

УДК 5218.8.04

Л. П. Ліщенко

Науковий Центр аерокосмічних досліджень Землі НАН України, Київ

Застосування ландшафтно-системного підходу та аерокосмічної інформації до оцінювання геоекологічного стану гірничопромислових територій

Представлено 25.06.07

Пропонується методика застосування ландшафтно-системного підходу до геоекологічного оцінювання ландшафтних комплексів та дослідження просторово-часової динаміки екологічного стану геологічного середовища гірничопромислових природно-техногенних систем. Ландшафтні комплекси розглядаються як складні системи, що складаються з підсистем — певних типів ландшафтів, з врахуванням їхніх пріоритетів в природно-технічних системах та визначаються в результаті дешифрування матеріалів аерокосмічної зйомки. Запропоновано інтегральний підхід до класифікації ландшафтних комплексів, які відрізняються між собою ступенем антропогенних змін компонентів та спектральними відмінностями на дистанційних матеріалах. В розробленій класифікації виділяються групи природних, модифікованих, антропогенних, техногенних ландшафтів. Для оцінювання геоекологічного стану гірничопромислових природно-техногенних систем створено сім еталонних моделей екологічних станів на основі змін просторової та генетичної структури ландшафтних комплексів.

Системний підхід являється методологічною базою вивчення та оцінювання стану навколишнього середовища, а одним із напрямків реалізації такого підходу є дослідження ландшафтно-організації території і геоекологічний аналіз на основі вчення про природно-техногенна системи (ПТС).

Концептуальними підходами до геоекологічного оцінювання в гірничопромислових районах є збереження природного потенціалу геологічного середовища та довкілля в цілому, придатність для подальшого господарчого використання та безпечного проживання людей на даній території.

За критерій оцінювання було прийнято сам ландшафт як територіально організована ділянка, що має повний набір характеристик, які інтегрально передаються на дистанційних матеріалах у вигляді дистанційного образу. Характеризуються ці ділянки з точки зору порушеності (збуреності) природного середовища, тобто аналізуються зміни, які відбулися за час гірничопромислового використання. Вивчається стан ландшафтних комплексів та реконструюється ландшафтна ситуація незмінених, корінних ландшафтів, які існували до антропогенного і техногенного втручання. За часовими інтервалами прослідковуються зміни, які виникли в

результаті діяльності людини та промислового використання території. Найбільш емним параметром оцінювання ландшафтного комплексу за космічними матеріалами є: зовнішній вигляд ландшафту, інтегральний дистанційний образ, назва, що його описує, та площа, яку він займає. Можливо, цей параметр не дає повної уяви про силу змін і перетвореності ландшафтного комплексу, тому що один і той же зовнішній образ має і приховану внутрішню структуру, яка не проявилась у його фізіономічних характеристиках. Тип функціонального використання також може мати різну інтенсивність впливу, особливо це відноситься до забруднення атмосфери, літо- та гідросфер. Але сам спектральний і морфоструктурний образ несе інформацію про ступінь деструкції та змінності ландшафтного комплексу, тобто показує опосередковано, які екологічні стани притаманні тому чи іншому рисунку зображення ландшафтного комплексу. Тобто, шляхом дешифрування космічних знімків давалась інтегральна оцінювання ландшафтного образу з точки зору екологічної безпечності. Для цього по-перше, була обґрунтована класифікація ландшафтних комплексів гірничопромислових територій на основі дистанційних матеріалів, яка взята за основу оці-

Таблиця 1. Класифікація ландшафтних комплексів гірничопромислової ПТС

ГЛК	Типи ландшафтних комплексів (ТЛК)	Бал	
П-1	1. Степові вододільні	1	
	2. Терасові степові і дібровні	1	
	3. Сухі лучні (висока заплава)	1	
П-2	4. Яружно-балкові ерозійні	2	
	5. Схиліві ерозійно- та зсувонебезпечні	2	
	6. Заплавні, заболочені, острівні	2	
	7. Аквальні — руслові, озерні	2	
М-1	8. Пасовища, сіножаті	3	
М-2	9. Орні (поля)	4	
	10. Лісорегулюючі (фруктові сади, лісопосадки, лісополоси)	3	
	11. Рекреаційні (садово-паркові, пляжні, санаторно-оздоровчі)	3	
	12. Історико-культурні (кладовища, кургани, вали, укріплення, місця стародавніх поселень)	3	
	13. Водогосподарчі (меліоровані русла, ставки, греблі, водосховища)	5	
	14. Меліоровані (канали, зрошені землі, наливи)	5	
	15. Сельбищні (сільські — житлові, садібні і підсобні споруди)	4	
	А-1	16. Комунікаційні (залізничні колії і споруди, автомагістралі з насипами та укосами, мости, віадукі, трубопроводи, водоводи, лінії електромережі та зв'язку)	5
			5
	А-2	17. Белігеративні (військові частини, полігони, укріплення)	6
		18. Тваринницькі (господарчі споруди, скотомогильники, стійбища)	6
		19. Міські ландшафти (капітальна багатоповерхова забудова, транспортна мережа з допоміжною соціально-культурною інфраструктурою, інженерними та промисловими об'єктами)	8
		20. Ландшафти промислових підприємств обслуговуючих галузей (цехи, котельні, склади)	8
		21. Рекультивовані землі (пост кар'єрні)	7
		Т-1	22. Кар'єрні ландшафти (з порушеною літогенною основою від'ємних морфоструктур — кар'єри, ями, шахти, рови)
9			
Т-2		23. Ландшафти збагачувальних комплексів	9
		24. Відвальні ландшафти (з порушеною літогенною основою позитивних морфоструктур відвали порід, терикони, дамби, вали)	9
		25. Відстійникові ландшафти (гірничопромислових гідроспоруд — відстійники, шламосховища, гідровідвали)	10
	26. Ландшафти гірничо-збагачувальних підприємств — комплекс споруд, відвали, хвостосховища, очисні споруди	10	
	27. Ландшафти промислових підприємств важкої індустрії (металургійні, трубопрокатні, машинобудування, коксохімічні, хімічні. Комплекс крупних цехів, будівель, котельень, ТЕЦ)	10	
	28. Ландшафти гідротехнічних, енергетичних споруд — градирні, насосні станції, дамби, димові труби, цехи	10	

нювання екостану геологічного середовища гірничопромислових територій (табл. 1).

Складність класифікації у тому, що для ПТС важко застосувати традиційні для ландшафтного картографування поняття — місцевість, урочище, фація, тому що вони не притаманні техногенним системам. ПТС є полігеокомпонентна, різногенетична система. Тому для ПТС певних видів техногенного впливу застосовується поняття ландшафтно-функціонального комплексу, а оскільки в нашій класифікації наявні всі типи ландшафтів від первинних природних до техногенних, то ми користуємося узагальненим терміном ландшафтний комплекс (ЛК), котрий можна використовувати для комплексів різного генезису і розмірності (від найдрібніших утворень до найбільших).

За одиницю класифікації приймаємо типи ЛК (ТЛК), які мають подібний ступінь антропогенної трансформації, і об'єднані в групи ЛК (ГЛК), котрі показують однакову величину навантаження на екосистему. При кількісній оцінці необхідно, щоб всі різномірні показники вимірювались в зіставимих одиницях. Тому для характеристики різногенетичних ландшафтних комплексів ми застосовуємо такий показник, як площа, яку вони займають, а точніше, процентне співвідношення всіх ландшафтних комплексів, що складають ПТС. А вже потім умовно оцінюється тиск або вплив, який вони спричиняють на довкілля та яку геоecологічну ситуацію вони створюють.

По-друге, запропоновано еталонні класи геоекологічного стану гірничопромислових ПТС на основі аналізу ландшафтних комплексів, топографічних та тематичних геологічних карт з використанням аерокосмічних матеріалів та наземних спостережень (табл. 1). Природно-техногенна система будь-якої гірничопромислової території надзвичайно неоднорідна за кількістю і складом різногенетичних видозмінених ландшафтних комплексів. З огляду техногенного навантаження вони визначаються різною кількістю та набором промислових переробних підприємств та їхніх відстійників, інших очисних споруд, специфікою транспортної інфраструктури, характером, типом та розмірами селитебної забудови, наявністю відкритих кар'єрів, відвалів або підземних виробок, сховищ, шахт, ставків-накопичувачів, відстійників, тощо. В якості елементів природно-технічної системи, в залежності від задач досліджень, приймаємо її основні компоненти або їхні частини, а також низку інтегральних образів систем, які отримуються за допомогою ДЗЗ.

Під техногенним навантаженням розуміється сила впливу різних видів людської діяльності, що припадає на одиницю площі. У практиці геоекологічних досліджень в залежності від базових наукових, прикладних підходів вивчення техногенного

Таблиця 2. Класи екологічного стану гірничопромислових ПТС

Класи ГП ПТС	Екологічний стан ПТС	Геоекологічні характеристики класу	Характеристики ландшафтних комплексів
I	Еталонний (без антропогенних втручань)	Незмінені геоекологічні умови, природний екологічний фон	Присутні тільки незмінені природні ландшафти
II	Оптимальний	Геоекологічні умови майже не змінені	Переважають не змінені природні ландшафти
III	Нормальний	Сприятливі геоекологічні умови, незначна порушеність літогенної основи	Слабкий антропогенний вплив, переважають група модифікованих ландшафтів
IV	Допустимий	Задовільні геоекологічні умови, відсутні зміни геологічного середовища	Відсутній антропогенний вплив, переважають групи антропогенних та модифікованих ландшафтів
V	Гранично допустимий, потенційно небезпечний	Напружені геоекологічні умови, значний вплив на геологічне середовище	Значна швидкість ландшафтних змін, переважають антропогенні ландшафти
VI	Критичний	Несприятливі екологічні умови, значна порушеність літогенної основи	Корінна переробка ландшафтних комплексів, інтенсивна антропогенізація та технізація ландшафтів
VII	Катастрофічний	Незадовільні екологічні умови, сильні порушення геологічного середовища	Переважають техногенні ландшафтні комплекси, сильний вплив на природне середовище

Таблиця 3. Еталони відповідності класів ПТС та груп ландшафтних комплексів

Класи	Групи							
	П-1	П-2	М-1	М-2	А-1	А-2	Т-1	Т-2
I	60—70	30—40						
II	50—60	20—30—	10—20	5—10				
III	30—40	20—30	20—30	10—20	5—10	0—5		
IV	20—30	20—30	20—30	10—20	10—20	5—10		
V	10—20	10—20	10—20	10—20	30—40	10—20	5—10	5—10
VI	0—5	0—5	10—20	5—10—	5—10	30—40	20—30	10—20—
VII			10—20	0—5	30—40	10—20	40—50	20—30

навантаження існує досить багато методик його обчислення і, відповідно, розроблено ряд оціночних шкал. Все залежить від індивідуальності території, масштабу досліджень тощо. Для гірничодобувного району показником навантаження є площа порушених земель, новоутворені форми рельєфу, активізація екзогенних процесів та зміни гідрологічного та гідрогеологічного режимів території. Показниками чи індикаторами екологічної ситуації тут можуть бути як окремі компоненти ландшафту (геологічний субстрат, вода, ґрунти, рослинність), екологічний стан яких регулюється гігієнічними аспектами нормування, тобто гранично допустимими концентраціями (ГДК), так і комплексними показниками — продуктивність, видове різноманіття, інтенсивність процесів та інше. Вибір показників для характеристики екологічної ситуації конкретних ландшафтів багато в чому залежить від особливостей і методів отримання інформації.

В теорії систем зв'язки вивчаються з суто функціональної сторони як зміни станів одних елементів під впливом змін станів інших елементів, тобто це

може бути порівняння станів ЛК по різночасових знімках або різних територій по одночасовому. Типи станів ПТС можна визначати по декількох різнопланових критеріях — тривалості існування системи, відповідності природній нормі, забезпеченню соціоекономічної функції, тобто екологічності. З математичної точки зору класифікація станів є послідовним поділом багатовимірного простору станів на його все менші підпорядковані одна одній області. Визначення стану потребує визначення часового масштабу або інтервалу, в якому аналізується стан, та одиниць виміру часу (добові, сезонні, багаторічні або еволюційні зміни системи). Також необхідно визначитись в наборі ознак, якими описується система, тобто які елементи системи зазнають змін. Зміни станів елементів відбуваються в двох виглядах, безперервно та дискретно (стрибокподібно). Кожне явище можна представити в дискретній формі, якщо місце найбільших змін в просторі (часі) розглядається як різка межа між ділянками незмінених станів.

Можна розрізнити залежні і вимушені рухи сис-

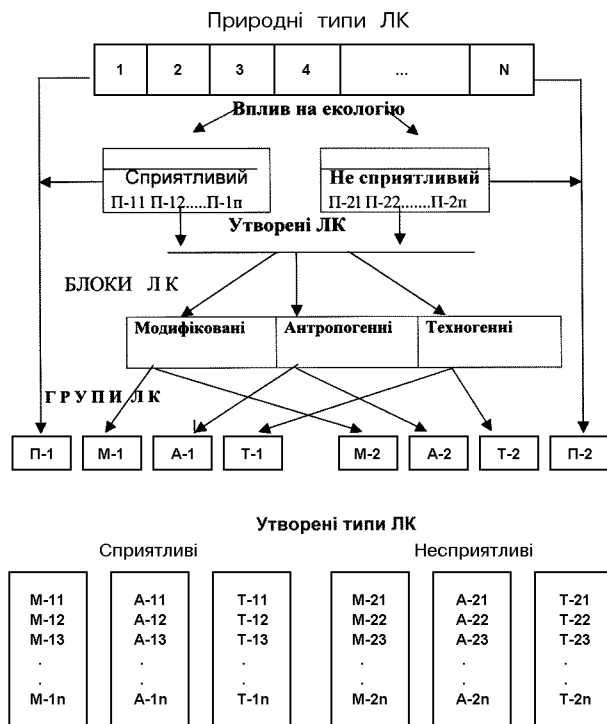


Рис. 1. Систематизація ландшафтних комплексів ПТС для гео-екологічного оцінювання

теми та саморозвиток. У першому випадку система наслідуює зміни зовнішніх умов (клімат, тектонічні рухи), а в другому зміни відбуваються при незмінному стані середовища і обумовлюються структурою (виникнення водосховища, кар'єра) тобто відбувається одноразова вимушена різка зміна, що супроводжується зміною і перебудовою всієї системи. Щоб досягти стану рівноваги, система проходить певний шлях перебудови і становлення. При цьому змінюється структура ПТС.

Для вивчення зв'язку ландшафт — геологічне середовище — геоекологічний стан, ми використовували матриці, в які пов'язувались характеристики цих явищ для геоекологічної оцінювання. Зв'язки застосовувались для інтерпретації по вектору вплив — зміни — наслідки. Наприклад, видобуток руди — порушення геологічного середовища, зміна гідрогеологічного режиму — забруднення підземних вод, деструкція ґрунтового покриву, виведення землі з господарського використання. Такі уявні (евристичні) моделі дозволили нам спрогнозувати класи еталонних систем.

Схожість систем проявляється в аналогічному наборі елементів, в схожості структури, стану, поведінки, або деякої комбінації їхніх характерис-

тик. Впроваджується модель або еталон, тобто система подібна іншій, яка приймається за оригінал. Щоб охарактеризувати геоекологічний стан гірничопромислового району, нам довелося створити декілька моделей ПТС, починаючи з натурального недоторканого антропогенезом ландшафту, який приймається за геоекологічний еталон.

Нормальним станом системи є властивість структури системи не змінювати стан під впливом антропогенних факторів та стихійних природних процесів, тобто область нормальних станів формується та змінюється в умовах відсутності зовнішніх впливів. До області допустимих станів відносяться стани, перебуваючи в яких система здатна виконувати свою функцію (ми оцінюємо безпеку життєдіяльності людини і можливість виконання соціоекономічної функції). До області недопустимих відносяться стани, в яких система виконує функцію неефективно. Гранично допустимі стани розділяють області допустимих і недопустимих станів, коли відбувається якісна і кількісна зміна ознаки системи, і вона перестає виконувати свої функції.

По мірі впливу техногенних факторів співвідношення ЛК системи змінюються, з'являються нові ЛК, в характеристиці ПТС враховуються переважання певних ЛК, таким чином, створюються моделі еталонних ПТС, які відповідають певним геоекологічним станам гірничопромислових територій. Нами пропонується виділяти сім геоекологічних станів ПТС. Ця кількість, на нашу думку, є найоптимальнішою, крім того, для прийняття рішення згідно з відповідною теорією максимальна кількість параметрів, яку може врахувати людина при виборі рішення, є не більше 6—7.

Порівнюючи площі ЛК, ми не вважаємо, що їхні площі мають лінійну залежність із станом ПТС. Все залежить від певних комбінацій елементів системи, а саме від типів і груп ЛК, з яких вона складається. Для визначення заданої кількості станів (7 класів) були змодельовані всі можливі та ймовірні ситуації, коли природний ландшафт знає збурювального впливу антропогенних факторів. Під їхньою дією геоекологічний стан змінюється від оптимальних до критичних і катастрофічних значень (табл. 2) по відношенню до умов існування як системи, так і людини в ній. При цьому елементи системи (наприклад, геологічне середовище як наш об'єкт досліджень або ж самостійна система нижчого рівня — окремий тип ЛК) поступово змінюються під впливом техногенезу шляхом зміни деяких її показників (табл. 3).

На основі експертних оцінок станів гірничопромислових систем запропоновані еталони у вигляді набору різних комбінацій ЛК. Задаються процентні співвідношення площ певних груп ЛК. Моделі представлені у вигляді таблиць еталонів екостанів,

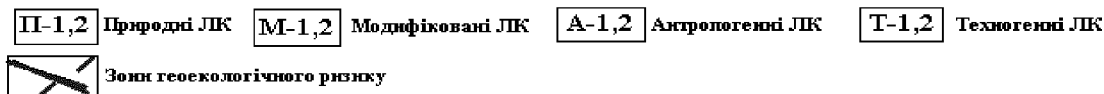
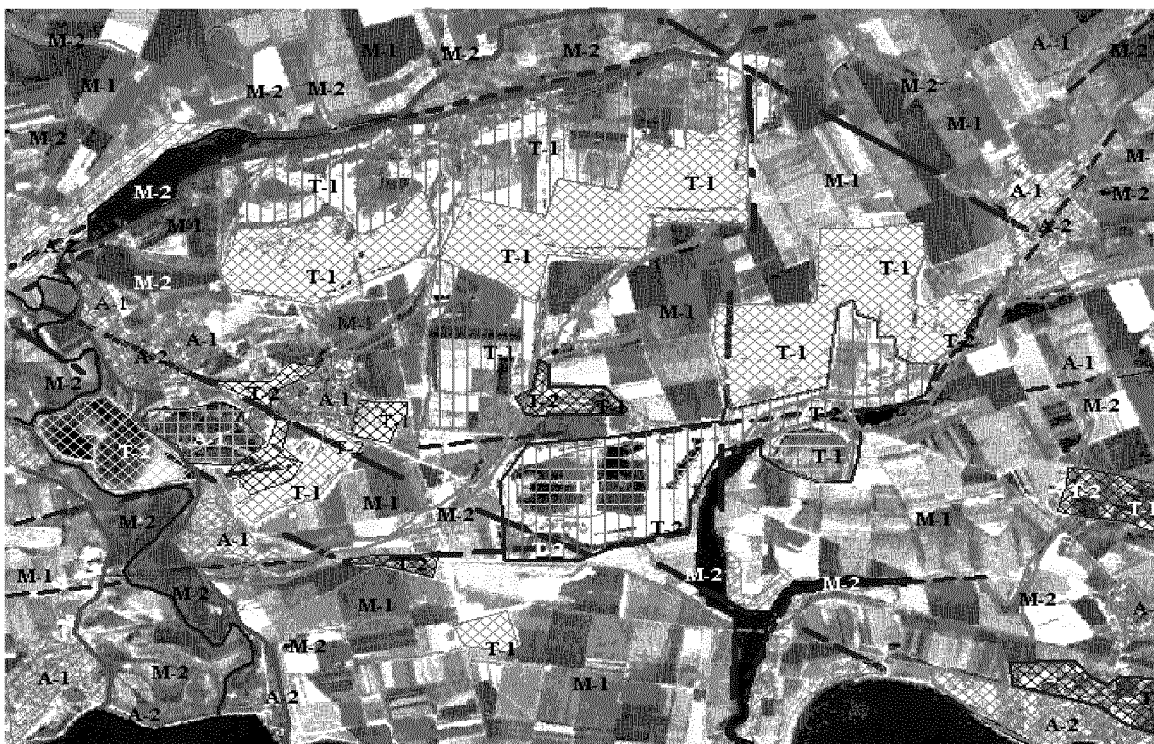


Рис. 2. Результати дешифрування ландшафтних комплексів та класифікації за групами

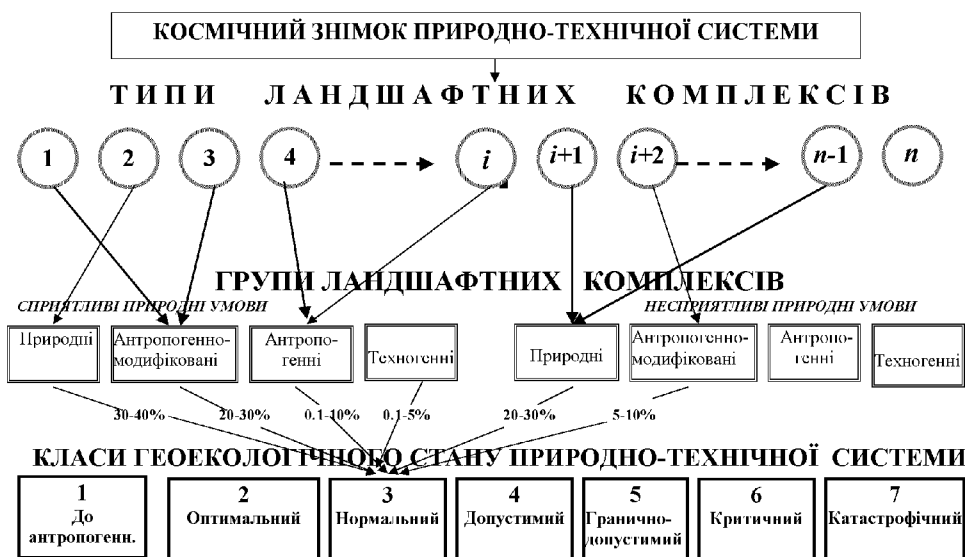


Рис. 3. Структурна схема класифікації та оцінювання гірничопромислової природно-технічної системи

які можуть розглядатись як інваріанти різних ПТС зі станом від натурального природного до катастрофічного (табл. 3). В залежності від функціональних особливостей всі утворені ТЛК поділяються ще на три розділи: антропогенно модифіковані, антропогенні, техногенні, кожен з яких також включає два підрозділи, тобто кожен із змінених ЛК може формуватись в сприятливих та несприятливих екологічних умовах. До других відносяться ЛК з розвитком екзогенних геологічних процесів, таких як ерозія, карст, зсуви, підтоплення, а також ландшафти, приурочені до лінеаментних зон та вузлів підвищеної тріщинуватості, в яких мають місце зміни геодинамічних напруг та підвищена флюїдопровідність. Зазначені умови впливають на енергомасообмін в ландшафті, підсилюють вплив антропогенних факторів і сприяють створенню небезпечних екоситуацій, таких як підтоплення, забруднення підземних вод, активізація гравітаційних, ерозійних, суфозійних процесів, утворюючи тим самим зони екологічного ризику. Ці ділянки і зони виділяються за дистанційними матеріалами за допомогою геоіндикаційного дешифрування. Всього ми отримуємо вісім груп ЛК, які характеризуються як ступенем змінності, так і показником екологічності (рис. 1).

Цей підхід до дослідження гірничопромислових систем допомагає визначити співвідношення проблемних та несприятливих ЛК в системі, їхні негативні наслідки, що мають місце, та визначити напрямки робіт, які потребують невідкладного рішення (оздоровлення навколишнього середовища, науково обґрунтований план організації та подальшого розвитку території).

Дешифрування космічних знімків виконується оператором-дешифрувальником за спектральними яскравостями та просторово-структурними ознаками з використанням комплексного підходу візуально-інструментальних і цифрових методів обробки інформації. На космічних знімках гірничопромислової території, виконаних в оптичних та теплових діапазонах, дешифрується більшість процесів і явищ, які протікають в ПТС. Проводиться: типологічне дешифрування (по типам ЛК), визначення зон геологічних розломів як зон екологічного ризику в гірничопромислових районах, геоекологічне районування або оцінювання геоекологічного стану гірничопромислових ПТС (рис. 2).

Процедура геоекологічної оцінки ПТС у досліджуваному районі являє собою визначення видового складу типів ЛК, об'єднання їх в універсальні групи ЛК, обчислення їхніх відносних площ і

порівняння отриманих в досліджуваному районі характеристик ознак різних класів з параметрами еталонної ПТС (рис. 3).

В дійсності склад елементів і структура ЛК безперервно змінюється під впливом зовнішніх факторів і відбувається повільний перехід ПТС із одного класу в другий. При цьому точний збіг характеристик досліджуваної території з параметрами якогось еталонного класу мало ймовірний. Саме тому була застосована методика багатокритеріальної оптимізації і відповідні програми, які дозволили підвищити продуктивність цього процесу і зробити його об'єктивним за рахунок формалізації і автоматизації процедури прийняття рішення.

Апробація методики була проведена при ретроспективній оцінці змін екостану геологічного середовища Нікопольського гірничопромислового району під впливом розробки родовища марганцевих руд та промислового навантаження.

Розроблений на основі ландшафтно-системного аналізу і аерокосмічної інформації метод оцінювання геоекостану і класифікація гірничопромислових ПТС дає можливість на якісно іншому рівні досліджувати загальні тенденції змін, які відбуваються в геосистемах гірничопромислових територій, і може бути використаний в комплексному геоекологічному моніторингу навколишнього середовища та геоекологічному картографуванні.

SUBSTANTIATION OF ENVIRONMENTAL ASSESSMENT OF MINING TERRITORIES THROUGH LANDSCAPE SYSTEM APPROACH AND REMOTE SENSING DATA

L. P. Lischenko

We propose the technique of environmental assessment based on the landscape system method and remote sensing data. The landscape formations are considered as complex systems consisting of certain landscape types taking into account their priority in the natural-technical systems and determined as the results of remote sensing data interpretation. We use methods of contrast-analogue and indicator interpretation at visual and computer image processing. The integral approach to the landscape classification is suggested; the landscape complexes are recognized by the grade of anthropogenic and technical factors as well as the change ratio of components and their spectral differences in the visible and IR bands. The developed classification takes into consideration the groups of natural, modified, anthropogenic and technical landscapes those are divided also by environmental suitability. To assess the environmental state of mining systems, the seven standard samples of environmental situations were developed. The natural-based and technical systems are considered as an hierarchic community of the landscape complexes.