

В.В. КОВАЛЕВСЬКИЙ¹, О.Г. ЛИСИЧЕНКО¹, Т.Г. ІВАЩЕНКО², Є.П. ШАГО³

¹Державна установа "Інститут геохімії навколишнього середовища НАН України",
м. Київ

²Державне підприємство «Бар'єр» Мінпаливенерго України, м. Дніпродзержинськ

³Верховна Рада України, м. Київ

ЗАСТОСУВАННЯ ІНФРАЧЕРВОНОГО СКАНУВАННЯ ДЛЯ ВИРІШЕННЯ ЗАВДАНЬ ЕКОЛОГІЧНОЇ ТА ТЕХНОГЕННОЇ БЕЗПЕКИ

Дієвим інструментом підвищення рівня екологічної та техногенної безпеки в умовах виключно високого рівня і різноманітності впливу на навколишнє середовище є використання методів інфрачервоного сканування. Запропоновано ієрархічну структуру 4-х рівнів організації інфрачервоного сканування для завдань контролю та моніторингу природного середовища в країні та три головних типи інфрачервоного сканування для дослідження об'єктів.

Зростання в Україні різноманітності і інтенсивності небезпечних видів техногенної діяльності, їх динамічність, масштабність і складність потребують адекватного удосконалення методів і технічних засобів контролю безпечності діяльності, а також оцінки її екологічних наслідків. Без нових, більш надійних та ефективних методів та технічних систем контролю і моніторингу, без їх випереджаючого розвитку стало неможливо забезпечити вирішення завдань екологічної та техногенної безпеки.

Безпечне навколишнє середовище є очевидною і обов'язковою умовою сталого розвитку країни. Порушення зазначеної умови веде до необхідності штучного гальмування головних технічних державних програм та технічного прогресу в країні у цілому.

В попередніх статтях та презентаціях ІГНС, з питань удосконалення автоматизованих інформаційних систем (АІС) екологічної та техногенної безпеки, акцентовано увагу на необхідності розгляду повної групи умов, в яких функціонують об'єкти контролю, та комплексування засобів контролю та моніторингу різного відомчого підпорядкування.

Не менш важливим напрямком удосконалення АІС є створення і використання методик та технічних засобів високої достовірності та ефективності. Саме досягнення зазначених якостей можливе за рахунок використання методик, технологій та технічних засобів інфрачервоного (ІЧ) сканування.

Завданням ІЧ сканування є виявлення теплових аномалій шляхом фіксації ІЧ випромінюванні від об'єктів дослідження.

Інфрачервоний діапазон спектра електромагнітних коливань умовно поділяється на три частини (у мкм):

- ближній (0,74-1,35);
- середній (1,35-3,50);
- далекий (3,50-1000).

Для зйомок з космосу найбільш часто використовуються ближній ІЧ діапазон у багатоспектральних оптико-механічних системах - сканерах, які установлені на супутниках різного призначення.

ІЧ випромінювання, проходячи через атмосферу, вибірково поглинається. У цьому зв'язку ІЧ сканування можна вести з урахуванням ослаблення тільки в зоні так званих "вікон прозорості" (у мкм): 0,74-2,40; 3,40-4,20; 8,0-13,0; 30,0-80,0.

На термограмах (ІЧ знімках) чітко відображаються об'єкти і їхні елементи, які мають контрастність у діапазоні довжин хвиль виміру. Однак, у випадку одержання контрастної термограми, не гарантується одержання очікуваної інформації, що пояснюється одночасною дією різних механізмів формування ІЧ випромінювання.

Об'єкти нагріваються сонячним (зовнішнє) і ендегенним (внутрішнє) теплом по різному, залежно від властивостей і складу об'єкта дослідження, порід, теплової інерції, вологості, протікання хімічних процесів і багатьох інших причин. Вибір методів ІЧ сканування повинен забезпечувати мінімальний вклад неінформативних складових (перешкод) та максимум вкладу досліджуваного процесу в формування ІЧ випромінювання, яке фіксується сканером. Практично для кожного типу досліджень і для кожного виду типових умов необхідно розробляти окрему процедуру ІЧ сканування і обробки термограм.

В цьому випадку, через ІЧ діапазон відображаються особливості структури об'єкту, техногенна діяльність та її наслідки, що дає можливість оцінки якісних та кількісних характеристик стану екологічної та техногенної безпеки.

Метод ІЧ сканування дозволяє досягти високої ефективності в разі використання організації ІЧ сканування за ієрархічною схемою чотирьох рівнів (рис. 1).

ІЧ сканування на першому (ІЧ сканування зі супутника) та другому (ІЧ сканування з літального апарату) рівні дозволяє проводити контроль максимальної площі за мінімальний термін. Метою ІЧ сканувань на цих рівнях є контроль та моніторинг території всієї країни та окремих об'єктів. Характеристики знімків та сучасних систем космічного ІЧ сканування, які підтверджують необхідну ефективність, наведені в таблиці 1.

Українські супутники (Січ-1М, Січ-3-О) також дозволяють вирішувати ряд практичних і наукових задач регіонального і локального рівня з проведення контролю і моніторингу на сучасному рівні. Так, супутник дистанційного зондування з оптико-електронним телескопом «Січ-3-О», розробки Державного конструкторського бюро «Південне» ім. М.К. Янгеля та виробництва ДП «Виробниче об'єднання «Південний машинобудівний завод ім. О.М. Макарова», здатен обробляти у панхроматичному режимі смугу огляду шириною 10,4 км з просторовою роздільною здатністю у надирі 0,9 м [12].

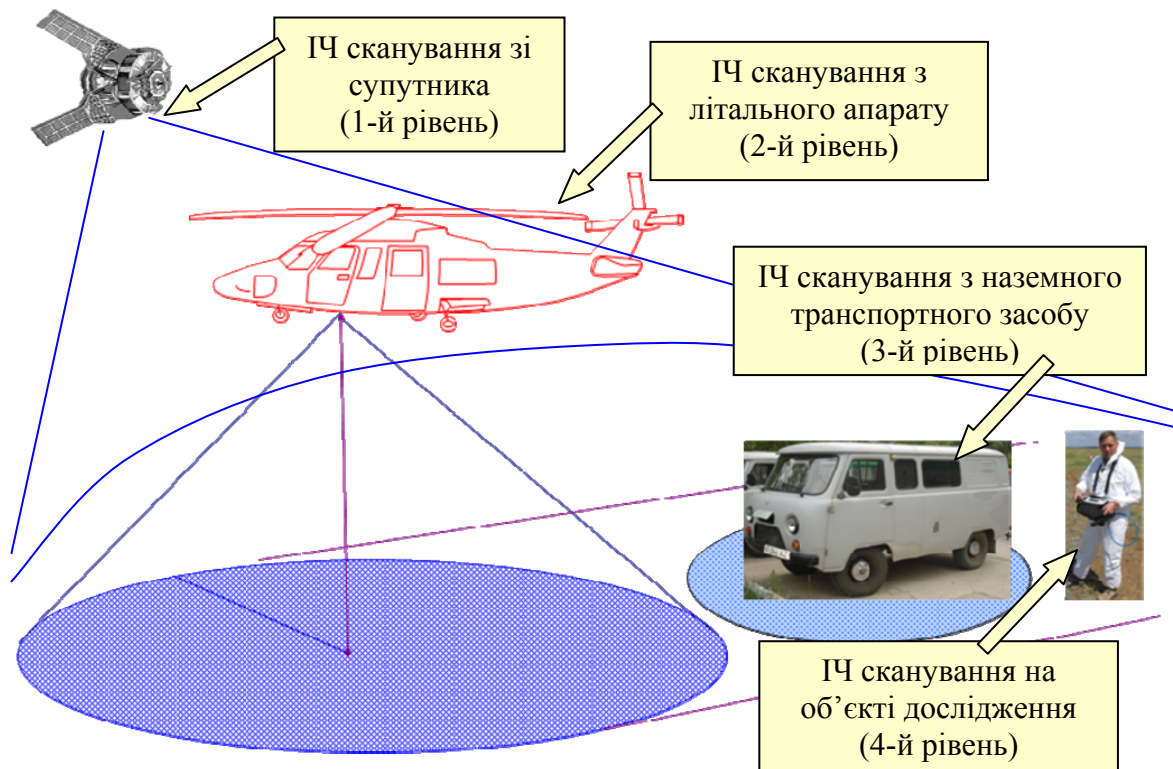


Рис. 1. Схема організації інфрачервоного сканування

Таблиця 1. Характеристики космічних знімків [2]

Параметр	Характеристики космічних знімків			
Тип супутника	QuickBird	Iconos	Spot	IRS,
Приналежність	США	США	Франція	Індія
Кількість ІЧ спектральних каналів	4	4	4	4
Просторова роздільна здатність у надирі (панхроматичний режим), м	0,61	1	5	5,8
Просторова роздільна здатність у надирі (мультиспектральний режим), м	2,44	4	10	23
Періодичність появи над об'єктом, дні	5	3	3	5 - 6
Максимальна тривалість виконання замовлення, дні	90	30	30	30
Розмір кадру, км/км (км ²)	16,5/16,5 (272)	11/11 (121)	60/60 (3600)	70/70 (4900)
Площа мінімального замовлення, км ²	25	49	400 архів	529
Площа максимального замовлення, км ²	64	100	400 новий	529

Відкритий ринок космічних знімків розрізненням один метр і краще зобов'язаний своєю появою американським супутникам "Iconos" (запущений в 1999 році), "QuickBird" (запущений в 2001 році) і "OrbView" (запущений в 2003 році). Для мультиспектральних знімків розрізненням 2,4 м, для панхроматичних зображень до 0.60 метр/пикс. Ціни на космічні знімки (після мінімальної стандартної попередньої обробки) тривалий час утримувалася на рівні \$ 20-30 за кв. км і вище [4, 5]. Опорні ціни 2004 року зазначені в таблиці 2.

Таблиця 2. Ціни на космічні знімки, отримані супутником Iconos, 2004 р.[4]

Вид продукції	Можливі варіанти замовлення	Ціна\$/км ²
ЕО зйомка на замовлення	Панхроматичні зображення з розрізненням 1 м	18,00
	Мультиспектральні зображення з розрізненням 4 м	18,00
	Кольорове зображення із просторовим розрізненням 1 м, отримане в результаті сполучення мультиспектрального (4 м) і панхроматичного (1 м) зображень	19,80
	Панхроматичне + мультиспектральне зображення	25,20
GEO <i>архів</i>	Панхроматичне зображення з розрізненням 1 м	7,00
	Мультиспектральне зображення з розрізненням 4 м	7,00
	Можливі варіанти замовлення	7,70
	Панхроматичне зображення з дозволом 1 м	9,80

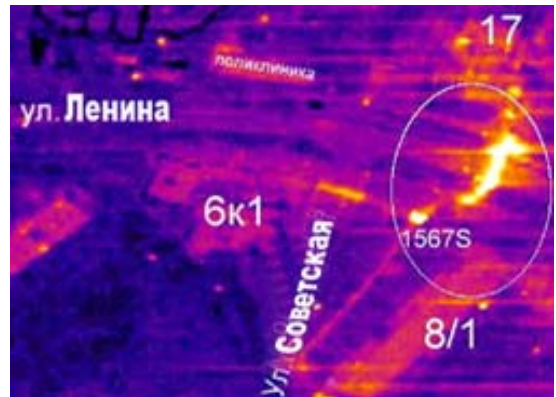
Сьогодні ТОВ "ТВІС" пропонує оригінальні дані від виробника з ліцензією міжнародного зразка компаній Digital Globe, Geoeye, Imagesat за цінами, близькими до

зазначених в таблиці 2. Наприклад, для мінімального (25 км^2) замовлення архівного знімка високого розрізнення WorldView-2, ціна становить $22 \text{ у.е.} \cdot \text{км}^2$ [5].

Можливості авіаційного методу ІЧ сканування (рівень 2) проілюстровано (рис. 2) прикладом виявлення авіаційними засобами підземного джерела теплоти. На знімках «а» і «б» рис. 2 зону підземного джерела теплоти обведено овалом білого кольору.



а) знімок району дослідження у відомому діапазоні



б) знімок району дослідження у ІЧ діапазоні

Рис. 2. Підземне джерело тепла. Знімки зроблені за допомогою летального апарату [3]

1-й і 2-й рівні ІЧ сканування фактично забезпечують вхідною інформацією для проведення ІЧ сканування за рівнями 3 та 4. Саме за схемами 3-го та 4-го рівнів виконуються ІЧ сканування безпосередньо на об'єктах дослідження і стає можливим обґрунтування остаточного висновку стосовно стану екологічної та техногенної безпеки.

На підставі накопиченого досвіду в ІГНС та НВО ЕТН виділяють три головних типи ІЧ сканування за рівнями 3 та 4, які здійснюються за різними методичними принципами.

1-й тип ІЧ сканування. Фактор, що досліджується, безпосередньо пов'язаний з процесами теплоутворення і тому його кількісні характеристики пропорційні характеристикам ІЧ випромінювання.

Прикладом є ситуація, що виникла 16.07.2007 р. о 16.55 год. на 12 км пікету 9, залізничного перегону Ожидів - Красне Львівської залізниці між с. Ожидів та с. Закомар'я Буського району [1, 6, 7, 8, 9].

В цьому місці сталася транспортна аварія потягу № 2005 з надходженням у навколишнє середовище білого (жовтого) фосфору. У наслідок аварії стався викид 130 т фосфору з 6 цистерн, що спричинило пожежу відкритої форми на площі 900 м^2 (знімки «а» і «б» рисунку 3).

Пожежу було ліквідовано о 22 годині 29 хвилин 16.07.2007 р. на площі 900 м^2 ; горіння фосфору тривало 5 годин 7 хвилин.



а)



б)

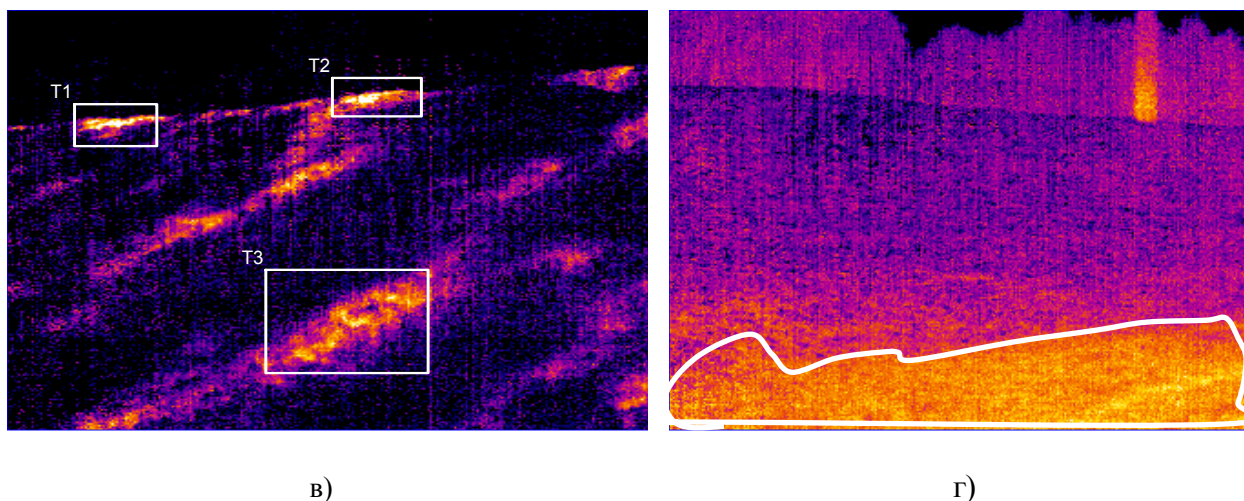


Рис. 3. Ілюстрація першого типу ІЧ сканування [6 - 9].

Виникла необхідність встановлення факту наявності певних запасів кристалічного білого фосфору, що не згорів, або продуктів його наступної трансформації, визначення особливостей розподілу запасів фосфору в межах місця аварії та її ближньої зони; перевірка достатності заходів ліквідації наслідків аварії для забезпечення техногенної та екологічної безпеки.

Властивість білого фосфору окислюватись з виділенням тепла дала можливість проводити ІЧ сканування території аварії за першим типом для виявлення місць поширення фосфору. В результаті сканувань було отримано термограми, дві з яких представлені на рисунку 3: «в» – насип та «г» – плато поряд з насипом. Білим кольором визначені місця зосередження фосфору.

2-й тип ІЧ сканування. Фактор, що досліджується, безпосередньо не пов'язаний з процесами теплоутворення. Але існує супутній фактор, кількісні характеристики якого пропорційні характеристикам ІЧ випромінювання, і якій пов'язаний з фактором дослідження. Фактор, що досліджується, оцінюється через оцінку супутнього фактору за допомогою ІЧ сканування. В цьому випадку необхідне додаткове дослідження, яке дає змогу встановити зв'язок між факторами та між супутниковим фактором і ІЧ випромінюванням.

Прикладом 2-го типу ІЧ сканування є дослідження накопичення радіонуклідів в приповерхневих хвостосховищах Придніпровського хімічного заводу.

ІЧ сканування проводилось з урахуванням місць можливого накопичення радіаційних забруднень, вдень та в темну частину нічного періоду при відсутності опадів. Денне сканування супроводжувалось попереднім пошуком ділянок з підвищеними значеннями потужностей експозиційних доз (ПЕД). Нічне сканування проводилось на ділянках, відібраних за результатами денного сканування.

Нічний режим інфрачервоного сканування передбачав усунення перешкод (в разі їх наявності) скануванню за рахунок денного та залишкового випромінювання прогрітих елементів об'єктів. Сканування проведено з обов'язковим контролем фонового радіаційного та інфрачервоного випромінювання аналогічних об'єктів та аналогічних територій за межами території об'єктів дослідного сканування.

При проведенні досліджень хвостосховищ було виявлено співпадання аномалій підвищення ПЕД з аномаліями підвищення ІЧ випромінювання. Таке співпадання виявлено при ІЧ скануванні одного зі схилів хвостосховища. Термограму сканування приведено на рис. 4. У виділених білими лініями зонах підвищеного ІЧ випромінювання значення ПЕД перевищують ПЕД прилеглих територій більш ніж у 4 рази. Визначення інфрачервоної аномалії проводилось шляхом: розрахунку середніх температур малих площ вимірювання, розрахунку середніх температур з площ вимірювання, визначених як однотипних, та шляхом порівняння температур вздовж перерізів вимірювання. Візуалізація вимірювань ПЕД не проводилась.

Пряма залежність ІЧ від іонізуючого випромінювання, або суттєвий розігрів місця зосередження радіонуклідів уявляється неможливими. Робочою гіпотезою пояснення співпадіння зон підвищених рівнів ІЧ і іонізуючого випромінювань є припущення, що радіонукліди зосереджені в матеріалі, який відрізняється від оточуючого середовища властивостями, що визначають теплоперенос. Наприклад, ці матеріали можуть мати більш високий коефіцієнт теплоємності, що пояснює одночасний позитивний контраст в ІЧ діапазоні і підвищений рівень ПЕД.

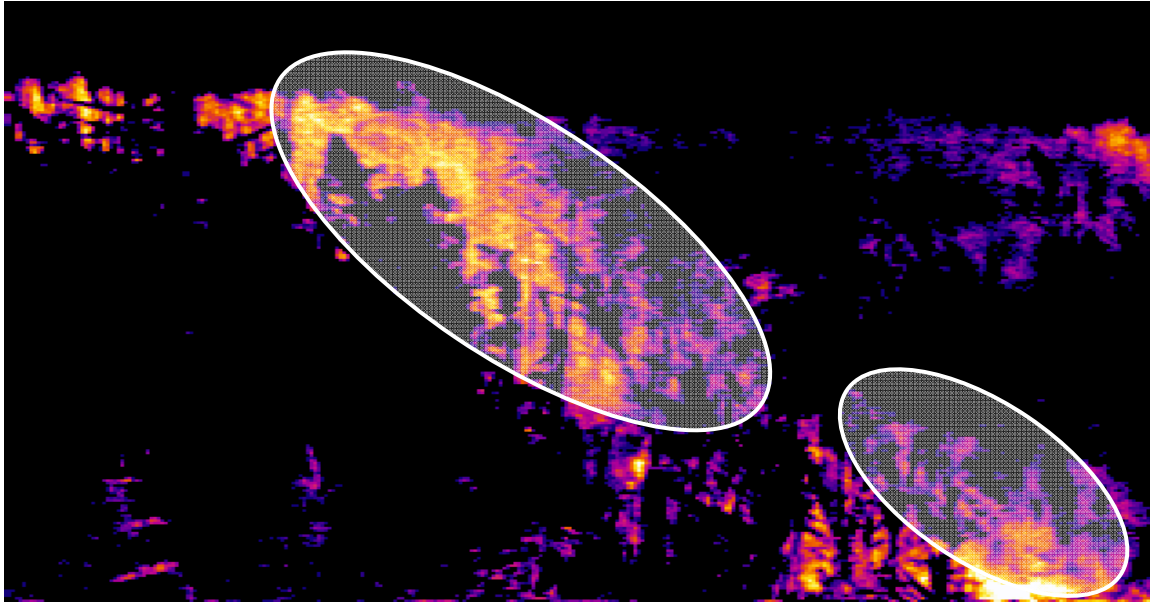
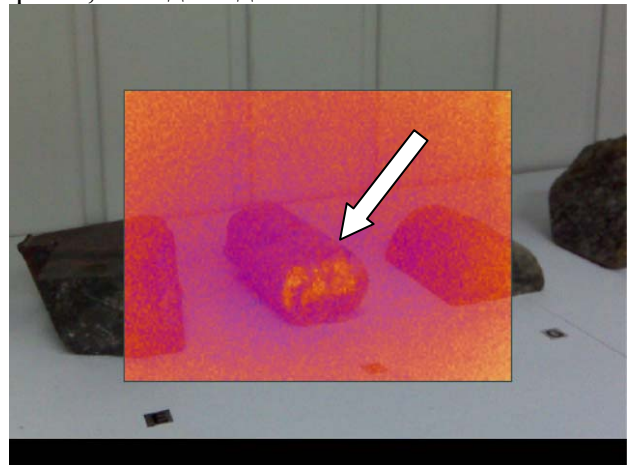


Рис. 4. Співпадання зон підвищеного ІЧ випромінювання та значень ПЕД [10]

Робоча гіпотеза проходить експериментальну перевірку в лабораторних умовах і про її підтвердження говорити завчасно, але вже виявлені зразки, які відповідають гіпотезі.



а)



б)

Рис. 5. Зразок з підвищеним рівнем ПЕД і позитивним контрастом в ІЧ діапазоні [10]

На рисунку 5 («а» - знімок в діапазоні бачення; «б» - знімок в діапазоні бачення з вставкою ІЧ зображення) білими стрілками вказаний зразок, який, в умовах експерименту, мав підвищений рівень ПЕД і позитивний контраст в ІЧ діапазоні.

3-й тип ІЧ сканування. За допомогою ІЧ сканування контролюється технічний стан машин, обладнання, об'єктів капітального будівництва та досліджується безпечність функціонування об'єктів дослідження.

За третім типом ІЧ сканування виявляється: позаштатний нагрів машин, обладнання та механізмів; порушення теплоізолювання; невраховані джерела тепла та потенційно небезпечні ділянки та елементи конструкції, для яких, за умовами завдання, достатньо якісної оцінки.

Прикладами 3-го типу є ІЧ сканування частини об'єктів Дніпровської ГЕС.

На рис. 6 приведені результати ІЧ сканування трансформаторної підстанції («б» рис. 6). Лінії вимірів на термограмі («а» рис. 6) відповідають графікам розподілу температур за лініями вимірів («в» рис. 6). Об'єктивні данні ІЧ сканування дозволяють виявити побічні джерела ІЧ випромінювання вже на початковій стадії їх утворення.

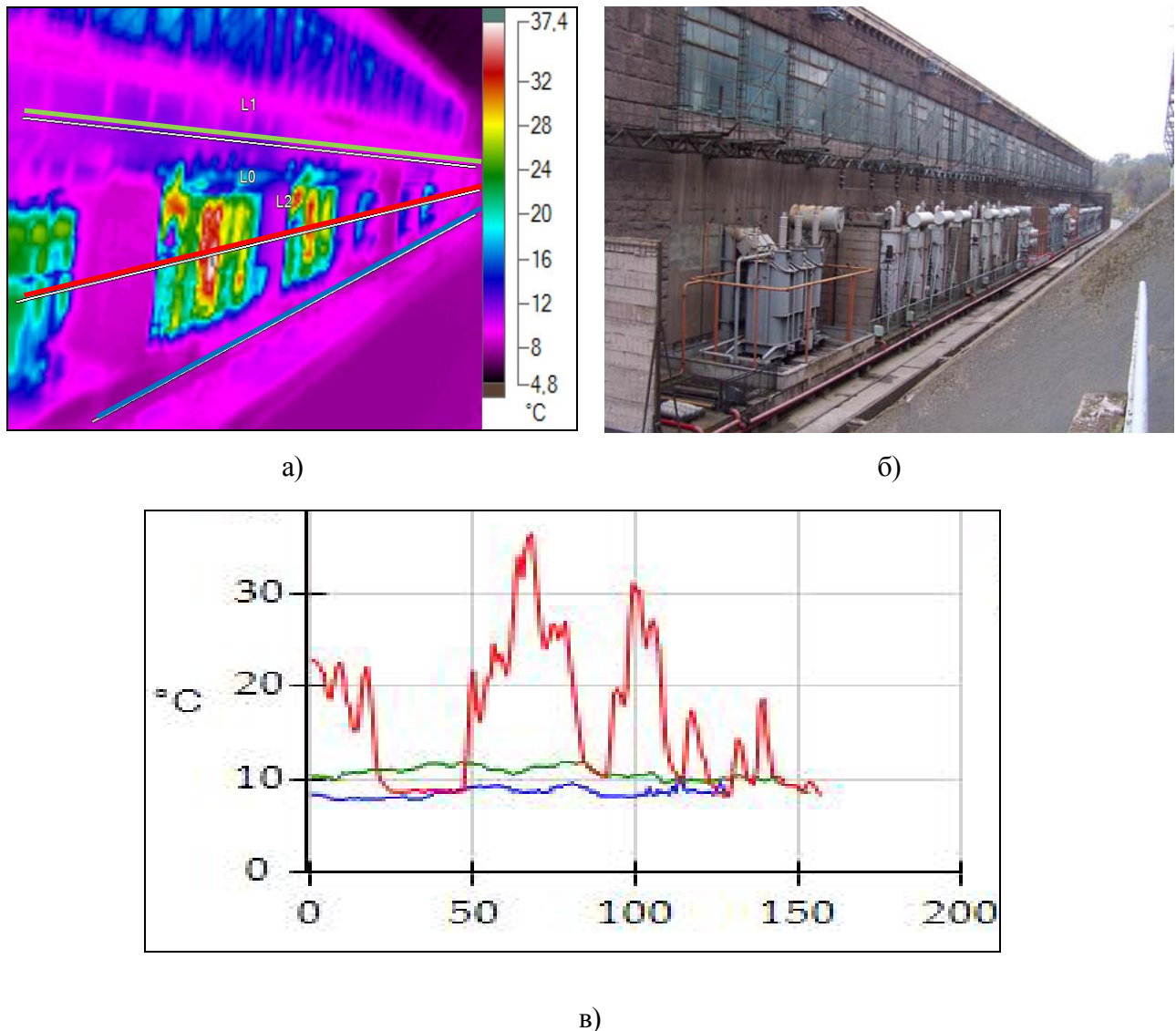


Рис. 6. ІЧ сканування трансформаторної підстанції [11]

Другим прикладом 3-го типу є ІЧ сканування щитової стіни Дніпровської ГЕС (рис. 7). Сканування супроводжувалось попереднім пошуком ділянок з підвищеною кількістю ознак фільтрації і фотографуванням означених ділянок.

Підтверджено можливість ідентифікації зон підвищеної фільтрації та зосередження вологи методом ІЧ сканування. На фотографії фрагменту сканування щитової стіни Дніпровської ГЕС («а» рис. 7) виділені межі двох зон ІЧ сканування з термограмами «б» та «в». Межі визначених зон підвищеної фільтрації в ІЧ діапазоні, за більшістю випадків, мали значні перевищення порівняно з зонами фільтрації, які спостерігались у діапазоні бачення (на знімку «а» темний колір). Для порівняння зони підвищеної фільтрації, які спостерігались одночасно в ІЧ спектрі та в спектрі бачення, виділені маркерами «1» - «5».

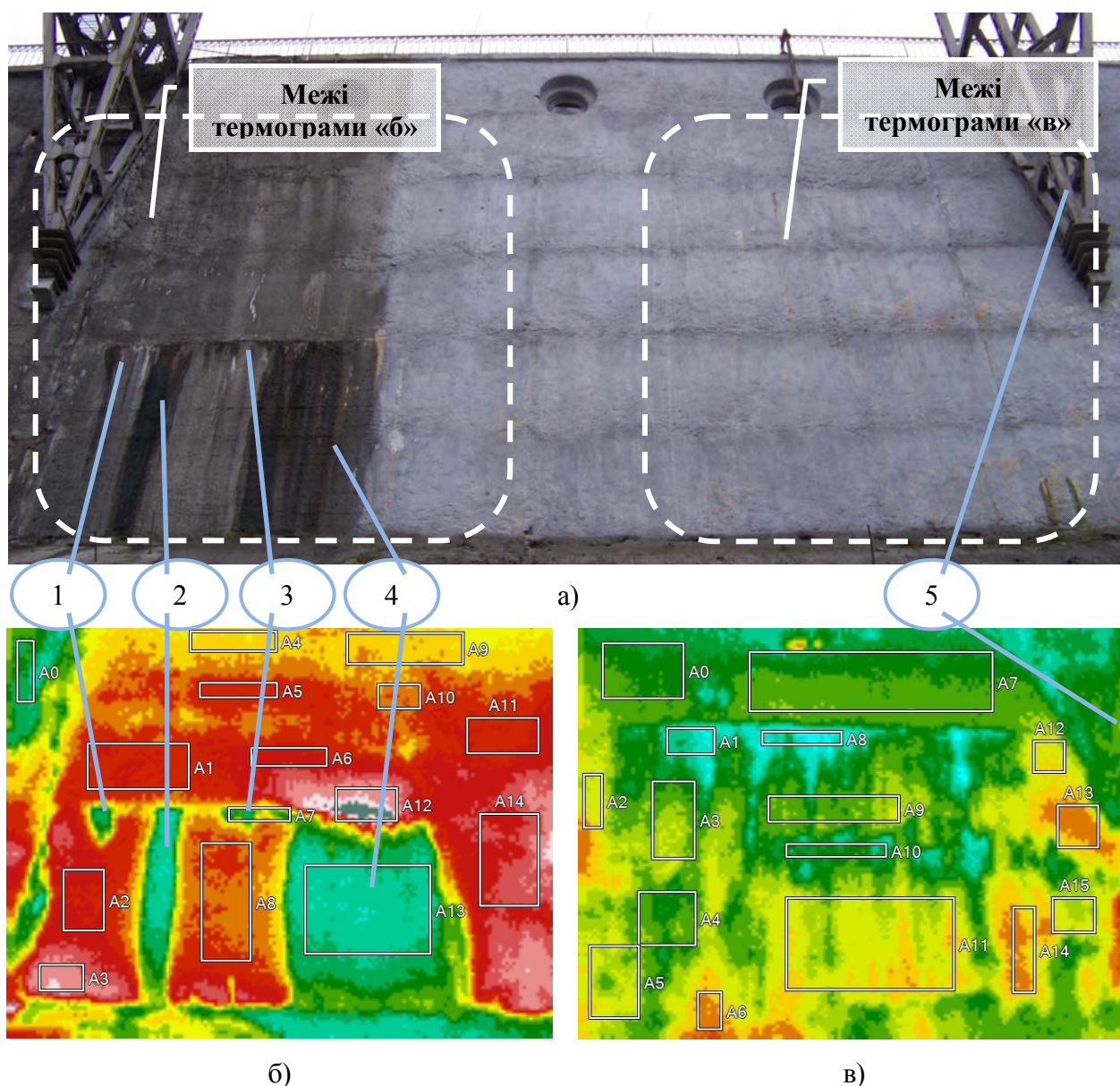


Рис. 7. ІЧ сканування фрагменту щитової стіни Дніпровської ГЕС [11]

Висновки

Для забезпечення об'єктивності і стабільності системи управління станом екологічної та техногенної безпеки необхідний випереджуючий розвиток технічних засобів і методик супроводу, контролю та моніторингу найбільш небезпечних та масштабних технічних проєктів і видів господарської діяльності. Напрямок зазначеного розвитку технічних засобів і методик є подальше впровадження методик та технічних засобів високої достовірності та ефективності. Напрямок отримання інформації за допомогою інфрачервоного сканування об'єктів дослідження є одним з самих перспективних. Збір та обробку інформації за цим напрямком доцільно проводити комплексно із створенням постійно поновлюваного інформаційного поля за ієрархічним принципом – від використання космічних та авіаційних засобів до досліджень безпосередньо на об'єкті. Метод, незважаючи на значні проблеми, дозволяє швидко отримати об'єктивну інформацію як на глобальному рівні (в статті: 1-й та 2-й рівні) при обстеженні великих площ, так і на об'єктовому рівні (в статті: 3-й та 4-й рівні) з забезпеченням максимальної достовірності.

1. Соботович Е.В., Лисиченко Г.В., Забулонов Ю.Л., Ковалевський В.В., Бондаренко М.Г., Сліпченко Б.В. Аварія з фосфором у Львівській області: факти, проблеми, екологічні наслідки // Збірн. наук. праць. Інститут геохімії навколишнього середовища НАН та МНС України, 2007.– Вип. 14. – С. 8 – 18.

2. Посилання на компанію "Прайм Груп"; «Карты местности становятся трехмерными»; сайт «Крок»; <http://cnews.ru/reviews/free/gov2005/part15/3d.shtml>; останнє уточнення 22.03.2010.

3. «Исследования и испытания средств дистанционного зондирования Земли»; сайт ГНЦ ФГУП «ЛИИ им. М.М.Громова»; http://www.lii.ru/issledovaniya_i_ispytaniya_sredstv_distantionnogo_zondirovaniya_zemli_s_razdelom_poyasnenij_.html; останнє уточнення 22.03.2010.

4. Посилання на джерело «Sovzond.ru»; «В России обвал цен на космические снимки»; Бизнес Техника, версія для КПК 08.06.2004; сайт «CNews|аналитика»; <http://www.cnews.ru/reviews/index.shtml?2004/06/08/159816>; останнє уточнення 22.03.2010.

5. «Компания ТВИС – первый в Украине супермаркет спутниковых снимков»; Бизнес Техника, версія для КПК 08.06.2004; сайт ООО "ТВИС"; <http://www.tvis.com.ua/index.htm>; останнє уточнення 20.03.2010.

6. Висновок комісійної судово-екологічної експертизи у кримінальній справі № 13-0646 на виконання Постанови Начальника управління нагляду за додержанням і застосуванням законів на транспорті прокуратури Львівської області від 11 вересня 2007 року про призначення комісійної судово-екологічної експертизи; НВО ЕТН; Львів, Київ; 2007.

7. Аналіз дій органів управління та сил під час ліквідації надзвичайної ситуації техногенного характеру. Головне управління МНС України в Львівській області "03" вересня 2007 року.

8. Наукова еколого-експертна оцінка екологічної ситуації в місці аварії (Залізничний перегін «Ожидів - Красне» Львівської залізниці, аварія виникла 16.07.2007); ІГНС, НВО ЕТН; К. – 2007.

9. Заключний звіт зі здійснення інфрачервоного сканування поверхні в місці аварії на виконання природоохоронного заходу «Моніторинг довкілля у місці техногенної аварії біля смт Ожидів»; НВО ЕТН; Львів, Київ; – 2008.

10. Ітоговий звіт «Польові контрольно-вимірювальні роботи, ландшафтно-геохімічна характеристика території колишнього Виробничого об'єднання Придніпровський хімічний завод» з виконанням експертизи та контролю робіт з паспортизації хвостосховищ та об'єктів уранового виробництва». Етап 2. ІГНС; К., – 2009.

11. Звіт про створення науково-технічної продукції на тему: "Проведення комплексного обстеження та оцінка геодинамічних умов в зоні розташування греблі Дніпровської ГЕС з урахуванням тектонічної активності та сейсмічних впливів". Етап 2: «Польове інструментальне обстеження району розташування Дніпровської ГЕС, побудова спеціалізованих карт та написання звіту»; Державне підприємство "Екоінформ" НАН України; К., – 2009.

12. «Космічні комплекси. Космічні апарати»; Офіційний портал Національного космічного агентства України; <http://www.nkau.gov.ua/NSAU/catalognew.nsf/systemR?openview>; останнє уточнення

В.В. Ковалевский, А.Г. Лисиченко, Т.Г. Ивашенко, Е.П. Шаго

ПРИМЕНЕНИЕ ИНФРАКРАСНОГО СКАНИРОВАНИЯ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ И ТЕХНОГЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Действенным инструментом повышения уровня экологической и техногенной безопасности, в условиях исключительно высокого уровня и разнообразия воздействия на окружающую среду, является использование методов инфракрасного сканирования. Предложено иерархическую структуру 4-х уровней организации инфракрасного сканирования для задач контроля и мониторинга природной среды в стране и три главных типа инфракрасного сканирования для исследования объектов.

V.V. Kovalevskiy, O.G. Lysychenko, T.G. Ivaschenko, E.P. Shago

APPLICATION OF INFRARED SCANNING FOR DECISION MAKING FOR ECOLOGICAL AND TECHNOGENIC SAFETY

The method of infrared scanning is effective instrument of increase of ecological and technogenic safety, in the conditions of exceptionally high level and different affecting on the environment. The hierarchical structure of 4th levels of organization of infra-red scan-out for the control and monitoring of natural environment in a country and three main types of infrared scanout for research of objects is offered.