып. 14. – С. 115–118.
7. Брик А.Б., Дегода В.Я., Маразуев Ю.А., Радчук В.В. Реконструкция доз радиоактивного облучения кристаллов кварца из Чернобыльской зоны // Журнал прикладной спектроскопии. – 1996. – Т. 63, № 1. – С. 158–160.
8. Ewing R.C. Nuclear waste forms for actinides / R.C. Ewing // Proc. Nat. Acad. Sci. USA. – 1999. – Vol. 96. – P. 3432–3439.
9. Ewing R.C. Phosphates as nuclear waste forms / R.C. Ewing, L.M. Wang // Review in mineralogy and geochemistry. – 2002. – Vol. 48. – P. 673–699.
10. Lumpkin G. Ceramics waste forms for actinides / G. Lumpkin // Elements. – 2006. – Vol. 2. – N 6. – P. 365–372.
11. Лаверов Н.П. Минералогия и геохимия консервирующих матриц высокоактивных отходов / Н.П. Лаверов, Б.И. Омеляненко, С.В. Юдинцев [и др.] // Геология руд. месторождений. – 1997. – Т. 39. – № 3. – С. 211–228.
12. Шабалін Б.Г. Консервуючі монацитоподібні матеріали для іммобілізації радіоактивних відходів та їх трансформація в природних умовах / Б.Г. Шабалін // Мінерал. журнал. – 2006. – Т. 28. – № 1. – С. 39–46.
13. Шабалін Б.Г. Синтез керамічних матриць на основі штучних сполук зі структурами цирконоліту, пірохлору і гранату / Б.Г. Шабалін, Ю.О. Тітов // Мінер. журнал. – 2009. – Т. 31. – № 4. – С. 49–59.
14. Гречановский А.Е., Брик А.Б., Радчук В.В., Шабалин Б.Г. Авторадиационные повреждения в цирконе по данным компьютерного моделирования и проблемы изоляции радиоактивных отходов / Материалы международного минералогического семинара «Современные проблемы теоретической, экспериментальной и прикладной минералогии, Сыктывкар, Геопринт, 2013, С. 339–341.
15. Гречанівський О.Є. Радіаційна стійкість природних та штучних мінеральних матриць для довготривалої та екологічно-безпечної утилізації високоактивних радіоактивних відходів. – Київ: Логос, 2012. – 128 с.
16. Allen M.P. Computer Simulation of Liquids / M.P. Allen, D.J. Tildesley. – Oxford: Clarendon Press, 1989. – 385 p.
17. Todorov I.T. DL\_POLY\_3: the CCP5 national UK code for molecular-dynamics simulations / I.T. Todorov, W. Smith // Phil. Trans. Royal Soc. A – 2004. – Vol. 362. – P. 1835–1852.
18. Tsuneyuki S. First-Principles Interatomic Potential of Silica Applied to Molecular Dynamics / S. Tsuneyuki, M. Tsukada, H. Aoki, Y. Matsui // Phys. Rev. Lett. – 1988. – Vol. 61, N 7. – P. 869–872.

19. Rabone J.A.L. Interatomic potential models for natural apatite crystals: incorporating strontium and the lanthanides / J.A.L. Rabone, N.H. de Leeuw // *J. Comp. Chem.* – 2006. – Vol. 27, N 2. – P. 253–266
20. Veiller L. Molecular dynamics simulation of the  $\alpha$ -recoil nucleus displacement cascade in zirconolite / L. Veiller, J.-P. Crocombette, D. Ghaleb // *J. Nucl. Mat.* – 2002. – Vol. 306, Iss. 1. – P. 61–72
21. Fan Qun-bo. Molecular dynamics calculation of thermal expansion coefficient of a series of rare-earth zirconates / Qun-bo Fan, Zhang Feng, Wang Fu-chi, Wang Lu // *J. Comp. Mat. Sci.* – 2009. – Vol. 46. – P. 716–719
22. Shukla P. Thermal transport properties of MgO and Nd<sub>2</sub>Zr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> pyrochlore by molecular dynamics simulation / P. Shukla, T. Watanabe, J.C. Nino, J.S. Tulenko, S.R. Phillpot // *J. Nucl. Mat.* – 2008. – Vol. 380. – P. 1–7
23. Pople J.A. Self-Consistent Orbitals for Radicals / J.A. Pople, R.K. Nesbet // *J. Chem. Phys.* – 1954. – Vol. 22, N 3. – P. 571–572
24. Grechanovsky A.E. The influence of structure and chemical bonding on the radiation stability of U-, Th- minerals : dissertation for candidate degree in physical and mathematical sciences: 01.04.21 / A.E. Grechanovsky. – Kyiv, 2008. – 152 p.
25. Ponomarenko O.M. Physical Models, Investigation Methods and Properties of Metamict Zircons / O.M. Ponomarenko, A.B. Brik, A.E. Grechanovsky, A.L. Larikov, A.M. Kalinichenko // *Mineral. Journ. (Ukraine)* – 2009. – Vol. 31, N 2. – P. 20–38
26. Nemukhin A.V. Molecular modelling by using the PC GAMESS program: From diatomic molecules to enzymes / A.V. Nemukhin, B.L. Grigorenko, A.A. Granovsky // *Moscow Univ. Chem. Bull.* – 2004. – Vol. 45, N 2. – P. 75–102
27. Trachenko K. How the nature of the chemical bond governs resistance to amorphization by radiation damage / K. Trachenko, J.M. Pruneda, E. Artacho, M.T. Dove // *Phys. Rev. B* – 2005. – Vol. 71, N 18. – P. 184104
28. Meldrum A. A comparison of radiation effects in crystalline ABO<sub>4</sub>-type phosphates and silicates / A. Meldrum, L.A. Boatner, R.C. Ewing // *Miner. Mag.* – 2000. – Vol. 64, N 2. – P. 185–194
29. Urusov V.S. Charge – transfer energy in computer modeling of structure and properties of minerals / V.S. Urusov, N.N. Eremin // *Phys. Chem. Miner.* – 1997. – Vol. 24, N 5. – P. 374–383
30. Sauer J. Theoretical Study of van der Waals Complexes at Surface Sites in Comparison with the Experiment / J. Sauer, P. Ugliengo, E. Garrone, V.R. Saunders // *Chem. Rev.* – 1994. – Vol. 94, N 7. – P. 2095–2160

*Стаття надійшла до редакції 20.01.14 російською мовою*

**© В.В. Радчук, А.Е. Гречанівський, О.Б. Брик, Б.Г. Шабалін**  
**КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ РАДІАЦІЙНО-СТИМУЛЬОВАНИХ ПРОЦЕСІВ**  
**У МІНЕРАЛАХ У ЗВ'ЯЗКУ З ВИРІШЕННЯМ МІНЕРАЛОГІЧНИХ,**  
**МАТЕРІАЛОЗНАВЧИХ ТА ЕКОЛОГІЧНИХ ПРОБЛЕМ**  
**(ЧАСТИНА ДРУГА)**

*Радіаційна стійкість кварцу  $\text{SiO}_2$ , фторапатиту  $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6\text{F}_2$ , цирконоліту  $\text{CaZrTi}_2\text{O}_7$ , пірохлору  $\text{Gd}_2\text{Zr}_2\text{O}_7$  та периклазу  $\text{MgO}$  досліджена методами комп'ютерного моделювання. Кількість пар Френкеля, які формуються в структурі мінералів після проходження вибитого атому торію з енергією 20 кеВ, розраховано за допомогою методу молекулярної динаміки. Неемпіричні розрахунки методом Хартрі-Фока із застосуванням гібридного функціоналу B3LYP були виконані для обчислення ефективних зарядів атомів кисню в мінералах. Встановлено, що радіаційна стійкість досліджених мінералів значною мірою залежить від типу структури та від значень ефективних зарядів атомів кисню. Також встановлено, що радіаційна стійкість координаційних структур значно вища, ніж раніше вивчених острівних структур циркону  $\text{ZrSiO}_4$  та ксенотиму  $\text{YPO}_4$ .*

**© V.V. Radchuk, A.E. Grecanovsky, A.B. Brik, B.G. Shabalin**  
**COMPUTER MODELING OF RADIATION-STIMULATED PROCESSES AND SOLVING**  
**OF MINERALOGICAL, MATERIAL SCIENCE AND ECOLOGICAL PROBLEMS**  
**(SECOND PART)**

*The radiation stability of quartz  $\text{SiO}_2$ , fluorapatite  $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6\text{F}_2$ , zirconolite  $\text{CaZrTi}_2\text{O}_7$ , pyrochlore  $\text{Gd}_2\text{Zr}_2\text{O}_7$  and periclase  $\text{MgO}$  has been studied by computer simulations methods. The number of Frenkel pairs after propagation of the primary knock-on atom of thorium with a kinetic energy of 20 keV has been characterized by molecular dynamics method. Calculation of the effective charge of oxygen atoms has been performed using ab initio Hartree-Fock method and B3LYP hybrid functional. It is established that the radiation stability of these minerals depends significantly on the type of structure and can be mainly characterized by the effective charge of oxygen atoms. It has been shown, that radiation stability of structures is considerably higher, than in previously studied island structures of zircon  $\text{ZrSiO}_4$  and xenotime  $\text{YPO}_4$ .*



---

---

## ДО ВІДОМА АВТОРІВ

### Структура статті

Структура статті повинна відповідати вимогам ВАК України. Стаття починається зі вступу, написаного у формі, доступній для розуміння широкому колу спеціалістів даної галузі науки. У вступі наводяться: аналіз останніх досліджень і публікацій, в яких розпочато вирішення даної проблеми і на які спирається автор; зв'язок з важливими науковими або практичними завданнями; відокремлення не вирішених раніше частин загальної проблеми, яким присвячується дана стаття.

Далі розміщується розділ, присвячений формулюванню мети статті і постановці досліджень. В основному тексті статті викладаються і ґрунтовно роз'яснюються отримані твердження і результати. Не слід перевантажувати статтю надмірною кількістю формул, дублюванням одних й тих самих результатів у формулах, таблицях та графіках.

Заключна частина має містити висновки, рекомендації щодо їх практичного застосування і перспективи подальшого розвитку даного напрямку.

### Обсяг статті:

- оглядово-узагальнювального характеру - до 9 сторінок формату А4;
- проблемного характеру - до 7 сторінок формату А4;
- про розв'язання конкретної наукової задачі - до 5 сторінок формату А4;

### **Рукописи статей, що перевищують зазначені обсяги, до розгляду не приймаються.**

Стаття має супроводжуватись короткою анотацією українською, російською та англійською мовами, яка має містити постановку задачі у стислій і точно сформульованій формі та основні результати. Також слід надати ім'я автора та назву статті українською, російською та англійською мовами. Далі вказується перелік (до 10) ключових слів (або словосполучень) статті мовою тексту публікації.

### До редакції необхідно подати:

- два якісно роздрукованих варіанти оформленої статті з підписами авторів;
- файл варіанту статті (CD-RW або DVD-RW) з анотацією трьома мовами (кілька абзаців);
- супровідні документи:
  - довідка про авторів (прізвище, ім'я, по батькові (повністю), науковий ступінь, вчене звання, посада та повна назва установи, де виконувалися дослідження, номери телефонів та e-mail для зв'язку);
  - внутрішня рецензія на статтю організації, від якої подається дана стаття;
  - експертний висновок (два примірники) про можливість опублікування матеріалів (при необхідності).

Рукопис має бути ретельно перевірено і підписано всіма авторами. Подальші виправлення та доповнення не допускаються.

---

## **Вимоги щодо оформлення рукопису статті**

Стаття повинна бути підготовлена українською, російською або англійською мовами і надрукована на одній стороні аркушів формату А4 з інтервалом 17 пт і берегами 2,0 см з кожного боку.

Підготовка статті здійснюється в текстовому редакторі MS WORD *for* WINDOWS, з використанням шрифту Times New Roman, Суг, кегль 12, інтервал 17 пт.

У верхньому лівому кутку статті потрібно вказати індекс УДК або відповідний індекс міжнародного кодування (великими літерами, вирівняти по лівому краю, кегль 12).

У статтях бажано використовувати одиниці системи СІ.

Усі формули мають бути набрані в редакторі Microsoft Equation.

Ілюстрації обов'язково нумеруються і на них повинні бути посилання в тексті. Крім того, кожен малюнок не може перевищувати розміру журнальної сторінки, уся графіка повинна бути комп'ютерною. Перелік літературних джерел оформлюється згідно з ГОСТ 7.1-84 і подається загальним списком у кінці статті. Список складається за чергою посилань у тексті (а не за абеткою). Посилання на літературні джерела в тексті даються в квадратних дужках.

Наприкінці статті наводиться коротка довідка про авторів, де вказуються прізвище та ініціали авторів, науковий ступінь, вчене звання, посада, назва підрозділу (кафедри) та організації, її місцезонашування (адреса, місто, країна), та особисті дані кожного з авторів (адреса, місто, країна, контактний телефон / факс, e-mail).

Обов'язково слід надати електронну версію в редакторі Microsoft Word. Назви файлів необхідно вказувати тільки латинськими літерами. Слід навести додатково файли, використані при запису статті (\*.tif, \*.psd, \*.doc, \*.jpg). Точність зображення растрових файлів – не менше 300 dpi.

### **До відома авторів:**

- Якщо статтю оформлено з порушенням зазначених вище вимог та правил, то редакція журналу після попереднього розгляду може відмовити автору в публікації.
- Усі статті публікуються за наявності позитивної зовнішньої рецензії. На зовнішнє рецензування статті направляються редколегією журналу.
- Зміст статті та якість перекладу (українською, російською або англійською мовами) переглядаються редакторами-коректорами журналу, проте відповідальність за зміст статті та якість перекладу несуть автори статті.
  - До статті можуть бути внесені зміни редакційного характеру без згоди автора.
  - Гонорар авторам не виплачується.
  - Остаточний висновок щодо публікації схвалює редакційна колегія журналу.

### **Рукописи статей надсилати на адресу редакції:**

**Україна, 03186, м. Київ, Чоколівський бульв., 13**  
**Інститут телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України**  
**Тел.(факс): (044) 245-87-97, E-mail: itelua@kv.ukrtel.net**

*Наукове видання*

**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**

**Збірник наукових праць  
Заснований у 2008 р.**

**ВИПУСК 14**

Технічний редактор - *В.П. Берчун*  
Складання і верстка - *В.П. Берчун*

Підписано до друку 13.05.2014 р.  
Формат 60 x 84 1/8. Наклад 300 прим.

---

**Інститут телекомунікацій і глобального  
інформаційного простору НАН України  
Чоколівський бульв., 13, Київ, 03186**

Видавець: Інститут обдарованої дитини НАПН України,  
04051, вул. Артема, 52-Д, Київ;  
Тел./факс: (044) 483-34-33

Свідоцтво про внесення до Державного реєстру суб'єктів видавничої справи  
Серія ДК № 3366 від 13.01.2009 р.