

Ученые записки Таврического национального университета имени В.И.Вернадского
Серия «География». Том 24 (63). 2011 г. №3, С. 93-105.

УДК 502.36:352/354

**ГЕОІНФОРМАЦІЙНИЙ АНАЛІЗ І МОДЕЛЮВАННЯ ОБ'ЄКТІВ
ДЕЛІМІТАЦІЇ ТА ДЕМАРКАЦІЇ ДЕРЖАВНОГО КОРДОНУ УКРАЇНИ У
ПРОГРАМНОМУ СЕРЕДОВИЩІ ARCGIS**

Кондратюк О.В.

*Науково-дослідний інститут геодезії та картографії, Україна, Київ
E-mail: helenkondratyuk@gmail.com*

Здійснено множину операцій геоінформаційного аналізу і моделювання об'єктів делімітації та демаркації державного кордону України у програмному середовищі ArcGIS, включаючи оверлейні операції, геокодування, побудову буферних зон, тематичних карт та ін.

Ключові слова: делімітація та демаркація, геоінформаційне забезпечення, об'єкти делімітації та демаркації державного кордону, базові моделі, база геопросторових даних.

Одним з головних атрибутів існування України як держави є чітко визначена територія, яка обмежена державним кордоном. Державний кордон встановлюється в ході його делімітації, демаркації та редемаркації, а також уточнюється при перевірках [1-4].

На сучасному етапі становлення державності України підвищення оперативності, достовірності та ефективності прийняття рішень з питань встановлення державного кордону можливе лише на основі застосування комп'ютерних систем та сучасних геоінформаційних технологій.

Серед основних завдань геоінформаційного аналізу та моделювання об'єктів делімітації та демаркації державного кордону можна виділити такі:

- геоінформаційна підтримка управлінських рішень у процесі встановлення кордону, оперативне надання актуальних геопросторових даних про лінію державного кордону для картографічного виробництва;
- проведення комплексного геопросторового аналізу різномірних і різночасових матеріалів з метою точного і достовірного нанесення лінії державного кордону на топографічні карти при підготовці матеріалів для супровождження переговорного процесу та подальшого її моніторингу.

Встановлено, що основним картографічним матеріалом для виконання робіт з делімітації сухопутних ділянок кордону є топографічні карти масштабів 1:10 000, 1:25 000, 1:50 000 та 1:100 000, а також масштабів 1:200 000, 1: 500 000 для визначення меж морських просторів. Детальну географічну інформацію про місцевість у прикордонній смузі та про її об'єкти отримують із ортофотозображень та додаткових описових матеріалів (тематичних карт, які містять відомості з різних галузей природознавчих наук).

За результатами аналізу картографічних джерел з метою встановлення даних для геоінформаційного забезпечення делімітації та демаркації державного кордону України побудовано діаграму застосовуваних видів картографічних матеріалів. Серед картографічних матеріалів переважають текстові: протоколи-описи проходження лінії кордону, протоколи прикордонних знаків з коротким описом їх місцезнаходження, протоколи-описи стикових знаків, каталоги координат прикордонних знаків, таблиці островів (на водних ділянках) з інформацією про їх належність, списки географічних назв, що зустрічаються в договірних документах й лоції Чорного та Азовського морів. Останню позицію займають морські навігаційні карти (рис. 1).

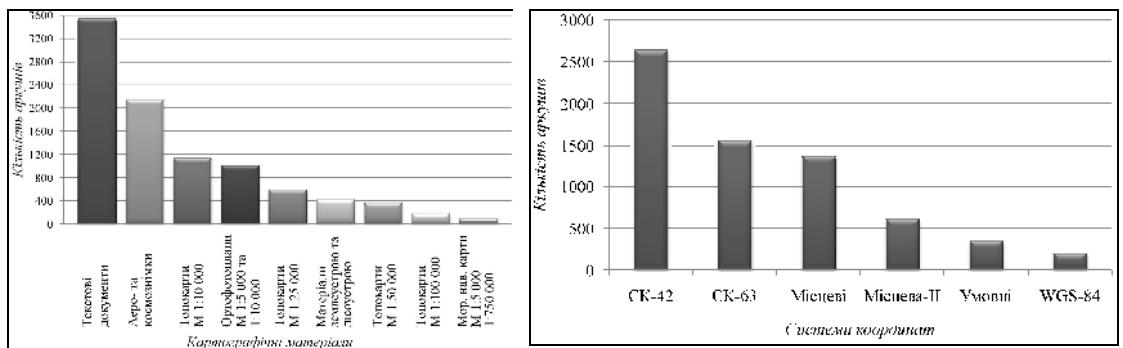


Рис. 1. Картографічні матеріали, що використовуються при встановленні державного кордону України

На інфологічному рівні розроблено схему бази геопросторових даних, встановлено реляційні відношення, в яких визначено ключові атрибути (ідентифікатори), описано їх домени (типи змінних, величини допустимих значень), сформовано кортежі відношень, їх ступінь та потужність. Нормалізовано відношення інфологічної схеми БГД, причому всі відношення приведено до 1-ї, 2-ї та 3-ї нормальній форми за Е. Коддом [5, 6].

До інфологічної схеми бази геопросторових даних включені такі класи об'єктів: векторні моделі даних про геопросторові об'єкти, растрові моделі картографічних матеріалів, зображення поверхонь, моделі псевдопросторових об'єктів: зображення спеціальних об'єктів і текстові документи. Нижче наведено класи векторних моделей даних, які подані вузлами, проміжними точками, полілініями, сегментами та полігонами. Їх характеризують такі реляційні відношення: **Border marker** (#Marker_Id, #Num_dil, #Num_point, #Type, #Data, #Status, #Coordinate, #SysCoord), де #Marker_Id – ідентифікаційний номер точки; #Num_dil – номер ділянки; #Num_point – номер точки; #Type – тип прикордонного знака, #Data – дата встановлення прикордонного знака; #Status – статус знака; #Coordinate – прямокутні координати (X, Y, Z) у метрах; #SysCoord – система координат; **Boundary_polys**

(#Num_cod, #Poly, #Type, #Area), де #Num_cod – код типу ділянки за класифікатором; #Poly – назва держави; #Type – тип ділянки; #Area – площа [7].

Отже, до геопросторових об'єктів делімітації та демаркації відносяться: векторні моделі даних про кордон, растрою моделі картографічних матеріалів, зображення поверхонь, моделі псевдопросторових об'єктів: зображення спеціальних об'єктів і текстові документи (рис. 2, 3).

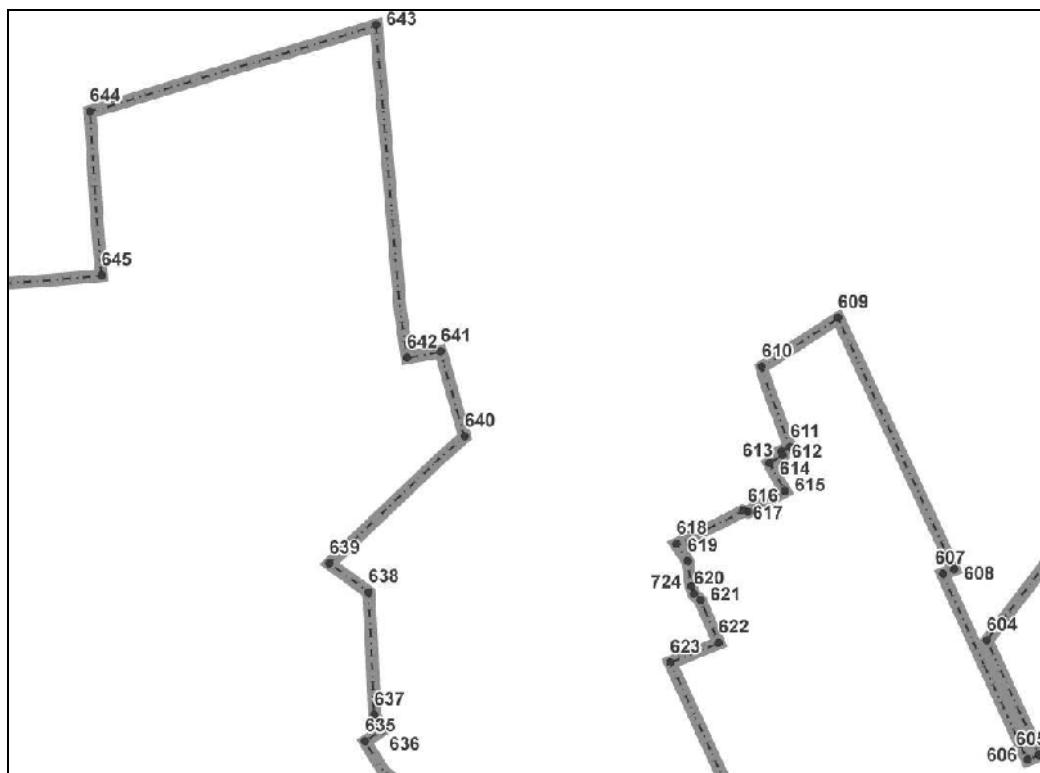


Рис. 2 Фрагмент векторної моделі даних про лінію кордону

Векторні моделі даних зібрані в каталог об'єктів бази геопросторових даних державного кордону України, який забезпечує чітку організацію даних, придатних для застосування в геоінформаційній системі, і містить: моделі ліній кордону, прикордонних знаків, промислових споруд, гідрографії та гідротехнічних споруд, дорожньої мережі й придорожніх споруд [8].

Моделі псевдопросторових об'єктів включають договірно-правові матеріали делімітації та демаркації державного кордону: протоколи-описи проходження лінії кордону, протоколи прикордонних знаків з коротким описом їх місцезнаходження, протоколи-описи стикових знаків, каталоги координат прикордонних знаків, таблиці островів (на водних ділянках) з інформацією про їх належність, списки

географічних назв, що зустрічаються в договірних документах ї лоції Чорного та Азовського морів.

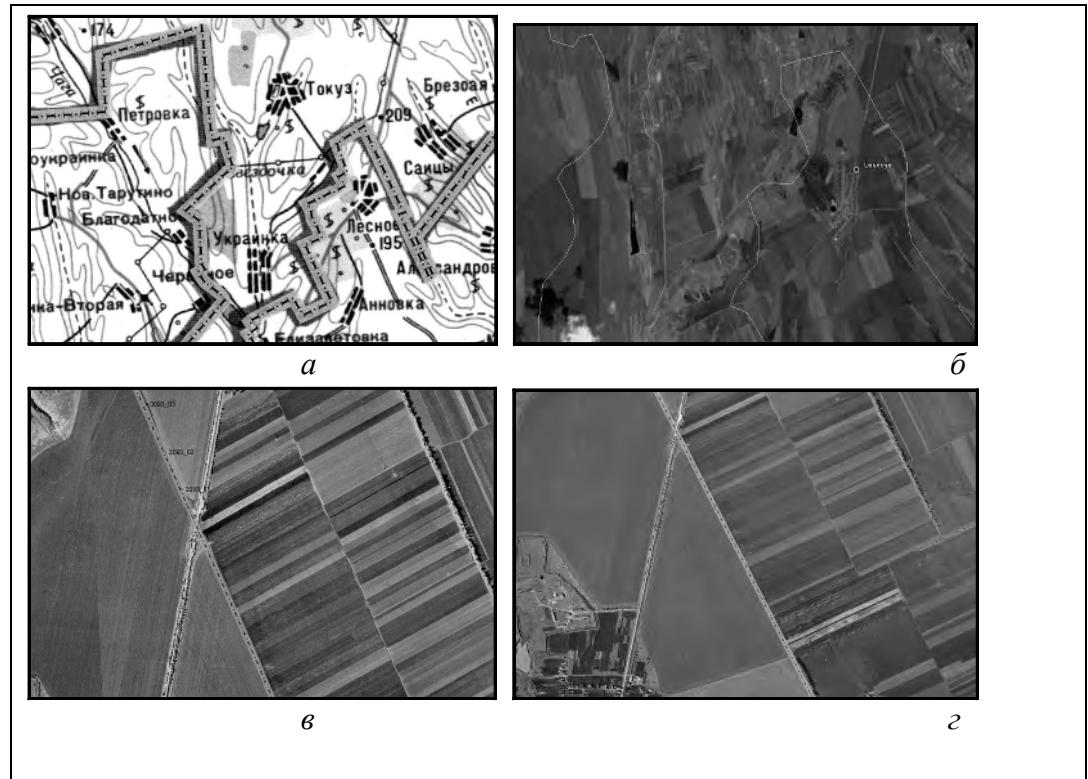


Рис. 3 Фрагмент лінії державного кордону України, яка нанесена на відповідних моделях картографічних матеріалах: *а* – на карті масштабу 1:500 000; *б* – на космічному знімку; *в* – на ортофотоплані; *г* – на аерофотознімку.

У відповідності до міжнародного комплексу стандартів ISO 19100 “Географічна інформація / Геоматика” та стандарту DIGEST упорядковано базову модель геопросторових об'єктів і подано в термінах UML (рис. 4) [9].

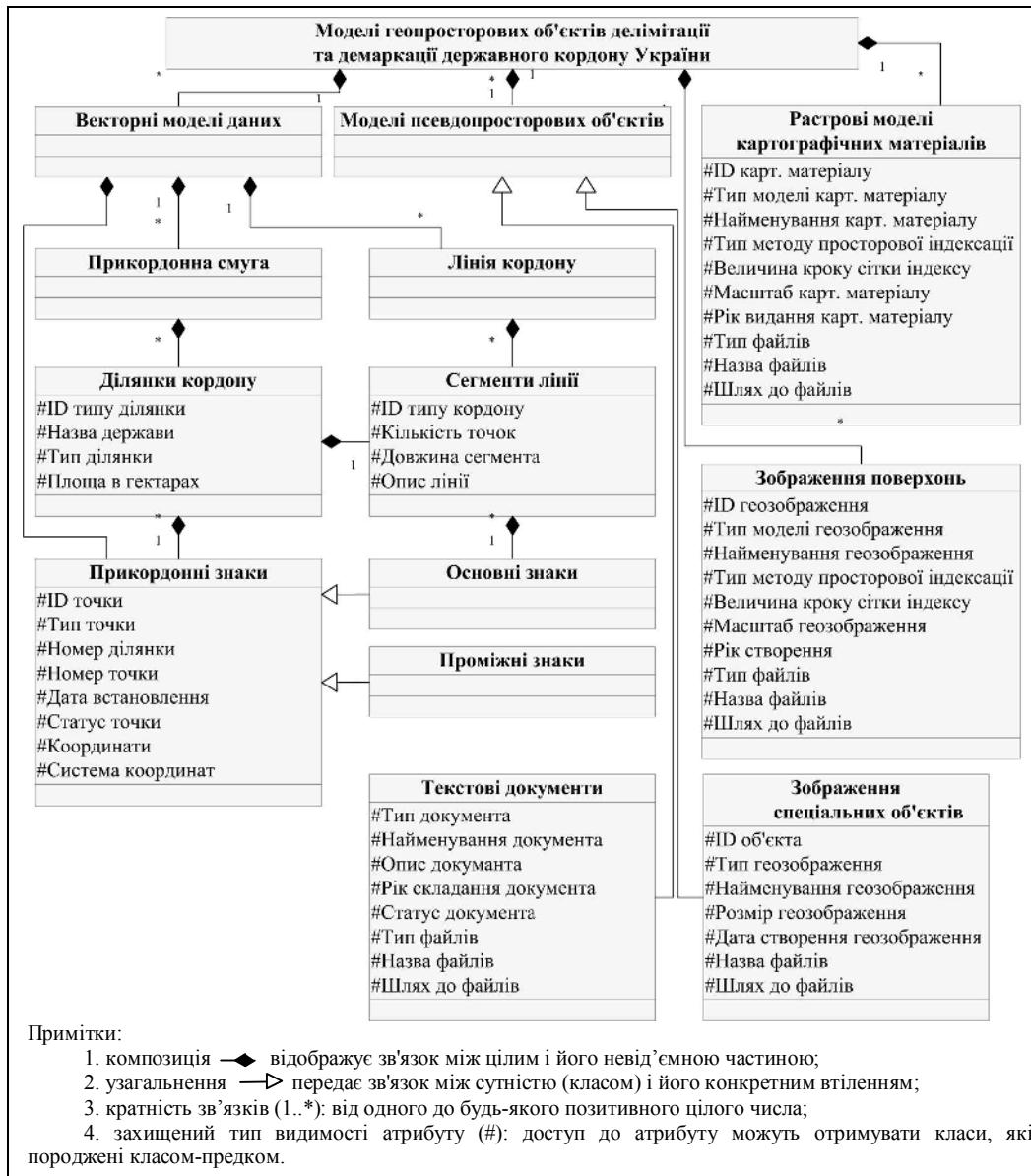


Рис. 4. UML-діаграма базової моделі геопросторових об'єктів про кордон України

Враховуючи різноманітність геодезичних дат: еліпсоїд Красовського та GRS80, різні системи координат: СК-42, СК-63, у місцевих, місцевий-II, WGS-84, в умовних та проекції Гаусса-Крюгера, універсальної поперечної проекції Меркатора, в яких створено картографічні матеріали, що використовуються при делімітації та демаркації кордону, розроблено множину ланцюгів координатних операцій:

перетворення і трансформування координат у відповідності до стандарту ISO 19111 та здійснено просторову прив'язку за географічними ідентифікаторами у відповідності до стандарту ISO 19112 [10, 11].

Завданням підготовки картографічних матеріалів до координатних операцій є побудова ізоморфного простору в програмному середовищі ArcGIS, в якому всі картографічні матеріали зведені до однієї геодезичної дати та однієї картографічної проекції (рис. 5).

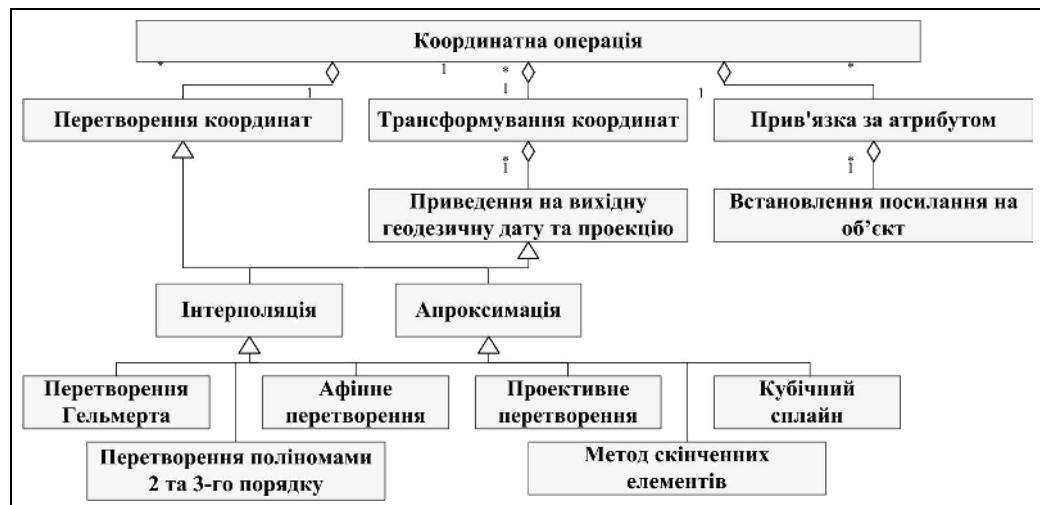


Рис. 5. UML-діаграма координатних операцій з об'єктами БГД на кордон

За математичну основу в Україні наразі прийнято Державну геодезичну референцну систему координат УСК-2000. Координатне інтегрування різновідомих картографічних матеріалів передбачає загалом виконання таких операцій:

- 1) приведення різновідомих картографічних матеріалів до однієї геодезичної дати – еліпсоїда Красовського, який є основою УСК-2000, зокрема, перехід від WGS-84, СК-42 до УСК-2000 на основі застосування прямокутних просторових координат X, Y, Z ;
- 2) приведення картографічних матеріалів, включаючи растроїв моделі до однієї картографічної проекції – Гаусса–Крюгера;
- 3) трансформування координат по опорних точках;
- 4) оцінка точності зведеніх картографічних матеріалів за контрольними точками.

Вхідними для трансформування координат є опорні точки, координати яких відомі в системі координат вихідного картографічного матеріалу (XOY) та в системі координат цільових даних (UOY). Є два підходи до трансформування координат: інтерполяція та апроксимація функцій. У випадку використання глобальної

інтерполяції необхідно відновити функцію, тобто знайти таку інтерполяційну функцію φ трансформування координат, яка б наближала на її області визначення, причому її значення у вузлах інтерполяції точно збігалися з заданими значеннями $\varphi(XY) = UV$.

Апроксимація забезпечує побудову такої аналітичної функції f трансформування координат, яка згладжує особливості табличної функції і також наближає цю функцію на її області визначення, але її величини у вузлах інтерполяції не збігаються із заданими: $f(XY) \neq UV$.

Описано методи трансформування картографічних даних, як векторних, так і растро-вих, таких як конформне трансформування Гельмерта, афінне перетворення поліномом 1-го порядку, перетворення поліномами 2 і 3-го порядків, проективне перетворення, кубічний сплайн, метод скінчених елементів (таблиця) [12, 13].

Таблиця 1
Характеристика методів трансформування координат по опорних точках

Методи трансформування	Формули перетворення	Кількість параметрів трансформування	Домен – множина можливих значень к-сті опорних точок	
			Інтерполяція	Апроксимація
Перетворення Гельмерта	$\begin{pmatrix} u \\ v \end{pmatrix} = m \begin{pmatrix} \cos\theta & \sin\theta \\ \sin\theta & \cos\theta \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} x_0 \\ y_0 \end{pmatrix}$	4	$n=2$	$2 > n > 0$
Афінне перетворення	$\begin{pmatrix} u \\ v \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} m_x \cos\theta_x & m_y \sin\theta_x \\ m_x \sin\theta_x & m_y \cos\theta_x \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} x_0 \\ y_0 \end{pmatrix}$	6	$n=3$	$3 > n > 0$
Проективне перетворення	$u = \frac{a_1x - b_1y + c}{dx - ey + 1} \quad v = \frac{a_2x + b_2y + c_2}{dx + ey + 1}$	8	$n=4$	$4 > n > 0$
Перетворення поліномом 2-го порядку	$u = a_0x^2 + a_1x^1 + a_2xy + a_3x + a_4y - a_5$ $v = b_0x^2 + b_1x^1 + b_2xy + b_3x - b_4y + b_5$	12	$n=6$	$6 > n > 0$
Перетворення поліномом 3-го порядку	$u = a_0x^3 + a_1x^2y + a_2x^3y^1 + a_3x^2 + a_4x^1y^2 + a_5x^2y^2 - a_6x + a_7y - a_8xy + a_9$ $v = b_0x^3 + b_1x^2y^1 + b_2x^3y^2 - b_3x^2 + b_4y^2 + b_5x^2y^2 + b_6x - b_7y + b_8xy + b_9$	20	$n=10$	$10 > n > 0$
Кубічний сплайн	$\varphi_i(x) = \begin{cases} a_{0i} + a_{1i}(x - x_{i-1}) + a_{2i}(x - x_{i-1})^2 - a_{3i}(x - x_{i-1})^3 & \text{при } x \in [x_{i-1}, x_i] \\ 0 & \text{при } x \notin [x_{i-1}, x_i], i = 1, \dots, n; \\ \sum_{i=1}^n \varphi_i(x) & \text{при } x \in [x_0, x_n] \end{cases}$	6	Інтерполяція $\varphi(x_i) = f(x_i) = y_i, i = 0, 1, \dots, n$ Апроксимація $\varphi(x_i) \neq f(x_i) = y_i, i = 0, 1, \dots, n$	
Метод скінчених елементів	Базисна функція – афінне перетворення. Скінчений елемент – трикутник	6	$3 > n > 0$	

У таблиці: u, v – трансформовані координати точки; m , m_x , m_y – масштабні коефіцієнти відносно двох осей, осі абсесис та осі ординат; θ – кут повороту

системи координат u, v відносно x, y ; θ_x, θ_y – кути повороту осей u, v відносно x, y ; x, y – вихідні координати точки; x_0, y_0 – координати початку системи координат x, y в системі координат u, v ; a_i, b_i, c_i, d, e – коефіцієнти.

Вибір методу трансформування інтерполяцією координат або апроксимацією залежить від наявності опорних точок та потрібної точності визначення їх координат. Інтерполяція застосовується в тих випадках, коли відомі теоретичні (точні) значення координат опорних точок картографічних матеріалів (точки географічної або прямокутної сітки). Коли ж теоретичні (точні) значення координат (точки геодезичної основи або характерні точки) невідомі, виконується апроксимація за методом найменших квадратів.

Загальна оцінка точності зведених картографічних матеріалів – СКП одиниці

$$\text{ваги визначається: } \mu = \sqrt{\frac{\Delta^T P \Delta}{2m}}, \quad \text{де вектори } \Delta = (\Delta u, \Delta v)^T,$$

$$\Delta u = (\Delta u_1, \Delta u_2, \dots, \Delta u_m)^T, \quad \Delta v = (\Delta v_1, \Delta v_2, \dots, \Delta v_m)^T;$$

$\Delta u_i = u_i^{np} - u_i^\kappa, \Delta v_i = v_i^{np} - v_i^\kappa$; P – вагова матриця; m – кількість контрольних точок; $i = 1, 2, \dots, m$; u^κ, v^κ – координати контрольних точок; u^{np}, v^{np} – трансформовані координати контрольних точок.

Застосування програмного середовища ArcGIS дало змогу провести геопросторовий аналіз і моделювання кордону (рис. 6): геокодування, динамічну сегментацію, побудову тематичних карт, здійснення оверлейних операцій, побудову буферних зон, еквідістантних ліній, побудову і перевірку топологічних відношень, а також вирішувати питання про винесення ліній державного кордону на місцевість, узгодження розташування делімітаційних точок на матеріалах делімітації і на місцевості, визначення належності об'єктів місцевості, відсутніх на матеріалах делімітації, та визначати їх положення відносно ліній кордону [14, 15].

Геокодування здійснювалося за табличними наборами координат у текстовому вигляді – координати X та Y , за якими встановлювалось положення точкових об'єктів із заданими атрибутами. Застосування оверлейних операцій з об'єктами БГД забезпечило виявлення об'єктів на місцевості, відсутніх на матеріалах делімітації.

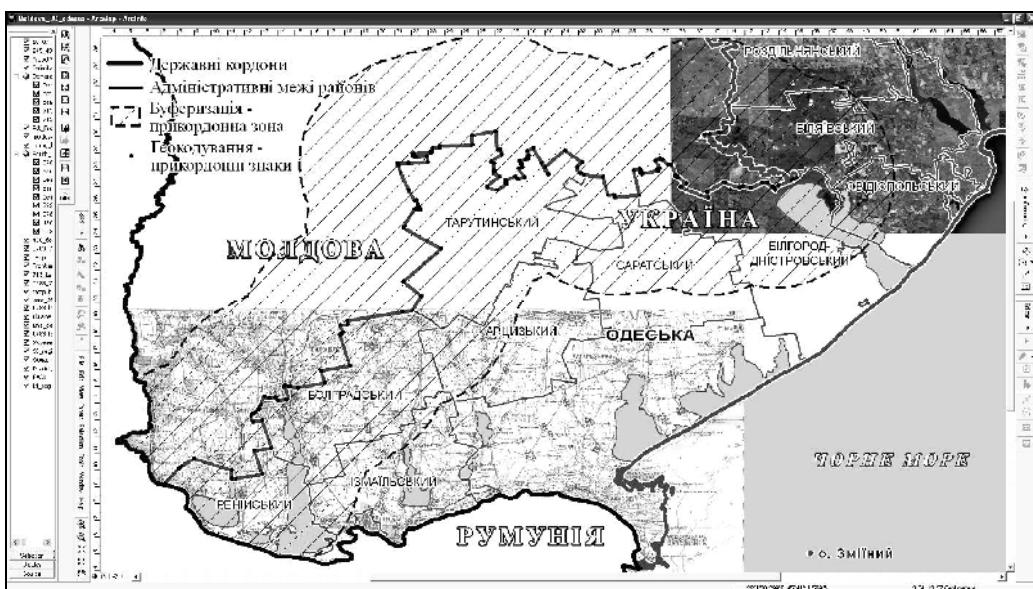


Рис. 6. Геокодування, буферизація та оверлейні операції з геопросторовими даними на південну ділянку державного кордону України з Республікою Молдова

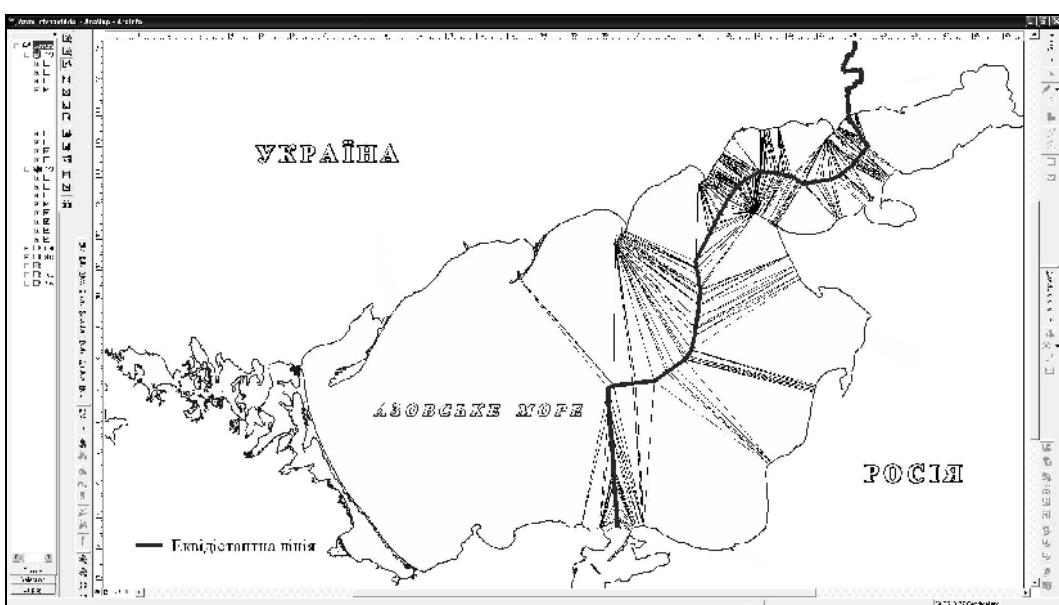


Рис. 7. Побудова еквідістантної лінії в Азовському морі

Виконано побудову еквідістантних (серединних) ліній, яка є одним з основних методів розмежування морських просторів України (рис. 7). Суть цього методу

полягає в тому, що кожна поворотна точка еквідistantної лінії є рівновіддаленою від трьох вихідних точок, з яких дві належать одній державі, а третя – іншій.

Створено множину ланцюгів SQL-запитів до БГД, за якими було одержано інформацію про геопросторові дані для переговорного процесу і проведення робіт з делімітації та демаркації ліній кордону (рис. 8), а також складено тематичні карти (рис. 9).

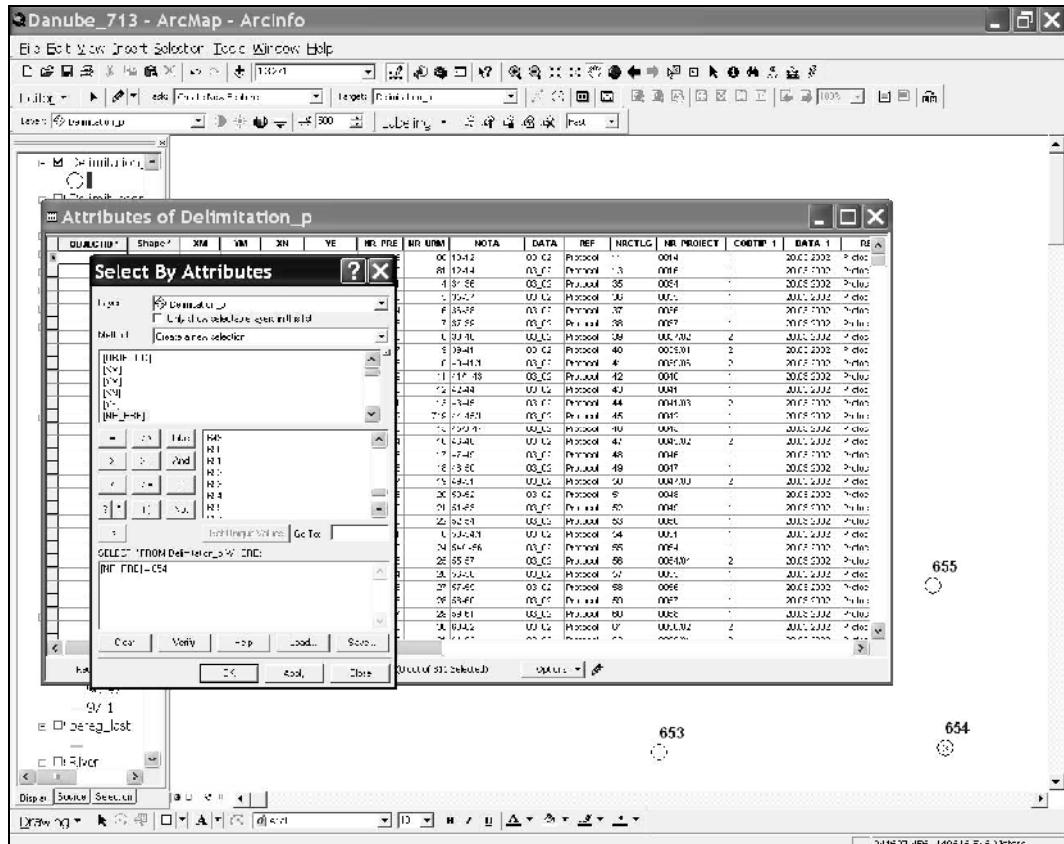


Рис. 8 Приклад SQL-запиту до БГД об'єктів делімітації та демаркації державного кордону України: `SELECT * FROM Delimitation_p WHERE [NR_PRE] = 654`

Даний вираз відбере об'єкти шару “Делімітаційні точки”, що містять в атрибутах поля NR_PRE 654-те значення.

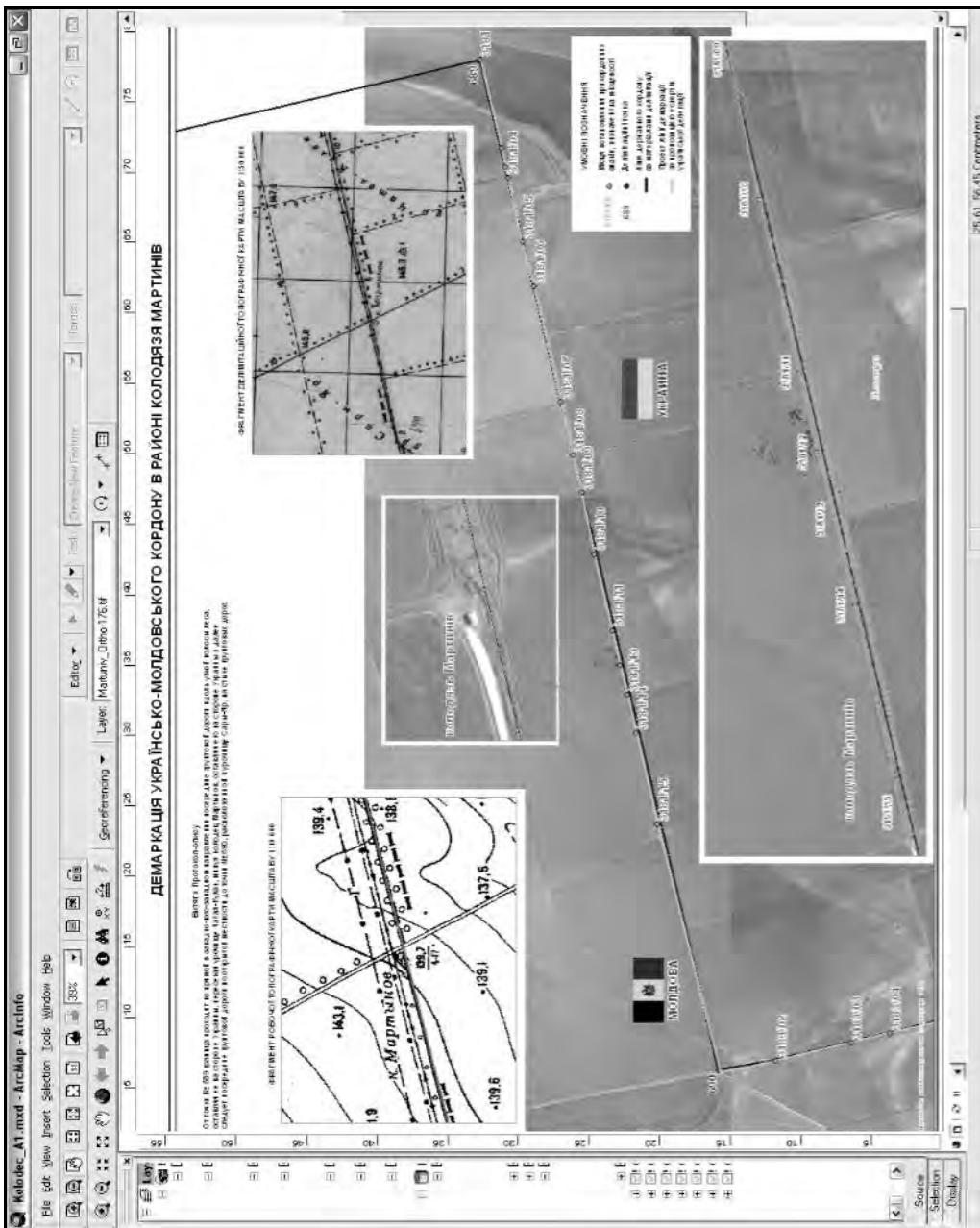


Рис. 9 Тематична карта демаркації ділянки українсько-молдовського державного кордону

ВИСНОВКИ

1. Інфологічна схема бази геопросторових даних та моделі геопросторових об'єктів делімітації та демаркації державного кордону України, які забезпечують інтегрування, уніфікацію та спільне використання різномірних видів і форм геопросторових даних, картографічних та описових матеріалів і зображень поверхонь, створені у відповідності до міжнародного комплексу стандартів ISO 19100 “Географічна інформація / Геоматика”, стандарту DIGEST і теорії баз та банків даних на основі геоінформаційного аналізу та моделювання.
2. Удосконалено геоінформаційні методи координатного інтегрування різномірних картографічних матеріалів на основі інтерполяції та апроксимації функцій перетворення і трансформування координат у відповідності до стандарту ISO 19111 “Географічна інформація / Просторова координатна прив'язка”, а також на основі просторової прив'язки за географічними ідентифікаторами у відповідності до стандарту ISO 19112 “Географічна інформація / Просторова прив'язка за географічними ідентифікаторами”.
3. Розроблено множину ланцюгів SQL-запитів до бази геопросторових даних та операцій геоінформаційного аналізу і моделювання об'єктів делімітації та демаркації державного кордону України у програмному середовищі ArcGIS, включаючи оверлейні операції, геокодування, динамічну сегментацію, побудову буферних зон, побудову еквідістантних ліній, агрегацію, генералізацію, геовізуалізацію та побудову тематичних карт.
4. Застосування програмного середовища ArcGIS дозволило здійснити геоінформаційне забезпечення делімітації та демаркації державного кордону України з Республікою Молдова та Російською Федерацією на основі створеної бази геопросторових даних про об'єкти делімітації та демаркації.

Список літератури

6. Вотрин Д. С. Делимитация и демаркация границ / Д. С. Вотрин // Геодезия и картография. – 1992. – № 7. – С. 1-2.
7. Rushworth W. D. Mapping in Support of Frontier Arbitration: Introduction / W. D. Rushworth // Boundary and Security Bulletin. Durham: International Boundaries Research Unit. Volume 5 Number 3. – 1996 (Summer). – P. 60-61.
8. Rushworth W. D. Mapping in Support of Frontier Arbitration: Delimitation and Demarcation / W. D. Rushworth //Boundary and Security Bulletin. Durham: International Boundaries Research Unit. Volume 5 Number 3. – 1997 (Spring). – P. 61-64.
9. Триохан М. О. Делімітація та демаркація державного кордону України з погляду картографа: зб. наук. праць. в 3-х т. / М. О. Триохан // Україна та глобальні процеси: географічний вимір. – Київ-Луцьк: Ред. вид. відд. “Вежа” Волин. держ. ун-ту ім. Лесі Українки, 2000– Т. 2. – 2000. – 407 с.
10. Дейт К. Введение в системы баз данных / К. Дейт. – М.: Наука, 1980. – 188 с.
11. Бойко В. В. Проектирование баз данных информационных систем / В. В. Бойко, В. М. Савинков. – [2-е изд., перераб. и доп.]. – М.: Финансы и статистика, 1989. – 351с.
12. Nancy von Meyer. Gis and land records: the ArcGIS parcel data model / Nancy von Meyer. – California: ESRI Press, 2004. – 169 p.
13. Geographic information – Methodology for feature cataloguing (ISO 19110:2005(E)). – [First edition 2005-02-15]. – Switzerland: ISO, 2005. – 62 p. – (International Standard).
14. The Digital Geographic Information Exchange Standard (DIGEST) Part 1 General Description /

- Produced and issued by the Digital Geographic Information Working Group (DGIWG), Edition 2.1, September 2000 / (Стандарт обміну цифровою географічною інформацією (DIGEST). Частина 1. Загальний опис. Редакція 2.1).
15. Geographic information – Spatial referencing by coordinates (ISO 19111:2007(E)). – [Second edition 2007-07-01]. – Switzerland: ISO, 2007. – 86 p. (International Standard).
 16. Geographic information – Spatial referencing by geographic identifiers (ISO 19112:2003(E)). – [First edition 2003-10-15]. – Switzerland: ISO, 2003. – 26 p. (International Standard).
 17. Карпінський Ю. О. Афінне трансформування координат методом скінченних елементів / Ю. О. Карпінський // Вісн. геодез. та картогр. – 2002. – № 4. – С. 23-27.
 18. Журкин И. Г. Методы вычислений в геодезии: учебное пособие / И. Г. Журкин, Ю. М. Нейман. – М.: Недра, 1988. – 304 с.
 19. Michael Minami. ArcMap Руководство пользователя / Michael Minami; [пер. з англ. DATA+]. – К.: ЗАО ECOMM Co., 2003. – 508 с.
 20. OpenGIS. Simple Features Specification for SQL. Revision 1.0, Open GIS Consortium, Inc. March, 1998 (Відкриті ГІС. Специфікація простих об'єктів для SQL. Версія 1.0, Open GIS Consortium, Inc. March, 1998).

Кондратюк Е. В. Геоинформационный анализ и моделирование объектов делимитации и демаркации государственной границы Украины в программной среде ArcGIS / Кондратюк Е. В. // Ученые записки Таврического национального университета имени В.И. Вернадского. Серия: География. – 2011. – Т. 24 (63). – № 3 – С. 93-105.

Осуществлено множествоное число операций геоинформационного анализа и моделирования объектов делимитации и демаркации государственной границы Украины в программной среде ArcGIS, включая оверлейные операции, геокодирование, построение буферных зон, тематических карт и др.

Ключевые слова: делимитация и демаркация, геоинформационное обеспечение, объекты делимитации и демаркации государственной границы, базовые модели, база геопространственных данных.

Kondratyuk E. Geoinformational analysis and modelling of delimitation and demarcation objects of frontier of Ukraine in software environment ArcGIS / Kondratyuk E. // Scientific Notes of Taurida National V. I. Vernadsky University. – Series: Geography. – 2011. – Vol. 24 (63). – № 3 – P. 93-105.

Plurality of operations of geoinformational analysis and modelling delimitation and demarcation objects of frontier of Ukraine in software environment ArcGIS, including overlay operations, geocoding, construction of buffer zones, subject maps are realised.

Keywords: delimitation and demarcation, geoinformation support, objects of delimitation and demarcation of state border, basic models, geospatial database.

Поступила в редакцию 03.05.2011 г.