ГЕОЛОГІЧНА ІНФОРМАТИКА

УДК 681.518:338.24

DOI: <http://doi.org/10.17721/1728-2713.88.14>

В. Зацерковний, д-р техн. наук, проф.,
E-mail: vitalii.zatsekovnyi@gmail.com;
Л. Плічко, асп., E-mail: plichkoL@ukr.net;
Київський національний університет імені Тараса Шевченка,
ННІ "Інститут геології", вул. Васильківська, 90, м. Київ, 03022, Україна;
О. Приліпко, канд. психол. наук,
E-mail: prylypko1964@bigmir.net;
Військовий інститут Київського національного університету
імені Тараса Шевченка, вул. Ломоносова, 81, м. Київ, 8103189, Україна;
О. Ніколаєнко, канд. техн. наук, старш. наук. співроб.,
E-mail: n-a-@ukr.net;
Національний авіаційний університет,
пр. Космонавта Комарова, 1, м. Київ, 03058, Україна;
Т. Мужанова, канд. наук з держ. управління, доц.,
E-mail: muzanovat@gmail.com;
Державний університет телекомунікацій,
вул. Солом'янська, 7, м. Київ, 03110, Україна

**ОБҐРУНТУВАННЯ ДОЦІЛЬНОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ ГЕОІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ
У ЛАНДШАФТНО-ЕКОЛОГІЧНОМУ МОНІТОРИНГУ**

(Представлено членом редакційної колегії д-ром геол. наук, старш. наук. співроб. О.Л. Шевченком)

Для сучасних міст характерні такі негативні наслідки цивілізації, як ущільнення міської забудови, забруднення повітря, води, ґрунту, зростаючий рівень шуму і вібрацій, "теплові острови", вплив магнітних, електричних, іонізаційних полів тощо. Небувалими темпами зростає використання різноманітних природних ресурсів і масштаби забруднення зовнішнього середовища відходами виробництва та споживання.

Одним із дієвих механізмів зняття цих негативних наслідків є ландшафтно-екологічний моніторинг (ЛЕМ) стану існуючої екологічної інфраструктури міст (споруд і об'єктів, призначених для охорони, відтворення і поліпшення навколишнього природного середовища), яка покликана забезпечити декомпенсуючу протидію наслідкам антропогенного навантаження.

ЛЕМ необхідний для розробки науково-обґрунтованої міської екологічної політики та оптимізації системи природоохоронного управління. Для прийняття ефективних кваліфікованих управлінських рішень щодо поліпшення екологічної ситуації міст потрібна повна і достовірна інформація про основні природні умови. Такі дослідження, спрямовані на системний збір інформації про територію, найчастіше належать до сфери ландшафтно-екологічного картографування.

Обґрунтовано необхідність застосування в ЛЕМ геоінформаційних систем (ГІС) і представлено модель оцінки природстатусу інформації, яку можна отримати в процесі впровадження ГІС в ЛЕМ. Запропонована модель, за розрахунками авторів, дозволить зменшити ентропію (невизначеність) системи майже вдвічі, що свідчить про необхідність використання ГІС при ландшафтно-екологічному моніторингу.

Ключові слова: геоінформаційна система, ландшафтно-екологічний моніторинг, інформативність, геоінформаційне моделювання.

Вступ. Постійне зростання екологічного навантаження в Україні викликає велику стурбованість не тільки фахівців і науковців, але й звичайного населення. Особливо це стосується великих міст, передусім індустріальних, де людина деформує біосферу загалом і, будучи її частиною, гостро відчуває наслідки цієї деформації на собі.

Міста характеризуються високою концентрацією населення, що мешкає на обмеженій території. Подібне зосередження людей зумовлює й концентрацію всієї сукупності господарських і соціальних відношень, яке спричиняє виникнення складної, найчастіше суперечливої системи.

Характерними негативними наслідками урбанізації стали: ущільнення міської забудови, зростання забруднення повітря, ґрунту, руйнування природних екосистем, підвищення рівня шуму і вібрацій, виникнення "островів тепла" і парникового ефекту, шкідливий вплив магнітних, електричних, іонізаційних полів, виснаження озонового шару, зникнення низки біологічних видів тощо. Водні об'єкти, які розташовані на території міст, усе більше потерпають від надмірного антропогенного впливу. Поверхнево-схиловий стік з території міської забудови, автошляхів і залізниць, різноманітні смітники, а також рекреаційні зони з пересиченням відпочивальників сприяють потраплянню в озеро значної кількості хімічних сполук (Білявський, 2005). Небувалими темпами зростає використання різноманітних природних ресурсів і масштабів забруднення зовнішнього середовища відходами виробництва і споживання.

На жаль, населення та уряд України, якщо й розуміють увесь спектр своїх пагубних дій на природне середовище, усе ж таки продовжують його безжалісно руйнувати та всіляко забруднювати. Фрагментарні природні екосистеми, що залишились в урбанізованих системах уже неспроможні компенсувати негативний вплив антропогенних чинників, а заходи, що приймаються місцевою владою та урядом країни лише частково стримують збільшення агресивного впливу побутових, транспортних та індустріальних відходів на середовище мешкання міського жителя.

Перед суспільством стоїть надзвичайно актуальне завдання організації використання природних ресурсів таким чином, щоб припинити їхню подальшу деградацію і здійснити реальні кроки до суттєвого поліпшення екологічного стану довкілля. Це можливе лише за рахунок організації ефективного моніторингу існуючого екологічного стану територій, рекреаційних зон і розширенням природно-заповідного фонду.

Постановка проблеми. Дієвими механізмами зняття негативних наслідків урбанізації є: локальне чищення навколишнього середовища; збереження непорушених господарською діяльністю територій з природною біотою; розбудова регіональної екологічної інфраструктури міст (споруд і об'єктів, призначених для охорони, відтворення і поліпшення навколишнього природного середовища); раціональне використання природних ресурсів, особливо відновлюваних на основі інтенсивних і ефективних технологій; своєчасне виявлення і прогнозування

глобальних (зовнішніх) і регіональних (внутрішніх) екологічних загроз на базі наукових досліджень в екологічній сфері; міжнародне співробітництво та кооперація для запобігання глобальним і транскордонним екологічним загрозам на основі захисту законних прав громадян; розробка ефективних методів зберігання та утилізації озброєння виведеного з бойового складу; рекультивації територій, пов'язаних з військовою діяльністю, а також радіоактивним забрудненням; запобігання завезенню на територію держави для переробки та захоронення матеріалів небезпечних для населення і навколишнього середовища тощо. Усі ці механізми покликані забезпечити декомпенсуючу протидію наслідкам екологічних загроз.

Екологічна значимість зелених насаджень, дерев і рослин у містах є надзвичайно високою. Їхні легкі виділення – аеростимулятори і фітонциди – сприятливо впливають на організм, іонізують і озонують повітря. Парки, сквери, бульвари збагачують повітря киснем, регулюють вологість, знижують міський шум. Крім того, рослини очищають повітря від пилу, поглинають токсичні речовини – компоненти відпрацьованих газів автомобілів і промислових викидів. Не тільки збереження, але й подальший розвиток зелених насаджень міст є надзвичайно важливим екологічним завданням. Однак і тут у країні є невирішені питання. Так, з урахуванням комплексної гігієнічної оцінки не виявлено види дерев, чагарників і трав'янистих рослин, найбільш оптимальних для умов міста. Озеленення міст здебільшого не відповідає сучасним вимогам. У старій частині міста нерідко відбувається сильне затінення житлових будинків деревами, що несприятливо впливає на якість внутрішнього житлового середовища і здоров'я населення. Новобудови ж, навпаки, як правило, взагалі не мають озеленення, а якщо і мають, то недостатнє. Отже, в умовах інтенсивного зростання і розвитку міських агломерацій особливо гостро стоїть питання ефективного використання обмежених ресурсів міської рекреаційної території, до яких відносять різноманітні системи ресурсо- та енергозбереження, ґрунтово-рослинний шар міської та прилеглої території, природно-заповідний фонд, паркові мережі міської інфраструктури, екологічні каркаси та ніші міст, екологічно реставровані ландшафти, усі наявні природні ресурси та сприятливі умови життя тощо.

Актуальність теми і ступінь розробленості теми дослідження. Ущільнення міського простору спричинює зменшення рекреаційних зон або взагалі їхнє знищення з наступною деградацією зелених каркасів міст. Сьогодні необхідні такі форми і способи взаємодії природної й техногенної підсистем міста, за яких інтенсивність використання, відновлення і збагачення природних ресурсів буде зростати, а природні умови – поліпшуватися. Ідеться про усвідомлене управління природними процесами і явищами в бажаному напрямку при інтенсифікації містобудівної діяльності.

Тому сьогодні актуальною проблемою є застосування ландшафтно-екологічного підходу до вивчення міської території, моніторинг (оцінка) екологічного стану рекреаційних ресурсів міста, під яким розуміють складну систему збору, обробки, збереження і передачі інформації про стан суб'єктів і об'єктів рекреаційного природокористування та їхню взаємодію з метою наступної оцінки (контролю), прогнозу і керування. У ході моніторингових досліджень відстежується протікання рекреаційних процесів, зміни у використанні й стані природно-рекреаційних ресурсів, якості рекреаційного середовища, виявляється вплив різних факторів на психофізіологічний стан рекреантів. Ландшафтно-екологічний аналіз необхідний для розробки науково-обґрунтованої міської екологічної політики та оптимізації системи природокористування.

Аналіз попередніх досліджень. Еколого-географічні (геоекологічні) дослідження в Україні успішно розвиваються в Інституті географії НАНУ (О. І. Маринич, Л. Г. Руденко, Л. М. Шевченко, В. П. Гриневецький, В. М. Пащенко, В. С. Давидчук, Г. О. Пархоменко, В. О. Шевченко, В. А. Барановський), Київському університеті імені Тараса Шевченка (П. Г. Шищенко, М. Д. Гродзинський, Л. Л. Малишева, Л. М. Шевченко), Львівському (Г. П. Міллер, І. М. Волошин, А. В. Мельник, В. М. Петлин), Одеському (Г. І. Швєбс, О. Г. Топчієв), Чернівецькому (В. М. Гуцуляк, Л. І. Воропай, М. І. Жупанський, М. О. Кирилюк, В. П. Куниця), Харківському (І. Г. Черваньов, В. Ю. Некос, Н. В. Максименко) університетах, Івано-Франківському ТУНГ (О. А. Адаменко). Вивченню і оптимізації біотичних компонентів міських ландшафтів присвячено численні праці як східноєвропейських (Ю. Б. Хромов, В. П. Кучерявий, А. П. Вергунов, А. Н. Белкін, С. А. Яблоков, О. О. Лаптев), так і західноєвропейських науковців, передусім німецьких (G. Richter, E.-M. Albertshauser, M. Leesch, U. Wilke, K. Ermer, A. Paul). Проте, як свідчить зростання екологічної напруги у країні, дослідження у цій сфері ще далекі від завершення.

Об'єкт дослідження – ландшафтно-екологічний моніторинг (ЛЕМ).

Метою роботи є оцінка доцільності використання геоінформаційних систем в ЛЕМ.

Виклад основного матеріалу. Для прийняття ефективних кваліфікованих управлінських рішень щодо поліпшення екологічної ситуації міст потрібна повна і достовірна інформація про основні природні умови. Дослідження, спрямовані на системний збір інформації про територію, найчастіше належать до сфери ландшафтно-екологічного картографування.

Сучасний ландшафт являє собою природно-антропогенний комплекс, у межах якого природні, антропогенні, демографічні, етнічні й соціокультурні фактори перебувають у тісній взаємодії, утворюючи однорідну за умовами розвитку, єдину, нерозривну, притаманну даному регіону або місцевості систему – геоекосистему (Макаров та ін., 2002).

Ландшафтно-екологічний підхід до вивчення міської території активно використовує методологію системного аналізу, за якою місто розглядається як складна, поліструктурна, територіальна, відкрита, енергетично субсидована (Одумом, 1986), геохімічно акумулятивна управлінська система – урбогеосистема (Макаров та ін., 2002).

Ландшафтно-екологічний підхід (геоекологічний) є симбіозом ландшафтного та екологічного підходів. Основи геоекологічного підходу були закладені німецьким біогеографом Карлом Троллем у статті "*Luftbildplan und ökologische Bodenforschung*" ("План аерофотокартування та екологічне дослідження ґрунтів"). Він дав таке визначення ландшафтній екології – це "дослідження цілісного комплексу взаємозв'язків між угрупованнями живих організмів (біоценозів) та їхніми екологічними умовами, наявних у певних одинцях ландшафту. У просторі цей взаємозв'язок відображається в певних просторових структурах чи природних територіальних одиницях різних масштабів" (Troll, 1939).

Ландшафтно-екологічний підхід поряд із сильними в евристичному відношенні особливостями, успадкованими від ландшафтознавства (територіальність, поліцентризм моделі геосистеми) та екології (концепції сукцесії, методи ординації, моноцентризм моделі екосистеми), має і власні риси. Як і у науках, згаданих вище, об'єктом екології ландшафтів виступають полікомпонентні природно-антропогенні системи. Однак при їхньому

дослідженні ландшафтно-екологічний підхід значно ширше користується наслідками, що випливають із загальнонаукового принципу додатковості. Відповідно до цього принципу повноцінне пізнання складного об'єкта або явища можна досягти за умови дослідження його в різних "проекціях" (тобто за допомогою різних моделей), звести які до однієї принципово неможливо.

Виходячи із цього, у сучасній екології ландшафтів сформувалось кілька постулатів і обмежень у використанні ландшафтно-екологічного підходу. Серед них найбільш істотними є такі:

- розуміння того, що реальність неможливо звести до однієї моделі (екосистеми або геоекосистеми). Практична мета визначає оптимальний спосіб декомпозиції природних систем (їхній поділ на елементи або структурні частини), що призводить до безлічі типів їхніх структур;
- розуміння поліцентричності геосистеми – центральна методологічна установка геоекологічного підходу (у центр можна поставити не тільки біологічні, але й інші компоненти, навіть цілі ландшафти). Концепції гео- та екосистеми мають свої переваги. Уявлення про геосистеми більш наближені до природної реальності. Концепція екосистеми доволі корисна при розв'язанні низки конкретних завдань. Тому екологія ландшафтів у своїх дослідженнях використовує як полі- (геосистемний), так і моно- (екосистемний) підходи. Причому на відміну від екології у центр екосистемної моделі ставляться (поміщуються) не тільки біотичні, а й інші компоненти;

- акцент на функціональному аналізі геосистем, на просторовість і генезис геосистем. У ландшафтній екології основна увага приділяється процесному і функціональному аналізу геосистем. Причому геосистеми сприймаються не як територія або об'єми зі специфічним складом елементів і своєю будовою, а як арили та об'єми, насичені різними динамічними процесами, які взаємодіють між собою і навколишнім середовищем. Виходячи із специфіки цих процесів і виділяються геосистеми;

- вивчення параметрів функціонування різних типів ландшафтів (урахування впливів середовища). Для екології ландшафтів характерною є значна увага до впливу на геосистеми зовнішніх факторів, зокрема антропогенних. Порівняно з ландшафтознавством ця наука розглядає геосистеми як значно більш пов'язані із зовнішнім середовищем, тобто вони є більш "відкритими";

- адаптивність компонентів ландшафту;

- акцент на центрованість проблеми взаємодії людини з природними системами. При цьому її теоретична база розробляється як наукова основа регламентації раціональної з екологічної позиції поведінки людини в ландшафті;

- прикладні аспекти геоекологічного підходу полягають у вивченні стійкості ландшафту, нормування антропогенних навантажень на ландшафти тощо.

Вплив природних та антропогенних факторів на навколишнє середовище представлено в табл. 1.

Таблиця 1

Вплив природних та антропогенних факторів на навколишнє середовище

Фактор	Значення та вплив на навколишнє середовище
Природні фактори	
Клімат	Визначає ступінь комфортності погодних умов і окремих основних факторів клімату (тепловий комфорт, вітровий режим, опади та ін.). Мікроклімат зумовлює ступінь мікрокліматичних умов (норми інсоляції, вологості, допустима швидкість вітру та ін.)
Рельєф	Ухили забезпечують різний рівень інсоляції, стоку поверхневих вод, накопичення вологості, масштаб ґрунтової ерозії
Водойми	Накопичення та випаровування вологи сприяє утворенню теплової енергії, впливає на температурний режим, регулює вологість повітря та інтенсивність радіації
Заболоченість і затоплення	Забезпечують життєдіяльність окремих екосистем, сприяють накопиченню вологи та живлення річок у міжсезонний період
Рослинність	Накопичення необхідної для життєдіяльності біомаси, вплив на ступінь забруднення атмосфери, радіаційний, температурний режими, вологість повітря, швидкість вітру
Антропогенні фактори	
Щільність забудови	Визначає раціональність використання міської території, впливає на мікрокліматичні показники, наявність рослинного покриву, вітровий режим території
Система транспорту	Визначає шумовий режим у місті, його спектральний склад, ступінь забруднення атмосфери й забруднення ґрунту та рослин токсичними отруйними речовинами
Характер промисловості	Залежно від класу шкідливості промисловість впливає на забруднення атмосфери отруйними газами, визначає кількість пилу в повітрі й на поверхні ґрунту
Рівень благоустрою території	Впливає на мікроклімат міської території, ступінь її озеленення, комфортні умови життєдіяльності населення

Усебічна оцінка екологічного стану природних ресурсів і прогнозування їхніх змін під впливом антропогенних факторів являє собою надзвичайно складне завдання. Це обумовлено передусім необхідністю урахування всіх процесів, що відбуваються в природних екосистемах, і різною стійкістю екосистем до тих або інших техногенних впливів. Аналіз ускладнюється тим, що деякі фактори, які впливають на функціонування екосистем, можуть частково компенсувати один одного. Додаткову складність створює нестійкий характер просторової локалізації техногенних забруднень, обумовлений перенесенням забруднювальних речовин через атмосферу, поверхневі та ґрунтові води.

Земна поверхня (включаючи верхні горизонти літосфери), а разом з нею і речовино-енергетичні потоки змінюються в результаті таких загальних на всій планеті процесів, спрямованих на задоволення потреб людини, як: знищення природного рослинного та ґрунтового покриву

для розробки запасів мінеральної сировини; регулювання стоку рік та інших водотоків шляхом створення водосховищ; використання землі під будівництво шляхів сполучення та інженерної інфраструктури; відчуження земель під очисні споруди і місця збереження, утилізації й захоронення відходів; створення штучного рослинного покриву в садах, парках, спортивних спорудах та інших місцях відпочинку.

Ландшафтно-екологічний моніторинг здійснюється на основі різних методів. Крім традиційних методів геохімії, які використовуються при вивченні техногенних систем, впроваджуються такі специфічні засоби, як аналізи снігу, верхнього торфу, волосся людини, використання штучних сорбентів для визначення в ґрунтах і водах важких металів, аерокосмічна зйомка (за її допомогою, наприклад, у гірничо-заводських районах установлюються техногенні ореоли розсіювання), ландшафтно-геохімічне картографування (Франчук, Кравець, 2013).

Оскільки практично вся інформація (80–90 %) про стан певної території дослідження в процесі ландшафтно-екологічного моніторингу регіону має просторову прив'язку, то цілком очевидно, що базовою інформаційною технологією ефективного ЛЕМ мають виступити геоінформаційні технології (ГІТ).

Упровадження ГІТ, а саме геоінформаційних систем (ГІС), дозволить суттєво поліпшити ЛЕМ за рахунок розробки моделей міграції забруднювачів у геологічному середовищі, атмосфері й гідросфері; при дослідженні ерозії і деградації ґрунтів; моделюванні паводкових ситуацій та розвитку екзогенних процесів; прогнозуванні і оцінці викидів в атмосферу небезпечних хімічних речовин і при вирішенні багатьох інших завдань.

Крім того, ГІС може стати в пригоді для створення більш складних систем управління територіями. Наприклад, для інтеграції накопиченої інформації в текстовому і табличному поданні в єдину просторово-орієнтовану базу даних, яка дозволить автоматично виявляти закономірності між природними компонентами і навіть окремими елементами цих компонентів, подавати результати в наочному графічному вигляді (Зацерковний та ін., 2016; Бурачек та ін., 2011; Красовский та Поспелов, 1962).

Застосування методів геоінформаційного моделювання дозволяє автоматизувати розв'язок безлічі задач, починаючи від обчислень відстаней і площ, і закінчуючи побудовою моделей складних геосистем і процесів з метою управління та прогнозування майбутніх станів.

Використання геоінформаційних систем дозволяє оперативно отримувати інформацію за запитом і відображати її на карті, оцінювати стан екосистеми та прогнозувати її розвиток.

Основними аналітичними можливостями ГІС при такому моделюванні можна вважати: аналітичні функції роботи з базами даних (БД); картометричні функції; моделювання поверхонь та аналіз растрових зображень; побудова буферних зон; оверлейні операції; районування (зонування) (Зацерковний та ін., 2016; Шипулін, 2012).

Геомодельовання може бути представлено у вигляді кортежу:

$\langle F, f_i, R_r, Sh_i, A_{ik}, S_{ik}, P_m, C_i, W_i, [\text{допоміжні_дані}] \rangle$,

де F – мета (або постановка задачі) геомодельовання; f_i – локальні задачі – складові загальної задачі моделювання; R_r – відношення між об'єктами на карті; Sh_i – шейп з об'єктами ландшафту (відповідає локальній задачі f_i); A_{ik} – атрибутивна таблиця k -го об'єкта i -го шейпу; S_{ik} – шкала вимірів для атрибутів відповідних наборів даних; P_m – процеси, які потребують моделювання; C_i – критерії прийняття оптимального рішення; W_i – вага набору даних i .

Предметна область геоінформаційного моделювання в ЛЕМ представлена на рис. 1.

Рис. 1. Предметна область геоінформаційного моделювання

Компоненти і функції такої ГІС подано в табл. 2. Геоінформаційні моделі компонентів ландшафту включають цифрові моделі рельєфу, клімату, флори, фауни, які водночас несуть інформацію для моделювання ландшафтного комплексу загалом та його еволюції.

Об'єктами дослідження ГІС у процесі ЛЕМ виступають реально існуючі об'єкти (процеси, явища, системи, поля) певної території, зв'язки між ними, а також закономірності, притаманні певній множині (класу) досліджуваних об'єктів.

Таблиця 2

Геоінформаційна система ландшафтно-екологічного моніторингу (ЛЕМ)							
Види моніторингу (за компонентами ландшафту)	Система збору і зберігання інформації (СЗІІ)			Система обробки Інформації (СОІ)			Підсистема ландшафту
	Система збору і підготовки наявної інформації СЗІ	Система проб і хімічного аналізу СПХА	Система зберігання інформації (банк даних) БД	Система розрахунку поточної інформації СРІ	Система картографування екологічної обстановки СКЕО	Система прогнозування екологічної обстановки СПЕО	
Субстанційно-геокомпонентний блок (І)							
аеро-	+	+	+	+	+	+	ПК
гідро-	+	+	+	+	+	+	
педо-	+	+	+	+	+	+	
біо-	+	+	+	+	+	+	
Факторно-геокомпонентний блок (ІІ)							
метео-	+		+	+	+	+	ПК
геоматичний	+		+	+	+	+	
техногенний (джерела забруднення)	+	+	+	+	+	+	ТГ
соціально-економічний	+		+	+	+	+	СЕ
Комплексний (ландшафтний) блок (ІІІ)							
ландшафтно-геохімічний	+	+	+	+	+	+	ЛГХ
ландшафтно-геофізичний	+	+	+	+	+	+	ЛГФ
Прикладний (демографічно-екологічний) блок (ІV)							
медико-екологічний	+	+	+	+	+	+	Д

Підсистеми: ПК – природних компонентів; ТГ – техногенна; СЕ – соціально-економічна; ЛГХ – ландшафтно-геохімічна; ЛГФ – ландшафтно-геофізична; Д – демографічна.

Метою дослідження є одержання додаткової інформації про об'єкти (Кочуров, 2003).

Математичні моделі об'єктів моніторингу і відношення між ними (що використовуються в ГІС), які приведені в систему, утворюють тезаурус цієї системи, який являє собою множину математичних моделей, упорядкованих і класифікованих за певною системою ознак (Зацерковний та ін., 2016).

Тезаурус – це "запас" моделей, які є в розпорядженні дослідника за даного стану теоретичного обґрунтування ГІС, або обрані чи створені ним, виходячи із практичних міркувань, з урахуванням наявних обмежень процесу управління (Зацерковний, 2012).

Отже, для підвищення ефективності ЛЕМ за допомогою ГІС необхідно розширити тезаурус цієї системи, що включає в себе моделі досліджуваних об'єктів, результатів вимірів, зовнішніх факторів впливу, вимірювальної системи та її підсистем, головними з яких є розроблення моделі оцінки приросту інформації у процесі впровадження ГІС в ЛЕМ, розроблення моделі оцінки приросту інформації при впровадженні ГІС у канал зворотного зв'язку, розроблення моделі інтеграції баз даних, існуючих ІС у ГІС, розроблення моделі прийняття рішень за допомогою ГІС, розроблення моделі управління процесом ЛЕМ за допомогою ГІС.

Аналізуючи практику розв'язання задач ЛЕМ за допомогою ГІС, не можна не звернути уваги на неформальність постановки більшості задач (Кочуров, 2003). Експерт-аналітик, що працює з даними інформаційного середовища певної території або об'єкта моніторингу, маючи просторові й атрибутивні дані, звертається до карт і схем певної території дослідження, маючи найчастіше лише інтуїтивне уявлення про план наступних дій. Це зумовлюється як нестачею вихідних даних, так і розмаїттям реальних ситуацій, що складаються. Тому в умовах складної формалізації задач ЛЕМ завданнями ГІС є не видача готових рішень, а надання програмного інструментарію для формування рішень.

Процес ЛЕМ зазвичай розтягнутий у часі та може вестися або безперервно, або дискретно з певною частотою $1/T_n$, яка обирається з умови достатності часу для

зменшення невизначеності до заданого рівня за певної інтенсивності моніторингу й управління. Його можна розглядати як процес виконання ГІС за певним алгоритмом деяких складних k іспитів (випробувань, досліджень) G_{ij} ($i=1, 2, \dots, k$) ($j=1, 2, \dots, l$), що не перевершують l іспитів. У процесі здійснення цих іспитів частина невизначеності (ентропія) замінюється інформацією, тобто процес ЛЕМ зводиться до одночасного паралельного, або зсунутого в часі, переведення багатомірного вектора $X(x_i, t, \tau)$ в багатомірний вектор $Y(y_i, t, \tau)$ $X \rightarrow Y$ (рис. 2).

Незважаючи на наявність у такій системі не тільки фізичних, але й інформаційних, екологічних та інших процесів, обмежимося розглядом тільки інформаційних взаємодій. Властивості такої системи передбачають наявність у ній елементів і зв'язків різної природи. Відстежуючи ці зв'язки, можна побачити результат взаємодії не тільки елементів, але й усієї системи загалом.

Рис. 2. Вхідні й вихідні сигнали ГІС у ЛЕМ

У процесі функціонування ГІС до неї надходить інформація про стан об'єктів моніторингу, фіксуючи тим самим певні властивості зовнішніх і внутрішніх процесів та явищ, що відбуваються на території або об'єкті дослідження і впливають на них. У зв'язку з цим необхідно створити модель оцінки приросту інформації, яку можна очікувати від впровадження ГІС у процес ЛЕМ. Володіючи можливістю фіксації зміни станів об'єктів моніторингу, вплив на них інших систем і природних чинників, ГІС аналізує ці зміни і інтерпретує їх, надаючи тим самим

додаткову інформацію до каналу управління, тобто переводить об'єкт моніторингу в новий апостеріорний стан, який визначається вектором $Y(t, \tau)$.

Доцільно розглянути підходи, щодо оцінки приросту інформації. Відомо декілька способів у визначенні кількості інформації: ентропійний; алгоритмічний; комбінаторний; семантичний і прагматичний (Понтрягин та ін., 1983). Перший підхід одержав застосування в задачах кількісного визначення складності системи і рівня зовнішніх впливів, другий і третій – для опису (відтворення) об'єкта, четвертий – для опису змістовної частки повідомлення, що передається її отримувачу, п'ятий – акцентує увагу на корисності інформації, яка передається.

Найбільш доцільним для оцінки приросту інформації, що можна отримати за допомогою впровадження ГІС у ЛЕМ, є ентропійний підхід (Зацерковний, 2012). Ентропія має переваги перед імовірнісною оцінкою приросту кількості інформації, оскільки не пов'язана із статистичними законами розподілу випадкових величин (Грангшвили, 2003). За величиною ентропії можна судити про рівні надійності каналів ГІС при виборі оптимального. Кількість інформації, що отримується в процесі управління територіями, дорівнює зміні ентропії

$$I_{G_{ij}}(X, t, \tau) = H_0(X, t, \tau) - H_{G_{ij}}(X, t, \tau),$$

де $H_{G_{ij}}(X, t, \tau) = p_{G_{ij}} H_{G_{ij}}(X, t, \tau) + \dots + p_{G_{il}} H_{G_{il}}(X, t, \tau)$ – умовна ентропія стану об'єкта управління при здійсненні складного іспиту (дослідження) G_{ij} , що складається з l підпитів; $p_{G_{ij}}$ – імовірність результату іспиту G_{ij} .

Найбільш цікавими для практики є випадки, коли має місце точне, але із запізнюванням на τ_3 , відтворення стаціонарного випадкового процесу (Понтрягин та ін., 1983): $Y(y_i, t, \tau) = X(x_i, t - \tau_3, \tau)$ або коли вихідний процес відтворюється без запізнювання, але діє вектор збурень U (рис. 2), який не залежить від вхідного процесу

$$Y(y_i, t, \tau) = X(x_i, t - \tau_3, \tau) + U(u_j, t, \tau),$$

де $j = 1, 2, \dots, m$.

При цьому передбачається, що вектор $X(t, \tau)$ характеризує апіорний стан об'єкта без урахування раптових відмов (надзвичайних або аварійних) ситуацій.

Середню кількість інформації, отримувану при переведенні вектора $X(t, \tau)$, можна визначити за формулою (Кочуров, 2003)

$$\log_2 \frac{f(X, Y, t, \tau)}{f(X, t, \tau)f(Y, t, \tau)} = \log_2 \frac{1}{\sqrt{1-r^2}} - \frac{r^2 \log_2 e}{2(1-r^2)} \left[\frac{(X-m_X)^2}{\sigma_X^2} - \frac{2(X-m_X)(Y-m_Y)}{r\sigma_X\sigma_Y} + \frac{(Y-m_Y)^2}{\sigma_Y^2} \right] \quad (4)$$

Підставивши вирази (2), (3) і (4) у формулу (1), після певних перетворень можна отримати

$$I(X \rightarrow Y, t, \tau) = \log_2 \frac{1}{\sqrt{1-r_{XY}^2(t, \tau)}} = -\frac{1}{2} \log_2 [1 - r_{XY}^2(t, \tau)],$$

$$r_{XY}(t, \tau) = \frac{1}{\sigma_X \sigma_Y} \int_{-\infty}^{\infty} (X - m_X)(Y - m_Y) f(X, Y, t, \tau) dX dY,$$

де r_{XY} – коефіцієнт кореляції векторів X, Y ; $\sigma_X^2(t, \tau)$ – дисперсії векторів X, Y .

Ентропія випадкового m -мірного вектора $X(t, \tau)$, що підпорядковується нормальному закону розподілу, дорівнює: $H(X, t, \tau) = \log_2 \sqrt{(2\pi e)^m |R^{XX}|}$.

Середня кількість інформації при передачі $X \rightarrow Y$ можна виразити через кореляційні матриці

$$I(X \rightarrow Y, t, \tau) = -\frac{1}{2} \log_2 \frac{|R|}{|R^{XX}| + |R^{YY}|}, \quad (5)$$

$$I(X \rightarrow Y, t, \tau) =$$

$$= \int_{-\infty}^{\infty} \dots \int_{-\infty}^{\infty} f(X, Y, t, \tau) \log_2 \frac{f(X, Y, t, \tau)}{f(X, t, \tau)f(Y, t, \tau)} dX dY \quad (1)$$

де $f(X, Y, t, \tau)$ – загальний диференціальний закон розподілу векторів X і Y ; $f(X, t, \tau)$ – диференціальний закон розподілу вектора X ; $f(Y, t, \tau)$ – диференціальний закон розподілу вектора Y .

Виконавши певні перетворення, формулу (1) представимо у вигляді

$$I(X \rightarrow Y, t, \tau) = H(X, t, \tau) - m_Y [H_Y(X, t, \tau)],$$

або

$$I(X \rightarrow Y, t, \tau) = H(Y, t, \tau) - m_X [H_X(Y, t, \tau)],$$

де $H(X, t, \tau) = - \int_{-\infty}^{\infty} \dots \int_{-\infty}^{\infty} f(X, t, \tau) \log_2 f(X, t, \tau) dX$ –

апіорна ентропія вектора X ; $m_Y [H_Y(X, t, \tau)] =$

$$= - \int_{-\infty}^{\infty} \dots \int_{-\infty}^{\infty} f(X, t, \tau, Y) \log_2 f(X, Y, t, \tau) dX dY$$
 – усереднене

за вихідними параметрами значення ентропії після одержання сигналів на виході; $f_Y(X, t, \tau)$ – умовний диференціальний закон розподілу вектора X при одержанні вектора Y .

При цьому отримуємо (Кочуров, 2003)

$$f_Y(X, t, \tau) = \frac{f(X, Y, t, \tau)}{f(Y, t, \tau)}.$$

При нормальному законі розподілу випадкових векторів на вході й виході ГІС у процесі управління територіями маємо

$$f(X, t, \tau) = \frac{1}{\sigma_X \sqrt{2\pi}} \exp \left\{ -\frac{(X - m_X)^2}{2\sigma_X^2} \right\}. \quad (2)$$

$$f(Y, t, \tau) = \frac{1}{\sigma_Y \sqrt{2\pi}} \exp \left\{ -\frac{(Y - m_Y)^2}{2\sigma_Y^2} \right\}. \quad (3)$$

Далі знаходимо

де

$$R^{XX} = \begin{bmatrix} R_{11}^{XX} & \dots & R_{1m}^{XX} \\ R_{21}^{XX} & \dots & R_{2m}^{XX} \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ R_{m1}^{XX} & \dots & R_{mm}^{XX} \end{bmatrix}; \quad R^{YY} = \begin{bmatrix} R_{11}^{YY} & \dots & R_{1m}^{YY} \\ R_{21}^{YY} & \dots & R_{2m}^{YY} \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ R_{m1}^{YY} & \dots & R_{mm}^{YY} \end{bmatrix};$$

$$R^{XY} = \begin{bmatrix} R_{11}^{XX} & \dots & R_{1m}^{XX} & R_{11}^{XY} & \dots & R_{1m}^{XY} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ R_{m1}^{XX} & \dots & R_{mm}^{XX} & R_{m1}^{XY} & \dots & R_{mm}^{XY} \\ R_{11}^{XY} & \dots & R_{1m}^{XY} & R_{11}^{YY} & \dots & R_{1m}^{YY} \\ R_{m1}^{XY} & \dots & R_{mm}^{XY} & R_{m1}^{YY} & \dots & R_{mm}^{YY} \end{bmatrix} -$$

кореляційні визначники, що відповідають кореляційним матрицям, складеним з кореляційних моментів

$$R_{\nu\mu}^{XX} = m \left[(X_{\nu} - m_{X_0})(X_{\mu} - m_{X_0}) \right];$$

$$R_{v\mu}^{yy} = m[(Y_v - m_{y_v})(Y_\mu - m_{y_\mu})];$$

$$R_{v\mu}^{xy} = [m(X_v - m_{x_v})(X_\mu - m_{x_\mu})].$$

При незалежних компонентах вектора $X(t, \tau)$ маємо

$$R_{v\mu}^{xx} = \begin{cases} \sigma_0^2 & \text{при } v = \mu \\ 0 & \text{при } v \neq \mu \end{cases},$$

а ентропія вектора дорівнює

$$H(X, t, \tau) = \log_2 \sigma_1 \sqrt{2\pi e} + \dots + \log_2 \sigma_m \sqrt{2\pi e}.$$

Відомо, що ступінь зв'язку між випадковими процесами характеризується кореляційною функцією. Якщо вихідний вектор $Y(t, \tau)$ не пов'язаний із вхідним вектором $X(t, \tau)$, то $R_{v\mu}^{xy} = 0$; тобто кількість інформації, що над-

ходить у процесі управління, $I(X \rightarrow Y, t, \tau) = 0$.

При врахуванні всіх характеристик вектора $X(t, \tau)$ коефіцієнт кореляції $r_{xy}(t, \tau) \rightarrow 0$, отже, $I(X \rightarrow Y, t, \tau) \rightarrow \infty$. Для одномірного випадкового процесу формула (5) перетворюється у формулу

$$I(x_i \rightarrow y_i, t, \tau) = -\frac{1}{2} \log_2 [1 - r^2(t, \tau)],$$

де $r(t, \tau) = -\frac{R_{11}^{xx}(t, \tau)}{\sigma_x(t, \tau)\sigma_y(t, \tau)}$ – коефіцієнт кореляції.

Розглянемо окремі випадки одновимірної передачі інформації.

При запізнюванні відтворення

$$y(t, \tau) = x(t - \tau_3, \tau);$$

$$r(t, \tau) = -\frac{1}{\sigma^2} \int_{-\infty}^{\infty} \dots \int [x(t) - m_x][x(t - \tau_3) - m_x] f(x, y, t, \tau) dx dy,$$

або остаточно

$$r(t, \tau) = \frac{R(\tau_3)}{R(0)},$$

де $R(\tau_3)$ – кореляційна функція центрованої випадкової величини; $R(0) = \sigma^2$ – дисперсія.

Кількість інформації у цьому випадку дорівнює:

$$I(x \rightarrow y, t, \tau) = -\frac{1}{2} \log_2 \left[1 - \frac{R^2(\tau_3)}{R^2(0)} \right].$$

Оскільки $0 \leq R(\tau_3)/R(0) < 1$ при $\tau_3 > 0$, то $\infty > I(x \rightarrow y, t, \tau) \geq 0$.

ГІС в ЛЕМ спроможна надати скільки завгодно багато інформації про стан об'єкта, якщо вона представляє вихідний вектор $Y(t, \tau)$ за скільки завгодно малою затримкою τ_3 : при $\tau_3 \rightarrow 0$ $R(\tau_3) \rightarrow 0$ і, отже, $I(X \rightarrow Y, t, \tau) \rightarrow \infty$. ГІС в ЛЕМ практично не надає додаткової інформації про стан об'єкта дослідження, якщо вона представляє вихідний вектор $Y(t, \tau_3)$ з великою затримкою τ_3 : при $\tau_3 \rightarrow \infty$ $R(\tau_3) \rightarrow 0$ і, отже, $I(X \rightarrow Y, t, \tau) = 0$.

За наявності шумів $u(t, \tau)$ і нормального розподілу параметрів x, y маємо

$$y(t, \tau) = x(t, \tau) + u(t, \tau);$$

$$\sigma_Y^2(t, \tau) = \sigma_x^2(t, \tau) + \sigma_u^2(t, \tau);$$

$$r(t, \tau) = \frac{1}{\sigma_x \sigma_y} \int_{-\infty}^{\infty} \dots \int (x - m_x)(y - m_y) f(x, y, t, \tau) dx dy =$$

$$= \frac{\sigma_x^2}{\sigma_x \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_u^2}} = \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{\sigma_u^2}{\sigma_x^2}}}.$$

Середня кількість інформації, яку можна отримати за наявності шумів, дорівнює

$$I(x \rightarrow y, t, \tau) = -\frac{1}{2} \log_2 (1 - r^2) = \frac{1}{2} \log_2 \frac{\sigma_x^2 + \sigma_u^2}{\sigma_u^2}.$$

Якщо точність переведення вхідного вектора $X(t, \tau)$ у вихідний вектор $Y(t, \tau)$ є невисокою (присутні помилки), так що $\sigma_u \gg \sigma_x$, то

$$\frac{\sigma_x^2 + \sigma_u^2}{\sigma_u^2} \rightarrow 1,$$

і отже, $I(X \rightarrow Y, t, \tau) \rightarrow 0$. ГІС в ЛЕМ спроможна надати скільки завгодно багато інформації про стан об'єкта за високої точності переведення вхідного вектора $X(t, \tau)$ у вихідний вектор $Y(t, \tau)$.

При $\sigma_u \gg \sigma_x$ $\frac{\sigma_x^2}{\sigma_u^2} + 1 \rightarrow \infty$ і, отже, $I(x \rightarrow y, t, \tau) \rightarrow \infty$.

Висновки. Таким чином, середня кількість інформації, що отримується в процесі ЛЕМ при використанні ГІС при нормальному законі розподілу параметрів і помилок, залежить від дисперсії помилок і точності ГІС, а також від ступеня зв'язку векторів X і Y та затримки відтворення. При законах розподілу вихідних параметрів і завад, які відрізняються від нормальних, середня кількість інформації, що отримується в процесі контролю, визначається за формулою (1).

Запропонована модель дозволяє оцінити зменшення ентропії системи (підвищити інформативність) управління територіями за рахунок впровадження ГІС. Упровадження ГІС у процес ЛЕМ, за розрахунками авторів, дозволяє зменшити ентропію системи до 50–65 %, що свідчить про необхідність упровадження ГІС у ЛЕМ.

Список використаних джерел

- Білявський, Г. О. (2005). Основи екології. Київ: Либідь.
 Бурачек, В.Г., Железняк, О.О., Зацерковний, В.І. (2011). Геоінформаційний аналіз просторових даних. Ніжин: ТОВ Видавництво "Аспект-Поліграф".
 Зацерковний, В.І., Тішаєв, І.В., Вірило, І.В., Демидов, В.К. (2016). Геоінформаційні системи в науках про Землю. Ніжин: НДУ ім. М. Гоголя.
 Зацерковний, В. І. (2012) Оцінка приросту інформації в процесі впровадження ГІС в управління територіями. *Вісник Чернівецького державного технологічного університету*, 4 (61), 140-146.
 Красовский, А.А., Поспелов, Г.С. (1962) Основы автоматизации и технической кибернетики. Госэнергоиздат.
 Кочуров, Б.И. (2003). Экодиагностика и сбалансированное развитие. Учебное пособие. Москва: Маджента.
 Макаров, В.З., Новаковский, Б.А., Чумаченко, А.Н. (2002). Эколого-географическое картографирование городов. Москва: Научный мир.
 Одум, Ю. (1986). Экология. Москва: Мир.
 Грангшвили, И.В. (2003). Энтропийные и другие системные закономерности: Вопросы управления сложными системами. Москва: Наука.
 Понтягин, Л.С., Болтянский, В.Г., Гамкрелидзе, Р.В., Мищенко, Е.Ф. (1983). Математическая теория оптимальных процессов. Москва: Наука.
 Франчук, Г.М., Кравець, М.О. (2013). Оцінка екологічного стану каскадів Голосіївських ставків. *Наукоємні технології*, 1, 9-12.
 Шипулін, В.Д. (2012). Основні принципи геоінформаційних систем. Харків: ХНАМГ.
 Troll, C. (1939). Luftbildplan und Ökologische Bodenforschung. Z. Ges. Erdkunde. Bonn, 241-298.

Reference

- Bilyavsky, A.A. (2005). The basics of ecology. Kyiv: Lybid. [in Ukrainian]
 Burachek, V.G., Zheleznyak, A.A., Zatserkovnyi, V.I. (2011). Geoinformation analysis of spatial data. Nezhin LLC Publishing house "Aspect-Polygraph". [in Ukrainian]
 Franchuk, G.M., Portnoy, M.A. (2013). Assessment of the ecological state of the cascades of the Goloseevsky ponds. *Knowledge-intensive technology*, 1, 9-12. [in Ukrainian]
 Kochurov, B.I. (2003). Ecodiagnosics and balanced development. Moscow: Magenta. [in Russian]

Krasovsky, A.A., Pospelov, G.S. (1962). Fundamentals of automation and technical cybernetics. Gosenergoizdat. [in Russian]
Makarov, V.Z., Novakovsky, B.A., Chumachenko, A.N. (2002). Ecological and geographical mapping of cities. Moscow: The scientific world. [in Russian]
Odum, Yu. (1986). Ecology. Moscow: World. [in Russian]
Pontryagin, L.S., Boltzansky, V.G., Gamkrelidze, R.V., Mishchenko, E.F. (1983). The mathematical theory of optimal processes. Moscow: Science. [in Russian]
Prangishvili, I.V. (2003). Entropy and other systemic laws: Issues of managing complex systems. Moscow: Science. [in Russian]

Shipulin, V.D. (2012). Basic principles of geographic information systems. Kharkov: KNAGH. [in Ukrainian]
Troll, C. (1939). Luftbildplan und Ökologische Bodenforschung. Z. Ges. Erdkunde. Bonn, 241-298. [in German]
Zatserkovnyi, V. I. (2012). Assessment of information growth in the process of implementing GIS in the management of territories. *Bulletin of the Cherniv State Technological University*, 4 (61), 140-146. [in Ukrainian]
Zatserkovnyi, V.I., Tishaev, I.V., Virshilo, I.V., Demidov, V.K. (2016). Geoinformation systems in earth sciences. Nizhyn: NSU Gogol. [in Ukrainian]
Надійшла до редколегії 07.08.19

V. Zatserkovnyi, Dr. Sci. (Tech.),
E-mail: vitallii.zatserkovnyi@gmail.com;
L. Plichko, PhD student,
E-mail: plichkoL@ukr.net,
Taras Shevchenko National University of Kyiv,
Institute of Geology, 90 Vasylkivska Str., Kyiv, 03022, Ukraine;
O. Prylipko, PhD (Psychol.),
E-mail: prylipko1964@bigmir.net,
Military Institute of Taras Shevchenko National University of Kyiv,
81 Lomonosova Str., Kyiv, 03189, Ukraine;
O. Nikolaenko, Cand. Sci. (Tech.), Senior Researcher,
E-mail: n-a@ukr.net,
National Aviation University,
1 Komarova Ave., Kyiv, 03058, Ukraine;
T. Muzhanova, PhD (Public Admin.),
E-mail: muzanovat@gmail.com,
State University of Telecommunications,
7 Solomyanska Str., Kyiv, 03680, Ukraine

SUBSTANTIATION OF THE APPROPRIATENESS OF APPLYING GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEMS IN LANDSCAPE-ECOLOGICAL MONITORING

Modern cities are characterized by such negative effects of civilization as urban densification, the pollution of air, water, soil, increasing noise and vibration pollution level, heat islands, the impact of magnetic, electric, ionization fields, etc. There is an unprecedented speed and scale of using various natural resources and contaminating the environment with production and consumption wastes.

One of the efficient mechanisms of counteracting these negative effects is landscape-ecological monitoring (LEM) of the present urban ecological infrastructure (constructions and objects designed for protection, restoration and improvement of the natural environment) which is meant to provide the compensating resistance to the consequences of anthropogenic impact.

LEM is significant when developing the evidence-based urban environmental policy and optimizing the environmental management system.

Taking effective managerial decisions on the improvement of urban environmental situation requires complete and accurate information about basic natural conditions. The research focused on systematic gathering of data on an area mostly belongs to the field of landscape-ecological mapping.

The authors have substantiated the necessity of using geographic information systems (GIS) in LEM and presented a model of assessing information gain which can be obtained when applying GIS in LEM.

This model enables to assess the reduction of entropy (enhance information content) of LEM system by applying GIS. According to the authors' estimation, the introduction of GIS to LEM will enable to reduce entropy (uncertainty) of a system almost by half, that indicates the need of applying GIS in LEM.

Keywords: geographic information system, landscape-ecological monitoring, information content, geoinformation modeling.

B. Зацерковный, д-р техн. наук,
E-mail: vitallii.zatserkovnyi@gmail.com;
Л. Пличко, асп.,
E-mail: plichkoL@ukr.net,
Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко,
УНИ "Институт геологии", ул. Васильковская, 90, г. Киев, 03022, Украина;
А. Прилипко, канд. психол. наук,
E-mail: prylipko1964@bigmir.net,
Военный институт Киевского национального университета имени Тараса Шевченко,
ул. Ломоносова, 81, г. Киев, 8103189, Украина;
О. Николаенко, канд. техн. наук, ст. науч. сотр.,
E-mail: n-a@ukr.net,
Национальный авиационный университет,
пр. Космонавта Комарова, 1, г. Киев, 03058, Украина;
Т. Мужанова, канд. наук по гос. управлению, доц.,
E-mail: muzanovat@gmail.com,
Государственный университет телекоммуникаций,
ул. Соломенская, 7, г. Киев, 03110, Украина

ОБОСНОВАНИЕ ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ В ЛАНДШАФТНО-ЭКОЛОГИЧЕСКОМ МОНИТОРИНГЕ

Для современных городов характерны такие негативные последствия цивилизации, как уплотнение городской застройки; загрязнение воздуха, воды, почвы; растущий уровень шума и вибраций; "острова тепла"; влияние магнитных, электрических, ионизационных полей и т. п. Небывальными темпами растет объем использования различных природных ресурсов и масштабов загрязнения внешней среды отходами производства и потребления.

Одним из действенных механизмов снятия этих негативных последствий является ландшафтно-экологический мониторинг (ЛЕМ) состояния существующей экологической инфраструктуры городов (сооружений и объектов, предназначенных для охраны, воспроизводства и улучшения окружающей природной среды), которая призвана обеспечить декомпенсированное противодействие последствиям антропогенной нагрузки.

ЛЕМ необходим для разработки научно-обоснованной городской экологической политики и оптимизации системы природопользования. Для принятия эффективных квалифицированных управленческих решений по улучшению экологической ситуации городов нужна полная и достоверная информация об основных природных условиях. Исследования, направленные на системный сбор информации о территории, чаще всего относятся к сфере ландшафтно-экологического картографирования.

Обоснована необходимость применения в ЛЕМ геоинформационных систем (ГИС) и представлена модель оценки прироста информации, которую можно получить в процессе внедрения ГИС в ЛЕМ. Предложенная авторами модель позволяет оценить уменьшение энтропии системы (повысить информативность) процесса ЛЕМ за счет внедрения ГИС.

Ключевые слова: геоинформационная система, ландшафтно-экологический мониторинг, информативность, геоинформационное моделирование.