

**ПОРІВНЯННЯ ДЕЯКИХ ПРОСТОРОВО-ЧАСОВИХ МОДЕЛЕЙ ГЕОДАНИХ У ЗАСТОСУВАННІ ДО ОРГАНІЗАЦІЇ ІНФОРМАЦІЙНИХ РЕСУРСІВ ГІС СФЕРИ ДЕРЖАВНОГО УПРАВЛІННЯ (НА ПРИКЛАДІ ЛІСОВОГО ГОСПОДАРСТВА)**

\*Інститут проблем математичних машин і систем НАН України, м. Київ, Україна

**Анотація.** Географічні (просторові) дані складають значну, якщо не переважаючу, частину об'єму інформаційних ресурсів, що використовуються для підтримки прийняття рішень у галузі державного управління. Концептуальною основою представлення таких даних і опису їх змін у часі є просторово-часові моделі (ПЧ-моделі). Мета статті полягає у порівняльному аналізі ПЧ-моделей часових шарів, найменших спільних геометрій та псевдооб'єктної моделі у застосуванні до геоданих адміністративного типу на прикладі предметної області сфери управління лісовим фондом. Для виконання порівняльного аналізу як основи «бенчмаркінга» розглядаються зміни стану набору «виділів», що входять в один лісовий квартал, протягом 4-х тактів (років) і особливості опису цих змін обраними ПЧ-моделями. Аналізуються показники, які описують динаміку кількості вершин (точок), що характеризують потрібний ресурс пам'яті, та об'ємів таблиць зв'язку компонентів (таблиць рекомбінацій), що характеризують додаткову часову трудомісткість обробки геоданих. На основі отриманих результатів, з урахуванням додаткових літературних даних, обговорюються переваги й недоліки обраних моделей у випадку їх застосування до геоданих обраного типу. Проведене моделювання дає відповіді на найбільш загальні питання відносно улаштування та властивостей розглянутих моделей і в цьому відношенні більшою мірою ілюструє практичну методіку такої порівняльної оцінки. Для конкретних застосувань необхідно уточнювати очікувані об'єми даних, частоту внесення змін, характер та частоту запитів. Що стосується саме сфери управління лісовим господарством, то в ній у теперішній час оновлення геоданих виконується з річним інтервалом, і поки що прийнята найбільш проста для реалізації модель часових шарів. Проведений аналіз з урахуванням додаткових специфічних властивостей саме лісових геоданих дає певні підстави для вибору моделі найменших спільних геометрій як основи подальшого розвитку задач управління лісовим фондом.

**Ключові слова:** просторово-часові дані, просторово-часова модель даних, найменші спільні геометрії, псевдооб'єктна модель, модель часових шарів.

**Аннотация.** Географические (пространственные) данные составляют значительную, если не преобладающую, часть объемов информационных ресурсов, используемых для поддержки принятия решений в сфере государственного управления. Концептуальной основой представления таких данных и описания их изменений во времени являются пространственно-временные модели (ПВ-модели). Цель статьи заключается в сравнительном анализе ПВ-моделей временных слоев, наименьших общих геометрий и псевдообъектной модели в приложении к представлению геоданных административного типа на примере предметной области сферы управления лесным фондом. Для выполнения сравнительного анализа в качестве основы «бенчмаркинга» рассматриваются изменения состояния набора «выделов», входящих в один лесной квартал, на протяжении 4-х тактов (лет) и особенности описания этих изменений выбранными ПВ-моделями. Анализируются показатели, описывающие динамику количества вершин (точек), характеризующих требуемый ресурс памяти, и объемов таблиц связей компонентов (таблиц рекомбинаций), характеризующих дополнительную временную трудоемкость обработки геоданных. На основе полученных результатов с учетом дополнительных литературных данных обсуждаются достоинства и недостатки выбранных моделей по отношению к геоданным рассматриваемого типа. Проведенное моделирование дает ответы на наиболее общие вопросы относительно устройства и свойств рассмотренных моделей и в этом отношении в большей мере иллюстрирует практическую методіку такой оценки. Для конкретных применений необходимо уточнить ожидаемые объемы данных, частоту внесения изменений, характер и частоту запросов. Что касается именно сферы управления лесным хозяйством, то в ней в настоящее время обновление геоданных выполняется с годич-

ним інтервалом, і пока що прийнята найбільш проста для реалізації модель часових шарів. Проведений аналіз з урахуванням особливостей, характерних для лісових геопросторових даних, дає деякі основи для вибору моделі найменших загальних геометрій як основи подальшого розвитку завдань управління лісовим фондом.

**Ключевые слова:** просторово-часові дані, просторово-часова модель даних, найменші загальні геометрії, псевдооб'єктна модель, модель часових шарів.

**Abstract.** Geographic (spatial) data is the main or, may be, predominate part of content of information resources using for decision support data in the field of public administration. The conceptual basis for the presentation of such data and the description of their changes over time is spatial-temporal models (ST-models). The purpose of this paper is comparative analysis of ST-models, namely, snapshot models, least common geometries model and pseudo-object model applying to geodata of the public administration type in the context of subject field of forestland management sphere. To perform the comparative analysis as the basis of "benchmarking" the state changes are considered as the set of "divisions" included in one forest quarter, during 4 cycles (years) and the characteristics of describing these changes by selected ST-models. The indices describing the dynamics of vertices (points) number characterizing the required memory resource and the volumes of communication tables of components (recombination tables), which characterize additional time-consuming processing of geodata are analyzed. On the basis of the obtained results, taking into account additional literary data, the advantages and disadvantages of the selected models are discussed in case of their application to the geodata of the chosen type. The simulation we have given, gives answers to the most general questions about mechanism and properties of the considered models and in this respect more illustrates the practical technique for comparative evaluation. For specific applications, it is necessary to specify expected amount of data, the frequency of changing, the character and frequency of queries for concrete applications. Regarding to the area of forest management, the current update of the location data is carried out with an annual interval and so far adopted by the most simple to implement, a snapshot model. The analysis we have carried out, taking into account specific properties of forestland geodata, gives some reasons for choosing least common geometries model as basis for future development of forestland management tasks.

**Keywords:** spatial-temporal data, spatial-temporal data model, least common geometries, pseudo-object model, snapshot model.

## 1. Вступ

Аналіз світового досвіду в галузі створення та впровадження інформаційних технологій функціонування ситуаційних центрів органів державної влади приводить до висновку, що географічні (просторові) дані складають більше половини інформаційних ресурсів, які використовуються для підтримки прийняття рішень у сфері державного управління. Останнім часом відбувається активний розвиток просторово-часових геоінформаційних систем, що оперують просторовими геопросторами та їх змінами в часі. Концептуальною основою подання та обробки таких даних є просторово-часові моделі (ПЧ-моделі). В залежності від типів властивостей об'єктів, що змінюються в часі (морфологічних, топологічних, атрибутивних), можливі різні сценарії поведінки ПЧ-даних і різні критерії ефективності моделей опису цих сценаріїв. Аналітичний огляд основних існуючих ПЧ-моделей [1–3], проведений з метою виділення їх властивостей, істотних з точки зору особливостей можливих сфер застосування, показав, що жодна з розглянутих моделей не може розглядатися як універсальна, прийнятно ефективна для всіх поєднань типів змін і критеріїв. Однак для конкретних предметних областей можливе виділення із множини моделей деякої предметно- і проблемно-орієнтованої підмножини, досить ефективною для подання відповідних даних і вирішення задач. Зокрема, найбільш придатними для просторово-часових ГІС вважаються кадастрові дані [2, 4], що мають високу точність, представлені в єдиній системі координат та в єдиному масштабі. Тому як типові застосування ПЧ-моделей у сфері державного управління природно розглядати саме дані типу кадастрових.

*Метою статті є порівняльний аналіз деяких ПЧ-моделей, які, на думку авторів, що базується на відповідних зауваженнях [2, 3, 5–7], у більшій мірі відповідають вимогам і особливостям представлення зазначених геоданих.*

## **2. Вихідні положення**

Однією з актуальних областей застосування технологій ПС у сфері державного управління України, на прикладі якої розглядається застосування ПЧ-моделей, є управління лісовим господарством: відстеження кордонів і властивостей лісових об'єктів проводиться з метою вивчення динаміки природних процесів, а також виявлення помилок у лісових геоданих [8]. Процес ведення лісовпорядкування включає формування початкової тематичної та картографічної інформації для лісництв, збереження поточної інформації у локальних базах даних та формування вихідних паперових документів, накопичення картографічних та таксаційних даних на серверах баз даних за часовими, територіальними та іншими характеристиками, генерація різного роду вихідних документів (планшетів, планів, карт-схем та ін.).

Лісові геодані у формі, в якій вони зберігаються у базі геоданих «Укрдержліспроєкту», за точністю наближаються до кадастрових даних (а саме, для зовнішніх кордонів лісництв і часто для меж лісових кварталів). Межі об'єктів у лісових кварталах менш точні з причин спрощених методів і складності спостережень на місцевості, а також нечіткої, по суті, природи лісових об'єктів. Всі вони зберігаються в одній координатній системі з однаковим масштабом. Більш того, база даних «Укрдержліспроєкту» у явному вигляді містить часову компоненту. Лісові геодані мають ієрархічний характер, що зближує їх із даними адміністративно-територіального поділу.

В основі ієрархічної організації лісового фонду лежать таксаційні «виділи» – однорідні за таксаційними характеристиками та господарським функціональним призначенням ділянки лісового фонду, на всій площі яких при необхідності намічаються однакові господарські заходи. Крім зазначеної особливості організації лісових геоданих, істотне значення для вибору альтернативних конкурентоспроможних моделей мають обсяг даних, частота внесення змін, частота і складність виконання запитів, наявність (або відсутність) рухомих об'єктів та ін. З урахуванням зазначених критеріїв та зауважень [2, 3, 5–7] у згаданій проблемно-орієнтованій підмножині виділені три ПЧ-моделі:

- модель часових шарів The Snapshot model (SS-модель);
- модель найменших спільних геометрій Least Common Geometry model (LCG-модель);
- псевдо-об'єктна модель Pseudo-object model (PO-модель).

Принципи організації відзначених моделей і особливості представлення часової компоненти полягають у такому.

У SS-моделі дані зберігаються в шарах через дискретні часові інтервали. Окремий шар зберігає все те, що відноситься до заданої тематичної області в деякий момент часу. Шар супроводжується таблицею непросторових даних, що зв'язує об'єкти з відповідними номерами виділу. Надалі будемо називати історичними об'єктами ті об'єкти, що зберігаються (зміна стану яких відслідковується) в просторово-часовій базі даних.

У LCG-моделі дані зберігаються у вигляді сукупності Найменших спільних Геометрій (LCG) – незмінних з часом полігонів, що цілком входять або співпадають з одним із полігонів у кожен заданий момент часу. Зв'язок історичних об'єктів, часу існування та складових їх LCG зберігаються в базі рекомбінацій. Кожен історичний об'єкт у деякий момент часу повністю складається з однієї або декількох LCG.

PO-модель у цілому схожа з попередньою, але полігони зберігаються за допомогою дуг (лінійних сегментів), що використовуються в цій моделі замість LCG. Таблиця дуг надає список дуг із часом їх створення та знищення, а таблиця історичних об'єктів відобра-

жає зв'язок історичних об'єктів і дуг. При внесенні нових історичних об'єктів змінені об'єкти заносяться як нові з вказівкою дуг, що відповідають їм.

Для проведення порівняльного аналізу як основи «бенчмаркінгу» на реальних даних побудовано фрагмент предметної області, що змінюється (рис. 1), та розглянуто його представлення трьома виділеними моделями.

Розглядається стан невеликого набору виділів, що входять в один лісовий квартал, протягом чотирьох років. На 2-му році на більшій частині виділу 17 і невеликій ділянці виділу 18 були створені нові виділи. На 3-му році у середині виділу 17 створений новий невеликий виділ 17.4.

На четвертому році «анклав» 17.4 змінив форму і розташування.

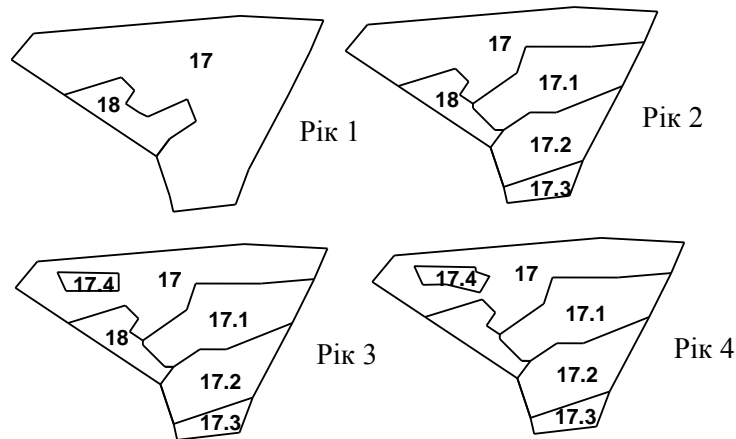


Рисунок 1 – Приклад частини лісництва за 4 роки

### 3. Моделювання ПЧ-змін

#### 3.1. SS-модель (рис. 2)

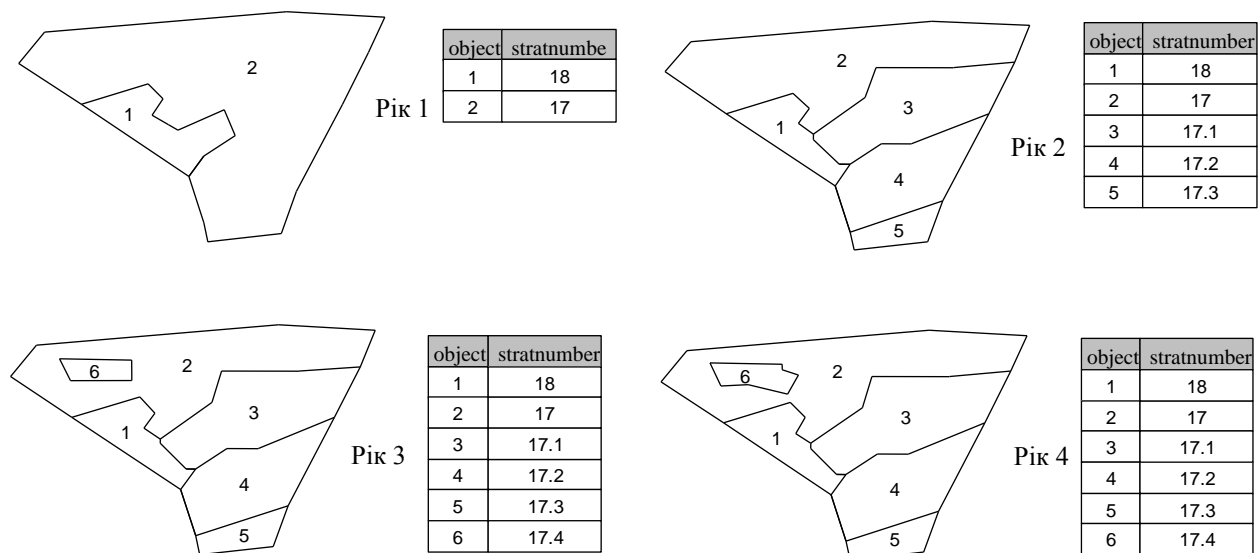


Рисунок 2 – Представлення моделі часових шарів

### 3.2. LCG-модель

На рис. 3–6 зображено можливе застосування методу найменших спільних геометрій для прикладу з рис. 1. Колонка LCGid – ідентифікатор найменших спільних геометрій, object – ідентифікатор історичного об’єкта, begin і end – початок і кінець існування історичного об’єкта. На картах номерами позначені найменші спільні геометрії (LCG).

Вихідні LCG повністю співпадають з вихідним станом історичних об’єктів, що розглядаються.

| LCGid |
|-------|
| 1     |
| 2     |

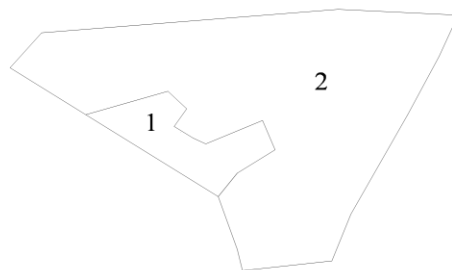
Таблиця LCG

| object | begin | end | LCGid |
|--------|-------|-----|-------|
| 1      | 0     | 5   | 1     |
| 2      | 0     | 5   | 2     |

Таблиця рекомбінацій

| object | stratnumber |
|--------|-------------|
| 1      | 18          |
| 2      | 17          |

Таблиця непросторових атрибутів



LCG

Рисунок 3 – Перший рік

| LCGid |
|-------|
| 3     |
| 4     |
| 5     |
| 6     |
| 7     |
| 8     |

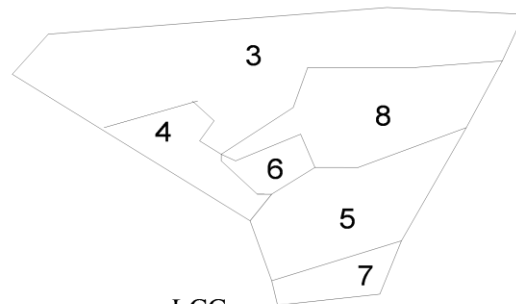
Таблиця LCG

| object | begin | end | LCGid |
|--------|-------|-----|-------|
| 1      | 0     | 5   | 4     |
| 1      | 0     | 2   | 6     |
| 2      | 0     | 5   | 3     |
| 2      | 0     | 2   | 5     |
| 2      | 0     | 2   | 7     |
| 2      | 0     | 2   | 8     |
| 3      | 2     | 5   | 8     |
| 3      | 2     | 5   | 6     |
| 4      | 2     | 5   | 5     |
| 5      | 2     | 5   | 7     |

Таблиця рекомбінацій

| object | stratnumber |
|--------|-------------|
| 1      | 18          |
| 2      | 17          |
| 3      | 17.1        |
| 4      | 17.2        |
| 5      | 17.3        |

Таблиця непросторових атрибутів



LCG

Рисунок 4 – Другий рік



Рисунок 5 – Третій рік

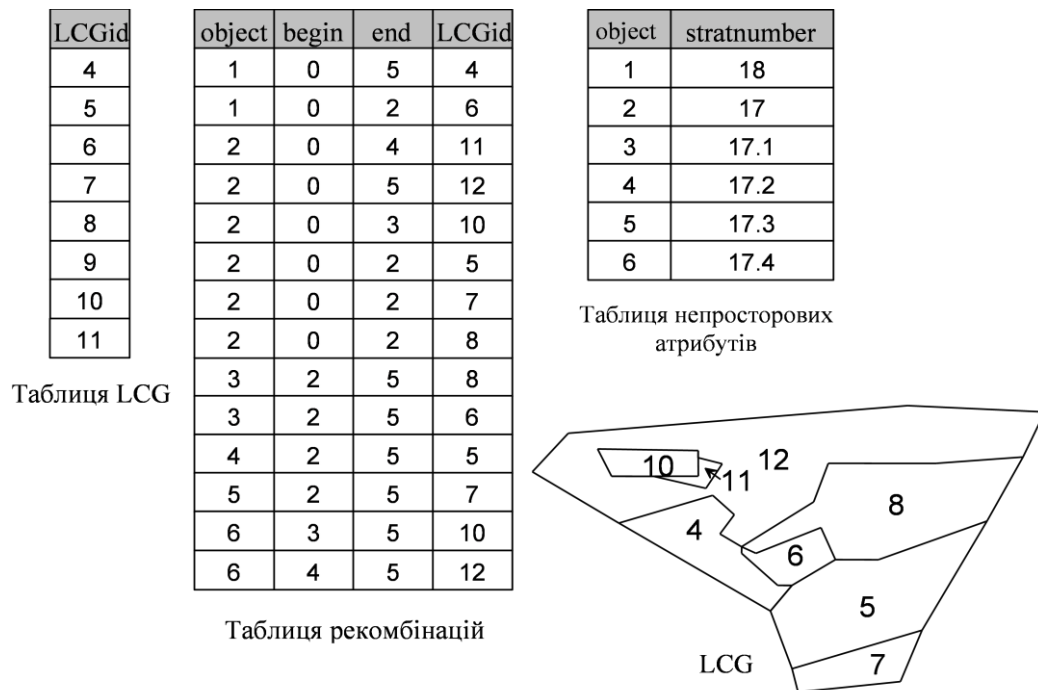


Рисунок 6 – Четвертий рік

Якщо необхідно отримати стан області, що відстежується, наприклад, у третьому році, беремо таблицю рекомбінацій з рис. 6, дивимось ті рядки, де  $begin \leq 3 < end$  (рис. 7, потрібні рядки в рамці). Об'єднуємо отримані LCG за належністю до одного історичного

об'єкта. Відзначимо, що на рис. 7 номери лісових об'єктів показані похилим шрифтом, а їх межі жирними лініями.

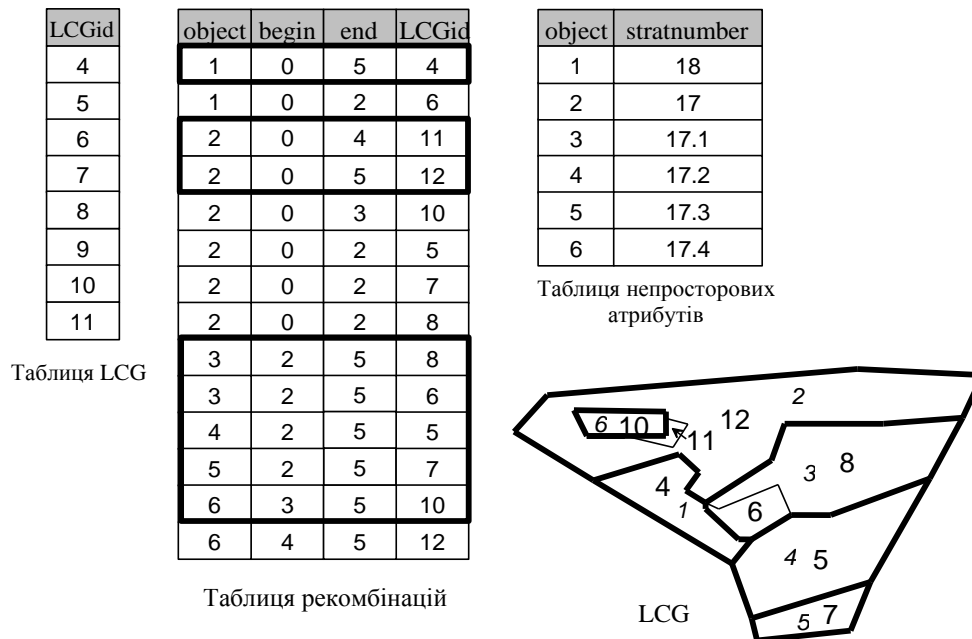


Рисунок 7 – Отримання стану області, що відстежується, у третьому році для моделі найменших спільних геометрій

### 3.3. PO-модель



Рисунок 8 - Перший рік

На рис. 8–11 зображено можливе застосування псевдооб'єктної моделі для прикладу з рис. 1. Колонка arc – ідентифікатор дуги, object – ідентифікатор історичного об'єкта,

begin і end – початок і кінець існування історичного об’єкта. На картах номерами позначені дуги (межі між двома сусідніми історичними об’єктами або ділянки межі історичного об’єкта, на яких немає сусідів), кінці дуг – білі кола. Щоб уникнути захаращення рисунків дугами, що накладаються, слід вказати склад таких дуг окремо у примітках до відповідних рисунків.

| arc | begin | end |
|-----|-------|-----|
| 1   | 0     | 5   |
| 2   | 0     | 2   |
| 3   | 0     | 5   |
| 4   | 2     | 5   |
| 5   | 2     | 5   |
| 6   | 2     | 5   |
| 7   | 2     | 5   |
| 8   | 2     | 5   |
| 9   | 2     | 5   |
| 10  | 2     | 5   |
| 11  | 2     | 5   |
| 12  | 2     | 5   |
| 13  | 2     | 5   |
| 14  | 2     | 5   |

Таблиця дуг

| object | begin | end | arc |
|--------|-------|-----|-----|
| 1      | 0     | 5   | 1   |
| 1      | 0     | 2   | 3   |
| 2      | 0     | 2   | 2   |
| 2      | 0     | 2   | 3   |
| 1      | 2     | 5   | 13  |
| 1      | 2     | 5   | 7   |
| 1      | 2     | 5   | 8   |
| 2      | 2     | 5   | 13  |
| 2      | 2     | 5   | 14  |
| 2      | 2     | 5   | 4   |
| 3      | 2     | 5   | 4   |
| 3      | 2     | 5   | 5   |
| 3      | 2     | 5   | 6   |
| 3      | 2     | 5   | 7   |
| 4      | 2     | 5   | 6   |
| 4      | 2     | 5   | 8   |
| 4      | 2     | 5   | 9   |
| 4      | 2     | 5   | 10  |
| 4      | 2     | 5   | 11  |
| 5      | 2     | 5   | 11  |
| 5      | 2     | 5   | 12  |

Таблиця історичних об’єктів

| object | stratnumber |
|--------|-------------|
| 1      | 18          |
| 2      | 17          |
| 3      | 17.1        |
| 4      | 17.2        |
| 5      | 17.3        |

Таблиця непросторових атрибутів

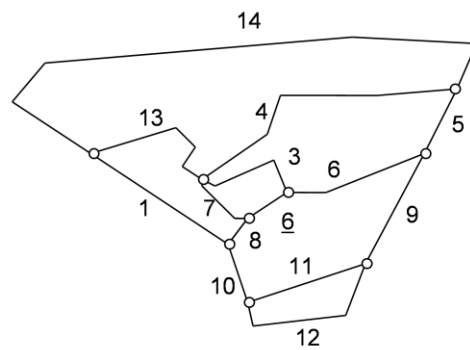


Рисунок 9 – Другий рік

Відзначимо, що на рис. 9 дуга 2 – це об’єднання дуг 14, 5, 9, 12, 10. Дуга 3 – 13, 3 (не накритий відрізок), 8, б. б є частиною дуги 6.

При внесенні змін штучні дати (оскільки ми в цей момент не знаємо, коли дана LCG або дуга перестане належати вказаному виділу) замінюються, де можливо, на справжні (коли стане відомий справжній кінцевий час). Штучний кінцевий час бажано обирати достатньо великим, щоб у випадку, коли потрібно буде вносити зміни, що стосуються кінцевого або пізнішого часу, не доводилося зайвий раз коригувати зміст таблиці рекомбінацій.

Аналогічно вносяться дані й для третього року. Тому відповідний рисунок можна не наводити.

Якщо необхідно отримати стан області, що відстежується, наприклад, у третьому році, беремо таблицю історичних об’єктів з рис. 10, дивимося ті рядки, де  $begin \leq 3 < end$  (див. рис. 11, потрібні рядки в рамці). Об’єднуємо отримані дуги за приналежністю до одного історичного об’єкта.



| arc | begin | end |
|-----|-------|-----|
| 1   | 0     | 5   |
| 2   | 0     | 2   |
| 3   | 0     | 5   |
| 4   | 2     | 5   |
| 5   | 2     | 5   |
| 6   | 2     | 5   |
| 7   | 2     | 5   |
| 8   | 2     | 5   |
| 9   | 2     | 5   |
| 10  | 2     | 5   |
| 11  | 2     | 5   |
| 12  | 2     | 5   |
| 13  | 2     | 5   |
| 14  | 2     | 5   |
| 15  | 3     | 4   |
| 16  | 4     | 5   |
| 17  | 4     | 5   |

Таблиця дуг

| object | begin | end | arc |
|--------|-------|-----|-----|
| 1      | 0     | 5   | 1   |
| 1      | 0     | 5   | 3   |
| 2      | 0     | 2   | 2   |
| 2      | 0     | 2   | 3   |
| 1      | 2     | 5   | 13  |
| 1      | 2     | 5   | 7   |
| 1      | 2     | 5   | 8   |
| 2      | 2     | 5   | 13  |
| 2      | 2     | 5   | 14  |
| 2      | 2     | 5   | 4   |
| 3      | 2     | 5   | 4   |
| 3      | 2     | 5   | 5   |
| 3      | 2     | 5   | 6   |
| 3      | 2     | 5   | 7   |
| 4      | 2     | 5   | 6   |
| 4      | 2     | 5   | 8   |
| 4      | 2     | 5   | 9   |
| 4      | 2     | 5   | 10  |
| 4      | 2     | 5   | 11  |
| 5      | 2     | 5   | 11  |
| 5      | 2     | 5   | 12  |
| 2      | 3     | 4   | 15  |
| 6      | 3     | 4   | 15  |
| 2      | 4     | 5   | 16  |
| 6      | 4     | 5   | 16  |
| 2      | 4     | 5   | 17  |
| 6      | 4     | 5   | 17  |

Таблиця історичних об'єктів

| object | stratnumber |
|--------|-------------|
| 1      | 18          |
| 2      | 17          |
| 3      | 17.1        |
| 4      | 17.2        |
| 5      | 17.3        |
| 6      | 17.4        |

Таблиця непросто-  
рових атрибутів

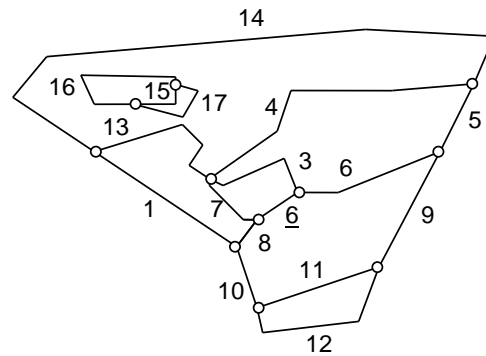


Рисунок 10 – Четвертий рік

Відзначимо, що на рис. 10 дуга 2 – це об'єднання дуг 14, 5, 9, 12, 10. Дуга 3 – 13, 3 (не накритий відрізок), 8, б. б є частиною дуги 6. Дуга 15 – це об'єднання дуг 15 та 16.

Відзначимо, що на рис. 11 номери лісових об'єктів показані курсивом, а їх межі – жирними лініями. Дуга 2 – це об'єднання дуг 14, 5, 9, 12, 10. Дуга 3 – 13, 3 (ненакритий відрізок), 8, б. б є частиною дуги 6.

#### 4. Результати моделювання

Зведені дані за чотири роки щодо кількості вершин  $V_i^j$ , що характеризують потрібний ресурс пам'яті, і обсягу таблиць рекомбінацій  $R_i^j$ , що характеризують додаткову часову трудомісткість попередньої обробки геоданих, наведені у табл. 1.

Для всіх моделей під «вершиною» розуміється деяка точка. Зокрема, для SS та LCG-моделей це точка, де торкаються дві сторони (ребра) полігону. В LCG-моделі кожний полігон зберігається окремо, тому вершини дублюються. Для дуг PO-моделі – це точка на кінцях поліліній або на стику їх лінійних відрізків.

| arc | begin | end |
|-----|-------|-----|
| 1   | 0     | 5   |
| 2   | 0     | 2   |
| 3   | 0     | 5   |
| 4   | 2     | 5   |
| 5   | 2     | 5   |
| 6   | 2     | 5   |
| 7   | 2     | 5   |
| 8   | 2     | 5   |
| 9   | 2     | 5   |
| 10  | 2     | 5   |
| 11  | 2     | 5   |
| 12  | 2     | 5   |
| 13  | 2     | 5   |
| 14  | 2     | 5   |
| 15  | 3     | 4   |
| 16  | 4     | 5   |
| 17  | 4     | 5   |

Таблиця дуг

| object | begin | end | arc |
|--------|-------|-----|-----|
| 1      | 0     | 5   | 1   |
| 1      | 0     | 2   | 3   |
| 2      | 0     | 2   | 2   |
| 2      | 0     | 2   | 3   |
| 1      | 2     | 5   | 13  |
| 1      | 2     | 5   | 7   |
| 1      | 2     | 5   | 8   |
| 2      | 2     | 5   | 13  |
| 2      | 2     | 5   | 14  |
| 2      | 2     | 5   | 4   |
| 3      | 2     | 5   | 4   |
| 3      | 2     | 5   | 5   |
| 3      | 2     | 5   | 6   |
| 3      | 2     | 5   | 7   |
| 4      | 2     | 5   | 6   |
| 4      | 2     | 5   | 8   |
| 4      | 2     | 5   | 9   |
| 4      | 2     | 5   | 10  |
| 4      | 2     | 5   | 11  |
| 5      | 2     | 5   | 11  |
| 5      | 2     | 5   | 12  |
| 2      | 3     | 4   | 15  |
| 6      | 3     | 4   | 15  |
| 2      | 4     | 5   | 16  |
| 6      | 4     | 5   | 16  |
| 2      | 4     | 5   | 17  |
| 6      | 4     | 5   | 17  |

Таблиця історичних об'єктів

| object | stratnumber |
|--------|-------------|
| 1      | 18          |
| 2      | 17          |
| 3      | 17.1        |
| 4      | 17.2        |
| 5      | 17.3        |
| 6      | 17.4        |

Таблиця непросторових атрибутів

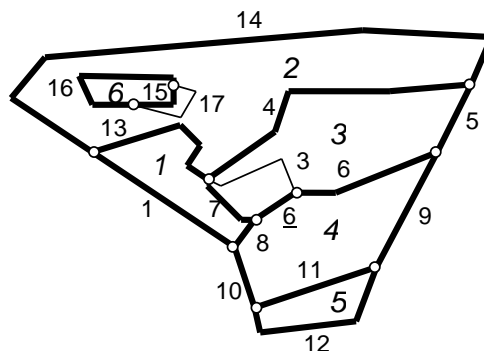


Рисунок 11 – Отримання стану області, що відстежується, у третьому році для псевдо-об'єктної моделі

Таблиця 1 – Характеристики об'єму пам'яті

| $i$<br>(Роки) | $\Delta V^j$ | $V_i^j$ |     |    | $R_i^j$ |     |    |
|---------------|--------------|---------|-----|----|---------|-----|----|
|               |              | SS      | LCG | PO | SS      | LCG | PO |
| 1             | 27           | 27      | 27  | 20 | 0       | 2   | 4  |
| 2             | 49           | 76      | 56  | 58 | 0       | 10  | 21 |
| 3             | 59           | 135     | 66  | 63 | 0       | 12  | 23 |
| 4             | 65           | 200     | 75  | 70 | 0       | 14  | 27 |

З табл. 1 видно, що за чотири роки для представлення геоданих у LCG та PO-моделях вимагається майже у три рази менше пам'яті, ніж у SS-моделі. З іншого боку, SS-модель, не потребуючи обробки даних при внесенні змін, при внесенні нових даних працює значно швидше. Але слід взяти до уваги, що наведені значення характеризують відповідні показники ПЧ-моделей, що розглядаються, лише для деякого первинного періоду представлення набору виділів, що починається з відносно великого зростання їх сукупної

складності. З цієї точки зору являє інтерес оцінка трендів, яка дає уявлення про наближення до деякого стаціонарного стану процесу розвитку системи. В основі оцінки таких трендів можуть бути покладені відносні показники, що визначає динаміку значень  $V_i^j$  та  $R_i^j$ . В табл. 2 наведені значення  $\Delta V^j / \Delta V_i$ , які характеризують покрокові відносні значення приросту об'ємів пам'яті, значення  $\Delta R^j / \Delta V_i$ , що характеризують відносне значення додаткової трудомісткості внесення змін, та значення  $R^j / V_i$ , які характеризують відносне значення додаткової трудомісткості виконання запитів. Інтерпретація цих даних у контексті оцінки трендів повинна враховувати, що у розглянутому випадку більш пізні значення краще передбачають майбутнє, ніж ранні, адже вони ближче до деякого стаціонарного стану. У цьому сенсі порівняльна економія пам'яті для LCG- та PO-моделей стосовно SS-моделі ближче до 0,14 та 0,11 відповідно, ніж до 0,38 та 0,35, як впливало б із даних табл. 1.

Таблиця 2 – Порівняльні характеристики об'єму пам'яті та швидкості обробки запитів

|                                  | Роки |      |      |      |
|----------------------------------|------|------|------|------|
|                                  | 1    | 2    | 3    | 4    |
| $\Delta V^{LCG} / \Delta V^{SS}$ | 1    | 0,59 | 0,17 | 0,14 |
| $\Delta V^{PO} / \Delta V^{SS}$  | 0,74 | 0,78 | 0,08 | 0,11 |
| $\Delta R^{LCG} / \Delta V^{SS}$ | 0,07 | 0,16 | 0,03 | 0,03 |
| $\Delta R^{PO} / \Delta V^{SS}$  | 0,15 | 0,35 | 0,03 | 0,06 |
| $R^{LCG} / V^{LCG}$              | 0,07 | 0,18 | 0,18 | 0,19 |
| $R^{PO} / V^{PO}$                | 0,2  | 0,36 | 0,37 | 0,39 |

У цілому розглянуті дані, з урахуванням відповідних порівняльних якісних оцінок [2, 3, 6], дають підстави для таких оціночних тверджень.

1. Найбільшою простотою реалізації, простотою користування вже накопиченими даними, простотою та швидкістю внесення змін відзначається SS-модель, особливо для розповсюджених ГІС, орієнтованих на шари. Однак із зростанням кількості шарів різко зростає об'єм даних, оскільки у кожному шарі («знімку») зберігаються як змінені, так і незмінні об'єкти. Прості запити відносно деякого стану карти виконуються швидко, але, щоб дізнатися, як змінився деякий об'єкт за визначений проміжок часу, потрібно крок за кроком переглядати послідовні шари, що може бути дуже трудомістким. Та, нарешті, зміни, що відбулися між двома часовими шарами, втрачаються (саме цей недолік у [9] відзначається як найбільш суттєвий для більшості застосувань).

2. LCG- та PO-моделі вимагають значно менше пам'яті, ніж SS-модель. При цьому PO-модель більш ощадлива, ніж LCG. Ця перевага, однак, виявляється тим більше, чим менше змінюється з часом область, що відслідковується. У граничному випадку при майже відсутніх змінах області на деякому такті (у наведених прикладах – році) об'єм даних SS-моделі поповнюється новим «шаром», а поповнення об'ємів даних LCG- та PO-моделей близьке до нуля.

3. Внесення змін та відповіді на запити характеризуються, звичайно, більшою часовою трудомісткістю для LCG- та PO-моделей, ніж для SS-моделі. При цьому LCG- модель працює швидше, ніж PO-модель. Як зазначається у [2, 3], метод найменших спільних геометрій переважає інші методи у випадку, коли необхідно проаналізувати зміни деякої області, що відслідковується за заданий часовий проміжок. Крім того, LCG-модель простіше реалізується, ніж псевдооб'єктна. Однак PO-модель має переваги у швидкості при великій кількості змін та складній, неоднорідній ієрархії об'єктів або її відсутності.

## 5. Висновки

Проведене моделювання дає відповіді тільки на найбільш загальні питання відносно улаштування та властивостей розглянутих моделей і в цьому сенсі у більшій мірі ілюструє практичну методичку такої порівняльної оцінки. Як видно, LCG- та PO-моделі приблизно рівноцінні, тому предметом первинного рішення є вибір моделі SS або LCG/PO. При цьому для конкретних застосувань необхідно уточнити очікувані об'єми даних, частоту внесення змін, характер та частоту запитів.

Стосовно сфери управління лісовим господарством, то у теперішній час у системі ГИС-Ліспроєкт [10], для якої оновлення геоданих виконується з річним інтервалом, прийнята найбільш проста для реалізації SS-модель. Однак у міру ускладнення задач аналізу динаміки лісового фонду, що визначаються тенденцією переходу від опису і експлуатації до управління природними ресурсами, недоліки SS-моделі тягнуть за собою необхідність застосування більш ефективних ПЧ-моделей. Проведений аналіз з урахуванням властивостей лісових геоданих [10] дає певні підстави для вибору саме LCG-моделі як основи розвитку задач управління лісовим фондом.

## СПИСОК ДЖЕРЕЛ

1. Заварзин А.В., Капралов Е.Г., Кошкарев А.В. [и др.]. Основы геоинформатики / ред. В.С. Тикунова. М.: Издательский центр «Академия», 2004. Т. 1. 352 с.
2. Ott T., Swiaczny F. Time-Integrative Geographic Information Systems: Management and Analysis of Spatio-Temporal Data. Berlin; Heidelberg; New York; Barcelona; Hong Kong; London; Milan; Paris; Singapore; Tokyo: Springer, 2001. 234 p.
3. Wachowicz M. Object-Oriented Design for Temporal GIS. Bristol, Pennsylvania: Taylor and Francis Inc., 1999. 136 p.
4. Berman M.L. Modeling and Visualizing Historical GIS Data. URL: [http://www.fas.harvard.edu/~chgis/work/docs/papers/CGA\\_Wkshp2009\\_Lex\\_9apr09.pdf](http://www.fas.harvard.edu/~chgis/work/docs/papers/CGA_Wkshp2009_Lex_9apr09.pdf).
5. Langran G. A Review of Temporal Database Research and It's Use in GIS Applications. *International Journal of GIS*. 1989. Vol. 3, N 3. P. 215–232.
6. Borek A., Panecki T. Cartographic visualization of historical source data on AtlasFontium. *Progress in Cartography*. Cham: Springer, 2016. P. 65–81.
7. Demoor M. A HIS-GIS for 200 Years of Belgian Territorial Structures (1796-2000). URL: [http://www.fas.harvard.edu/~chgis/meetings/papers/demoor\\_shanghai.pdf](http://www.fas.harvard.edu/~chgis/meetings/papers/demoor_shanghai.pdf).
8. Литвинов В.А., Майстренко С.Я., Хурцилава К.В. Типовые ошибки в информационных ресурсах ГИС, правила и особенности их выявления в сфере лесного хозяйства (на примере системы «ГИС-Леспроект»). *Математичні машини і системи*. 2016. № 3. С. 78–90.
9. Longley P.A., Goodchild M.F., Maguire D.J., Rhind D.J. *Geographical Information Systems: Principles, Techniques, Applications and Management*. 2nd Ed. Wiley, 1999. URL: [http://www.geos.ed.ac.uk/~gisteac/gis\\_book\\_abridged/](http://www.geos.ed.ac.uk/~gisteac/gis_book_abridged/).
10. Майстренко С.Я., Литвинов В.А., Хурцилава К.В. Типовые правила корректности топологии в геоданных и их применение к сфере лесного хозяйства на примере системы «ГИС-Леспроект». *Часопис картографії*: зб. наук. праць. 2016. № 14. С. 159–169.

Стаття надійшла до редакції 20.03.2019