



АРХІТЕКТУРА СУЧАСНИХ ГІС НА ОСНОВІ БАЗ ГЕОПРОСТОРОВИХ ДАНИХ

Рассматриваются особенности архитектуры современных геоинформационных систем, основанных на использовании баз геопространственных данных как средства накопления, хранения, обработки и использования геоинформационных моделей в унифицированных форматах и как ядра интегрирования различных инструментальных ГИС. Описан опыт создания корпоративной ГИС на основе объектно-ориентированной системы управления базами данных PostgreSQL и программных средств PostGIS для реализации базы геопространственных данных.

The paper deals with the features of architecture of the modern geoinformation systems based on use of geospatial databases, as means of accumulation, storage, processing and use of geoinformation models in the unified formats and as a kernel of integration of various GIS. It is described the experience of creation of a corporate GIS on the basis of object-oriented databases management system PostgreSQL and PostGIS software for realization of geospatial databases.

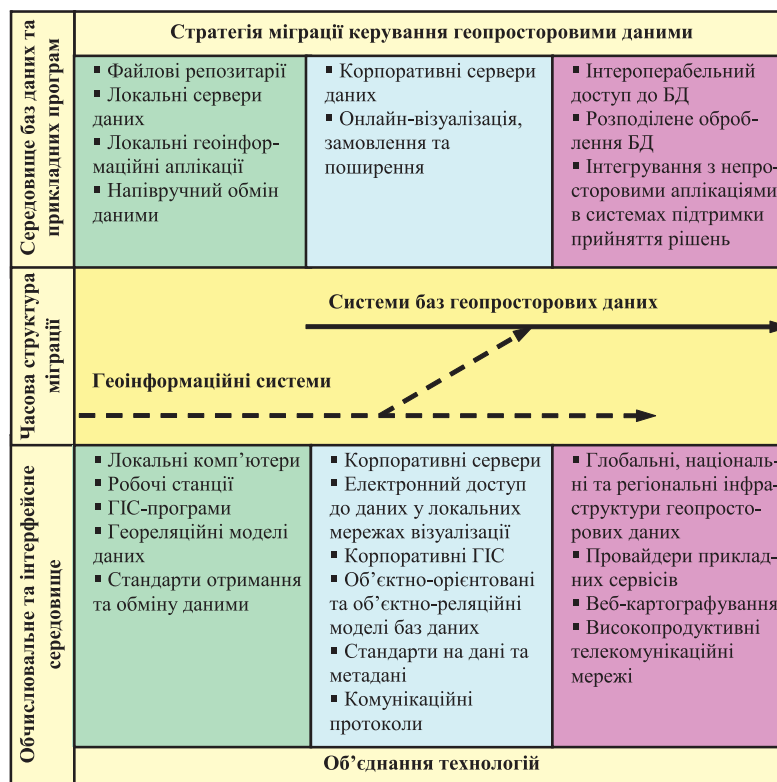
Вступ. До найхарактерніших ознак сучасного етапу розвитку геоінформатики правомірно відносять промислове освоєння геоінформаційних систем нового покоління, заснованих на використанні універсальних систем керування базами даних (СКБД) для зберігання й аналізу геопросторових даних. Це свідчить про технологічну зрілість ГІС з точки зору застосування ідей та методів об'єктно-орієнтованого підходу до моделювання геопростору, а також універсальних методів інформаційних технологій та повноцінної клієнт-серверної архітектури в корпоративних і глобальних ГІС.

Системи баз геопросторових даних стали об'єктом активних досліджень в останні 20 років, про що, зокрема, свідчить потік публікацій, присвячених пошуку ефективних моделей геопросторових даних та схем організації просторових запитів у середовищі СКБД, інтелектуальному аналізу даних і знань, закладених у базах просторових і просторово-часових даних тощо.

Як впливає з публікацій [1-8], ці питання не залишилися поза увагою і співробітників Науково-дослідного інституту геодезії і картографії (НДІГК), що дало змогу не тільки, як мовиться, "тримати руку на пульсі" розвитку нових технологій, а й удосконалювати інструментарій роботи з базами геопросторових даних та реалізувати низку реальних проектів геоінформаційних сервісів і корпоративних ГІС з використанням баз геопросторових даних. Особливостям базорієнтованої архітектури ГІС та узагальненню отриманих практичних результатів її реалізації і присвячено дану публікацію.

Аналіз розвитку систем оброблення геопросторових даних. Проектування та реалізація геоінформаційних технологій багато в чому залежить від тенденцій, якими характеризуються інфор-

маційні технології в цілому. Концепції та методи, що використовуються сьогодні в системах баз геопросторових даних, впливають в основному із загальних принципів та методів, систем універсальних баз даних, які розвинулися в останнє десятиліття. Вони перенесли геопросторову інформацію, яка до середини 1900-х років сприймалася як окрема автономна технологія, в основне русло інформаційних технологій. У монографії [18] цей процес влучно названо міграцією і об'єднанням технологій, в результаті якого у системах оброблення геопросторових даних завершився еволюційний перехід від файлових структур геоінформаційних систем до баз геопросторових даних та геоінформаційних сервісів (мал. 1).



Мал. 1. Стратегія міграції засобів оброблення геопросторових даних від ГІС до систем баз геопросторових даних [20]



В інформатиці донедавна переважала парадигма винятковості геопросторових даних з точки зору застосування технології універсальних СКБД для їх моделювання, зберігання, оброблення і використання. Така ситуація на початкових етапах розвитку ГІС, що випали на 80-ті роки минулого століття, мала об'єктивне пояснення, оскільки технології універсальних СКБД дійсно не могли запропонувати геоінформатиці готових ефективних рішень щодо оброблення просторових даних. Наслідком цього стало різноманіття підходів та форматів від різних виробників інструментальних ГІС на фоні високого рівня уніфікації подання та оброблення фактографічних (непросторових) даних в універсальних СКБД на рівні стандартної мови SQL та уніфікованих механізмів і засобів доступу до даних.

Відтоді базовою парадигмою ГІС стала парадигма картографічних шарів, а основні зусилля досліджень були спрямовані на створення інструментальних засобів точного подання геометричних об'єктів у файлових форматах окремих шарів, виконання операцій просторового аналізу з геометричними об'єктами та формування електронних карт. Згодом були зроблені перші примітивні спроби отримати комплексні географічні дані як поєднання просторових даних геоінформаційних шарів з фактографічними даними, що зберігаються в СКБД.

Як наслідок, керування географічними даними залишилося розділеним на два різні середовища оброблення – одне (ГІС-середовище) для просторових даних, інше – для атрибутів у фактографічних СКБД з оригінальним для кожного типу інструментальної ГІС механізмом зв'язку з просторовими даними. Обмін геоінформаційними моделями між ГІС різних виробників у комплексній корпоративній ГІС відбувається з використанням конверторів даних. Така змішана структура даних хоча й отримала назву "геореляційна", але вона залишалася недосконалою, а її назва свідчила тільки про можливість спрощеного спільного використання в ГІС унікальної для кожної інструментальної ГІС моделі геопросторових даних та загальної для них реляційної моделі фактографічних даних, наприклад, з метою додаткової класифікації геопросторових об'єктів та їх тематичного картографування.

Нескладно виявити основні недоліки корпоративної ГІС із такою архітектурою. Окрім того, що процес конвертування при значних обсягах даних перетворюється в окрему трудомістку процедуру, конвертовані дані, як правило, не повністю відповідають вихідній структурі геоінформаційної моделі джерела. Це в свою чергу потребує додаткових витрат на корегування отриманої в результаті конвертування моделі, а загалом має місце дублювання інформації в різних ГІС-форматах, практично не забезпечується цілісність та адекватність моделей даних, ускладнюється керованість даними.

Розширення сфер застосування ГІС у 1990-х роках та їх практична спроможність перетворитися в засіб інтегрування різноманітних даних про

навколишнє середовище стимулювали розвиток в універсальних СКБД засобів для подання та маніпулювання просторовими і багатовимірними даними. В архітектурі сучасних ГІС, які за еволюцією геоінформаційних систем належать до ГІС третього покоління [2], спостерігається їх повне інтегрування з універсальними СКБД, а також їх вихід у глобальний інформаційний простір через Інтернет. У таких ГІС обидві компоненти моделі географічних об'єктів (атрибутивна й просторова) зберігаються в середовищі єдиної бази даних, а розширена мова SQL дозволяє описувати множину просторових предикатів для виконання просторового аналізу. Використання заснованого на базах даних підходу до просторової інформації забезпечує такі основні переваги, як централізація просторових і непросторових даних в єдиному середовищі, багатопотокове використання, незалежність даних від типу інструментальної ГІС, реальне розмежування доступу, цілісність і реплікація даних тощо.

Стисла характеристика систем баз геопросторових даних. Перехід до реалізації заснованого на базах даних підходу в системах оброблення геопросторових даних відбувся завдяки великим зусиллям і прихильності з боку розробників програмних засобів як звичайних ГІС, так і СКБД. Це також породило низку об'єднань, партнерство та спільні проекти компаній-розробників, сформувалися промислові консорціуми, які об'єднали зусилля державних, комерційних і наукових організацій для виявлення проблем та організації співпраці в досягненні спільних цілей щодо створення систем баз геопросторових даних (СБГД). Сьогодні практично всі великі постачальники СКБД пропонують засоби для зберігання й оброблення геопросторових даних у своїх продуктах. Разом з тим постачальники ГІС також значною мірою розвинули й постачають нові версії своїх систем, в яких реалізовані концепції та методи оброблення геопросторових даних у середовищі СКБД.

Типові системи баз геопросторових даних сьогодні є звичайними комерційними або відкритими СКБД з додатковими можливостями та функціями для оброблення геопросторових даних. Ці можливості та функції включають: *просторові типи даних, просторове індексування, просторові оператори, просторові прикладні процедури*. Стисло охарактеризуємо кожен з цих складових.

Просторові типи даних. Просторові дані зберігаються в СБГД або у вигляді спеціальних абстрактних типів даних згідно зі специфікацією відкритого геопросторового консорціуму OGC (Open Geospatial Consortium) як "прості геопросторові об'єкти" (simple features) [14] або як абстрактний тип даних "великі бінарні об'єкти" BLOB (binary large object). Прості геопросторові об'єкти за специфікацією OGC (точки, полілінії, полігони, мультиточки, мультиполілінії, мультиполігони та комплексні об'єкти) визначені як абстрактний тип даних СКБД Geometry, а отже, повністю обробляються



функціональністю власне бази даних. З іншого боку, BLOB-поля – це універсальний тип даних, в якому можуть бути збережені будь-які бінарні (у т. ч. й геопросторові) дані. Саме застосування абстрактного типу даних BLOB стало одним із засобів реалізації в реляційних СКБД об'єктно-орієнтованого підходу та перетворення їх в об'єктно-реляційні бази даних (ОР СКБД). За такого підходу для підтримки геопросторових даних, що зберігаються у формі BLOB-полів, для СКБД повинні бути розроблені та інсталювані додаткові програмні компоненти (методи класу геометричних об'єктів), які б забезпечували індексування та маніпулювання просторовими даними, і в сукупності перетворили б звичайну ОР СКБД в систему бази геопросторових даних.

Просторове індексування. Це механізм для прискорення доступу до бази геопросторових даних на основі розбиття координатного простору за певною схемою, побудови спеціальних структур (просторових індексів), у яких фіксуються просторові відношення між елементами розбиття та геометричними об'єктами, що зберігаються в СБГД. Просторові індекси використовуються для попереднього відбору (фільтрування) геометричних об'єктів при виконанні просторових запитів і операцій. Є багато різних варіантів індексування, такі як R-дерево, квадро-дерево, модифіковане B-дерево та GRID-індекси, кожен з яких має свої сильні та слабкі сторони в залежності від формальних специфікацій даних і прикладних потреб [3-5, 9, 16-18, 20].

Просторові оператори належать до набору функцій оброблення даних та процесів, які підтримують використання розширеної мови SQL (SQL 99 та SQL 2002) для формування просторових запитів та отримання вибраного вмісту бази даних, об'єднання таблиць бази даних у відповідності з конкретними просторовими і непросторовими критеріями, а також генерування результатів оброблення в специфічних форматах [9, 14-21]. Для уніфікації доступу до геопросторових даних в СКБД розроблено відповідні міжнародні стандарти як у сфері інформаційних технологій (наприклад, ISO/IEC 13249-3:2002 [13]), так і в сфері географічної інформації (наприклад, ISO 19125-1:2004(E) [11], ISO 19125-2:2004(E) [12]) та специфікації OGC [14], що дало змогу досягти високого рівня інтероперабельності просторових розширень у середовищі СКБД різних виробників. Зокрема, стандартизувати два формати подання геометричних об'єктів при зверненні до СБГД, а саме відкритий бінарний WKB (Well-Known Binary) та відкритий текстовий WKT (Well-Known Text)]. Для експорту/імпорту геопросторових даних розроблено стандарт географічної мови розмітки GML (Geographic Markup Language).

Просторові прикладні процедури. До них належать різні компоненти програмного забезпечення для специфічних прикладних функцій СБГД, таких як завантаження геопросторових даних, ке-

рування версіями та довгими транзакціями, налаштування продуктивності (оптимізація просторових запитів), резервне копіювання та реплікація бази даних [9, 15-21]. Усі додаткові функції, просторові оператори та прикладні процедури використовують спеціальний ідентифікатор SRID для вибору певної референцної системи координат або картографічної проекції, в якій описані координати геометричних об'єктів.

Зараз є кілька опцій в універсальних СКБД, в яких пропонуються засоби зберігання геопросторових даних та відповідний набір просторових операторів і функцій. Корпорація "Oracle" була, можливо, першим постачальником СКБД, що долучила просторові опції для своїх основних продуктів [15]. Ще у вересні 1995 р. ця корпорація та інститут ESRI погодилися інтегрувати Oracle 7 Spatial Option з двома продуктами ESRI, а саме інструментарій бази просторових даних SDE (Spatial Database Engine) [21] та ArcView GIS. З тих пір Oracle оформила партнерство або спільні угоди розвитку засобів оброблення геопросторових даних з низкою інших компаній, у т. ч. Intergraph, MapInfo та GE Smallworld Systems. Одночасно Oracle переглянула свою внутрішню стратегію розвитку, реалізація якої привела до створення структури для повної підтримки геопросторових даних за рахунок розширення SQL та реалізації цілого спектра функцій оброблення і навіть візуалізації геопросторових даних у середовищі СКБД Oracle під назвою SDO (Spatial Data Option).

Усі ключові гравці індустрії баз даних, зокрема такі як IBM, Sybase і Microsoft, вступили у партнерські стосунки з постачальниками програмного забезпечення ГІС для інтегрування СКБД з функціями ГІС або розробили свої власні засоби, як правило, у вигляді спеціальних просторових розширень відповідних СКБД. Наприклад, IBM у квітні 2001 р. придбала СКБД Informix, що вирізнялася своєю просторовою функціональністю, та почала активно розвивати цю функціональність у власних СКБД, флагман яких відомий під назвою DB2 з розширенням Spatial Extender [10].

Sybase та Microsoft обрали інший підхід: розширили співпрацю з постачальниками програмного забезпечення ГІС, щоб додати своїм продуктам функціональність СБГД. Компанія Sybase, скажімо, у співпраці з AutoMetric розробила набір функцій бази просторових даних під назвою Spatial Query Server (SQS), який може бути реалізований на основі СКБД Sybase. В СКБД Access та SQL Server корпорації Microsoft успішно реалізовано засоби для інтегрування з ГІС-програмами ESRI, MapInfo, Intergraph, Autodesk та низки інших компаній.

Безумовним лідером серед виробників ГІС-засобів у розвитку СБГД став інститут ESRI з технологією Geodatabase ArcSDE. У складі ArcGIS 10 ця технологія підтримує SQL-доступ до геометричних моделей об'єктів низки СКБД, зокрема: Oracle (з використанням варіанта SQL для ArcSDE або варіанта



SQL для Oracle Spatial), IBM DB2, IBM Informix, Microsoft SQL Server, Informix, PostgreSQL (за допомогою стандартних геометричних типів ST_Geometry або геометричного типу даних PostGIS). Пропонується також бібліотека програмного інтерфейсу SQL API для доступу до таблиць Geodatabase ArcSDE з прикладних програм на мові C++ без ліцензії на інструментальний пакет ArcObjects з метою забезпечення інтероперабельності зовнішніх прикладних програм у використанні геопросторових даних ArcGIS на основі специфікацій ISO SQL/MM Spatial [13] та OGC SQL для простих геопросторових об'єктів [14].

Серед відкритих програмних засобів найвищу функціональність для оброблення геопросторових даних забезпечує ОР СКБД PostgreSQL з набором відповідних просторових програмних процедур PostGIS, які повністю відповідають специфікаціям OGC SQL для простих геопросторових об'єктів [14] та специфікаціям ISO SQL/MM Spatial [13], підтримують доступ на рівні стандартів ANSI SQL 92-2003+ та ANSI SQL 2006. PostgreSQL/PostGIS інтегровані в технологію просторового індексування на основі узагальненого пошукового дерева GiST (Generalized Search Tree), підтримують растрові типи даних, TIN-моделі й 3D- та 4D-координати, на їх основі реалізовано низку продуктів з відкритими вихідними кодами, зокрема: засоби веб-картографування MapServer, GeoServer, OpenLayers, геоінформаційні системи OpenJUMP, Quantum GIS, uDig, gvSIG та багато інших [16].

Зазвичай розробники інформаційних систем обережно сприймають програмні продукти з відкритими ліцензіями, звертаючи увагу на їх надійність, професійний рівень програмування, документованість та сервісну технічну підтримку. Але все це не стосується PostgreSQL/PostGIS, оскільки, *по-перше*, PostgreSQL має "авторитетне" дерево походження: System-R (1973) – Ingres (1974) – Postgres (1988) – Illustra (1993) – Informix (1997) – IBM Informix (2001) – Postgres95 (1995) – PostgreSQL (1997). Як зазначено в [16], PostgreSQL є "двоюродною сестрою" СКБД Sybase і Microsoft SQL Server, тому що фахівці, які розробляли Sybase, прийшли з Каліфорнійського університету в Берклі та попрацювали над проектами Ingres та/або PostgreSQL з Майклом Стоунбрейкером (Michael Stonebraker). А Майкл Стоунбрейкер, на думку багатьох, є ідеологом Ingres та PostgreSQL і одним з ідеологів-засновників об'єктно-реляційних СКБД. Вихідний код Sybase SQL Server був пізніше ліцензований у Microsoft для виробництва Microsoft SQL Server.

По-друге, PostgreSQL є найпотужнішою ОР СКБД серед відкритих (та й не тільки відкритих) систем цього класу, практично не має обмежень на розмір БД, максимальний розмір таблиці 32 Тбайт, максимальний розмір запису 1,6 Тбайт, максимальний розмір поля 1 Гбайт, вільно й безкоштовно доступна в Інтернет, що зумовило її використання в багатьох інформаційних та геоінфор-

маційних проектах міжнародного, національного та регіонального рівнів.

По-третє, PostgreSQL/PostGIS інтегровані з технологією просторового індексування на основі узагальненого пошукового дерева GiST (Generalized Search Tree), підтримують растрові типи даних, TIN-моделі й 3D- та 4D-координати; на їх основі реалізовано низку продуктів з відкритими вихідними кодами, зокрема: засоби веб-картографування MapServer, GeoServer, OpenLayers, геоінформаційні системи OpenJUMP, Quantum GIS, uDig, gvSIG та ще багато чого іншого [16]. Практично всі провідні виробники комерційних ГІС (ESRI, MapInfo, Autodesk тощо) реалізували в своїх системах засоби інтегрування з PostgreSQL/PostGIS.

І на завершення зазначимо таке: всі ці та інші переваги ОР СКБД PostgreSQL обумовили вибір засобів PostgreSQL/PostGIS як основи реалізації СКБД-орієнтованої архітектури корпоративних ГІС та засобів веб-картографування в проектах НДІГК.

Приклади реалізації СКБД-орієнтованої архітектури ГІС. Один із перших проектів (піонерний не тільки в Україні), в якому на основі PostgreSQL реалізовано картографічний веб-сервер uamap.net дослідної Української картографічної мережі в Інтернет, упроваджено в 2001-2002 рр. [1]. Проектом започатковано інтерактивний картографічний Інтернет-сервіс в Україні. На головному вузлі картографічної мережі (vnetgis.com) було зареєстровано понад 100 віддалених клієнтів (постачальників та постійних користувачів геопросторових даних), зокрема: публікація геоінформаційних даних на сервері – 28; обслуговування диспетчерських систем – 5; офісна автоматизація – 4. У дослідній мережі функціонувало 4 фізичних та 22 віртуальних картографічних сервери для відповідних регіонів України. На багатьох популярних сайтах України і сьогодні публікуються електронні карти, що формуються картографічним сервером uamap.net.

Багато концептуальних і технологічних задач щодо реалізації СКБД-орієнтованої архітектури корпоративної ГІС було відпрацьовано при розробленні проекту ГІС Державного підприємства "Міжнародний аеропорт "Бориспіль" (ГІС ДП МА "Бориспіль")".

Ядро корпоративної ГІС цього підприємства створено на основі СБГД PostgreSQL/PostGIS, що пояснюється великими обсягами геоінформаційних ресурсів про територію об'єкта, які створюються, накопичуються та спільно використовуються в процесі моніторингу стану інфраструктури аеропорту, підготовки проектних та управлінських рішень, спрямованих на раціональне використання і розвиток даного територіально-господарського комплексу.

Використання системи PostgreSQL/PostGIS дозволило реалізувати в ГІС ДП МА "Бориспіль" повноцінну клієнт-серверну структуру (мал. 2) та забезпечити застосування окремими підрозділами підприємства різних інструментальних ГІС, що функціонально найбільше відповідають їх виробничим

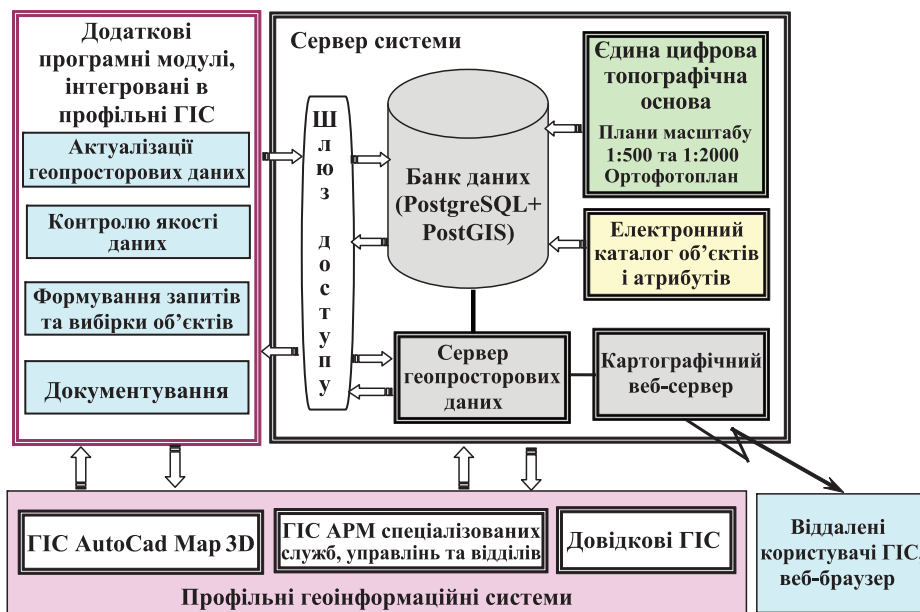


потребам з підтримки процесів життєзабезпечення аеропорту, в т. ч. AutoCAD Map 3D, MapInfo, Quantum GIS та інформаційних компонентів роботи з електронними картами віддалених клієнтів у мережі Інтернет.

ційну модель БГД в середовищі будь-якої інструментальної ГІС, стають доступними для інших без конвертування даних.

Характерною особливістю ГІС ДП МА "Бориспіль" є використання електронного каталогу об'єктів та їх атрибутів [7] в усіх програмах роботи у БГД для формування екранних форм візуалізації та редагування атрибутів об'єктів, формування запитів і звітів. Така реалізація програмних засобів дозволяє за потреби оперативно розширювати склад атрибутів об'єктів у БГД та автоматично генерувати відповідні екранні форми лише на основі редагування електронного каталогу об'єктів та їх атрибутів без внесення змін у програми.

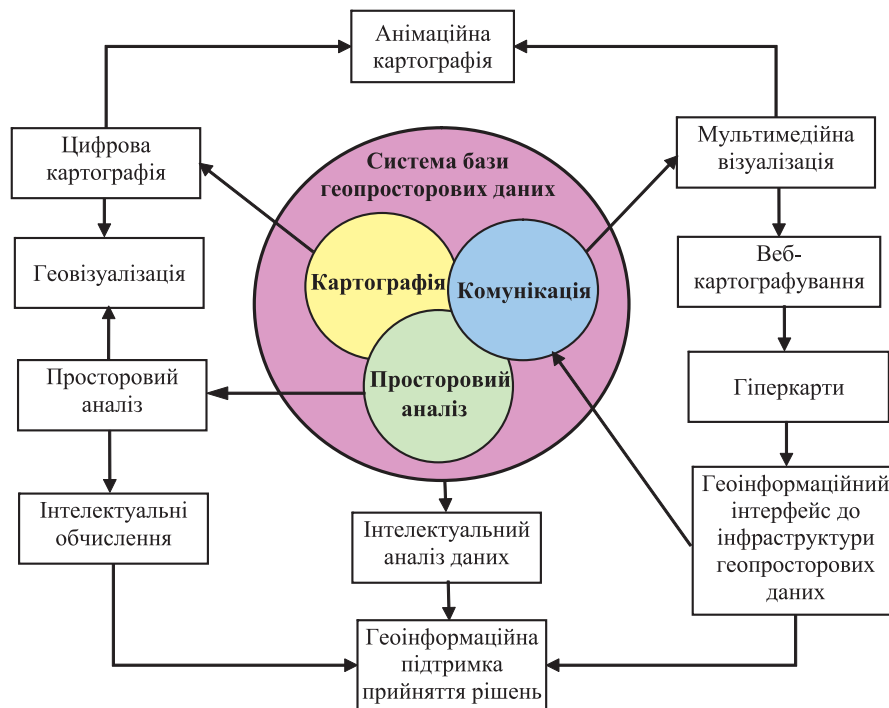
Висновки. Наразі ранній період розвитку геоінформатики багато дослідників характеризують як ГІС-центричний або інструментально-орієнтований з вузькоспеціальною технологією, передусім для потреб професійних користувачів і дослідників. При цьому географічна інформація розглядається з трьох позицій, а саме: керування геопросторовими даними, картографування, просторовий аналіз. Д. З. Сунь і М. Ф. Гудчайлд [19] стверджують, що такий підхід не дає змоги охопити сутність геоінформаційної технології та її соціальні наслідки. Вони справедливо припустили, що геопросторові дані також повинні бути доступними та зрозумілими для засобів масової інформації. Останні визначаються як засоби передавання інформації для потреб громадськості. Вони належать до засобів масових теле-



Мал. 2. Структура та приклад візуалізації ситуації в корпоративній ГІС ДП МА "Бориспіль"

У ГІС ДП МА "Бориспіль" комплексно використовуються цифрові ортофотоплани та детальна цифрова векторна модель території, що за складом і точністю відповідає топографічному плану в масштабі 1:500. Підтримка в актуальному стані і використання цифрової моделі території такого високого рівня деталізації забезпечується розподіленим доступом до її окремих складових відповідних підрозділів та служб підприємства в режимі редагування. Будь-які зміни, внесені одним з підрозділів у геоінформа-

ційну модель БГД в середовищі будь-якої інструментальної ГІС, стають доступними для інших без конвертування даних. Тому в новій концепції геопросторової інформації (мал. 3) виділяються чотири основні функціональні аспекти геопросторових даних, а саме: *системи баз геопросторових даних, картографія, комунікація та просторовий аналіз*, кожен з яких обслуговує одну або більше конкретних, але взаємопов'язаних прикладних областей (на схемі їх позначено прямокутними блоками).



Мал. 3. Нова концепція функцій геопросторової інформації

Компонента баз геопросторових даних відіграє основну і вирішальну роль у новій концепції застосування географічної інформації та новій архітектурі геоінформаційних систем як складової інфраструктури геопросторових даних. Орієнтований на бази даних, такий підхід дає можливість суттєво підвищити ефективність використання геопросторової інформації в системах підтримки прийняття рішень порівняно з традиційним ПС-центричним підходом.

Література

1. Карпінський, Ю.О. Українська картографічна мережа в Internet [Текст] / Ю.О. Карпінський, А.А. Лященко, О.Г. Кібець, С.А. Іванченко // Вч. зап. ТНУ. Сер: Географія. – Т. 17. – 2004. – № 2. – С. 111-118.
2. Лященко, А.А. Концептуальне моделювання геоінформаційних систем [Текст] / А.А. Лященко // Вісн. геодез. та картогр. – 2002. – № 4. – С. 44-50.
3. Лященко, А.А. Реляционные модели и пространственная индексация геоданных [Текст] / А.А. Лященко // Инж. геодез. – 2000. – Вып. 43. – С. 139-150.
4. Лященко, А.А. Визначення параметрів для просторової індексації об'єктів в базах геопросторових даних кадастрових ПС [Текст] / А.А. Лященко // Инж. геодез. – 2001. – Вып. 46. – С. 158-166.
5. Лященко, А.А. Дослідження спеціальних методів доступу до баз геопросторових даних [Текст] / А. Лященко, В. Смирнов, О. Ціпенко // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва: зб. наук. пр. – Л.: Лі-га-Прес, 2004. – С. 313-321.
6. Лященко, А.А. Концептуальні моделі геопросторових даних [Текст] / А.А. Лященко, В.В. Смирнов, С.А. Іванченко // Инж. геодез. – 2005. – Вып. 51. – С. 216-226.
7. Рунець, Р.В. Структура та функції бази даних електронного каталогу топографічних об'єктів [Текст] / Р.В. Рунець, А.Г. Черін // Вісн. геодез. та картогр. – 2010. – № 3. – С. 31-35.
8. Черін, А.Г. Стандартизація геоінформаційних сервісів [Текст] / А.Г. Черін // Вісн. геодез. та картогр. – 2009. – № 4. – С. 34-39.
9. Шаши, Шекхар. Основы пространственных баз данных [Текст] / Ш. Шекхар, С. Чаула; пер. с англ. – М.: Кудиц-Образ, 2004. – 336 с.
10. DB2 Spatial Extender. User's Guide and Reference, Version 8.1. – IBM Corp, 2002.
11. ISO 19125-1:2004(E). Geographic information – Simple feature access. – Part 1: Common architecture. – ISO, 2004.
12. ISO 19125-2:2004(E). Geographic information – Simple feature access. – Part 2: SQL option. – ISO, 2004.
13. ISO/IEC 13249-3:2002 FDIS. Informational technology – Database languages – SQL Multimedia and Application Packages. – Part 3: Spatial, 2-nd edition. – ISO/IEC, 2002.
14. OpenGIS Simple Features Specification For SQL. Revision 1.1. OpenGIS Project Document 99-049. – OpenGIS Consortium. – May 5, 1999.
15. Oracle Spatial Option. User's Guide and Reference, Release 9.0.1. – Oracle Corp, 2001.
16. Regina, O. Obe. PostGIS in Action [Text] / O. Obe Regina, L.S.Hsu. – Manning Publications, 2011. – 450 p.
17. Rigaux, Ph. Spatial Databases with Application to GIS [Text] / Ph. Rigaux, M. Schol, A. Voisard. – CA, USA: Academic Press, 2002. – 410 p.
18. Spatial databases: technologies, techniques and trends [Text] / Ya. Manolopoulos, A. N. Papadopoulos and M. Gr. Vassilakopoulos [Editors]. – Idea Group Inc, 2005. – 340 p.
19. Sui, D.Z. GIS as Media? [Text] / D.Z. Sui, M.F. Goodchild // Guest Editorial, International Journal of Geographical Information Science. – 2001. – Vol. 15. – No. 5. – P. 387-390.
20. Yeung, A-K.W. Spatial database system: design, implementation and project management [Text] / A-K.W. Yeung, B. G. Hall // The GeoJournal Library. – 2007. – Vol. 87. – 553 p.
21. Zeiler, M. Modeling Our World [Text] / M. Zeiler // The ESRI Guide to Geodatabase Design. – USA: ESRI Press, 1999. – 199 p.

Надійшла 11.10.11