

УДК 504.054, 528.067.6

**Методика покращення географічної прив'язки радіолокаційних даних
дистанційного зондування Землі на територію економічної зони України в
Чорноморському басейні**

В.Ю. Вишняков

*(Інститут телекомунікацій і глобального
інформаційного простору НАНУ);*

О.С. Можаровський

(ЦПОСІ та КНП, м. Дунаївці)

У статті розглянуто проблемні питання географічної прив'язки об'єктів у Чорноморському басейні. Проаналізовано та запропоновано оптимальні методи їх вирішення. За результатами роботи авторами створено базу даних опорних пунктів прив'язки. Проаналізовано результати використання методики.

В статье рассмотрены проблемные вопросы географической привязки объектов в Черноморском бассейне. Проанализированы и предложены оптимальные методы их решения. По результатам работы авторами создано базу данных опорных пунктов привязки. Проанализировано результаты использования разработанной методики.

The article deals with issues of geographic objects Bindings in the Black Sea basin. Analyzed and suggested best practices to address them. In results of this work authors created a database of reference points Bindings. Was analyzed the results of using methods.

Вступ

Одним з найбільш схильних до виникнення екологічних та техногенних катастроф є Азово-Чорноморський басейн, якому належить 1/3 континентальної Європи, закрита екосистема з унікальністю і різноманіттям біоресурсів. В останні десятиліття він входить у число одних із самих екологічно неблагополучних регіонів світу, головним чином, через скидання промислових вод і нафторозливів внаслідок високого обсягу перевезень нафтових вантажів.

Дані дистанційного зондування Землі відкрили нові можливості для оперативного моніторингу морських акваторій.

На сьогоднішній день існує дуже велика кількість систем та програм, які зай-

маються моніторингом водної поверхні, що ще раз підкреслює важливість цього питання.

Космічна радіолокація є найбільш ефективним засобом моніторингу нафтових забруднень на водній поверхні завдяки всепогодності і незалежності від сонячного освітлення. Відомо, що розлита на поверхні моря нафта утворює нафтову плівку, яка, пригнічуючи дрібномасштабне вітрове хвилювання, формує області випрасовування (сліки).

Знімки, отримані за допомогою радіолокаторів, встановлених на штучних супутниках Землі (ШСЗ), покривають області площею до 500 кв. км. і дозволяють визначати місце розливів та угруповань кораблів у морських акваторіях і припортових зонах (Рис.1).

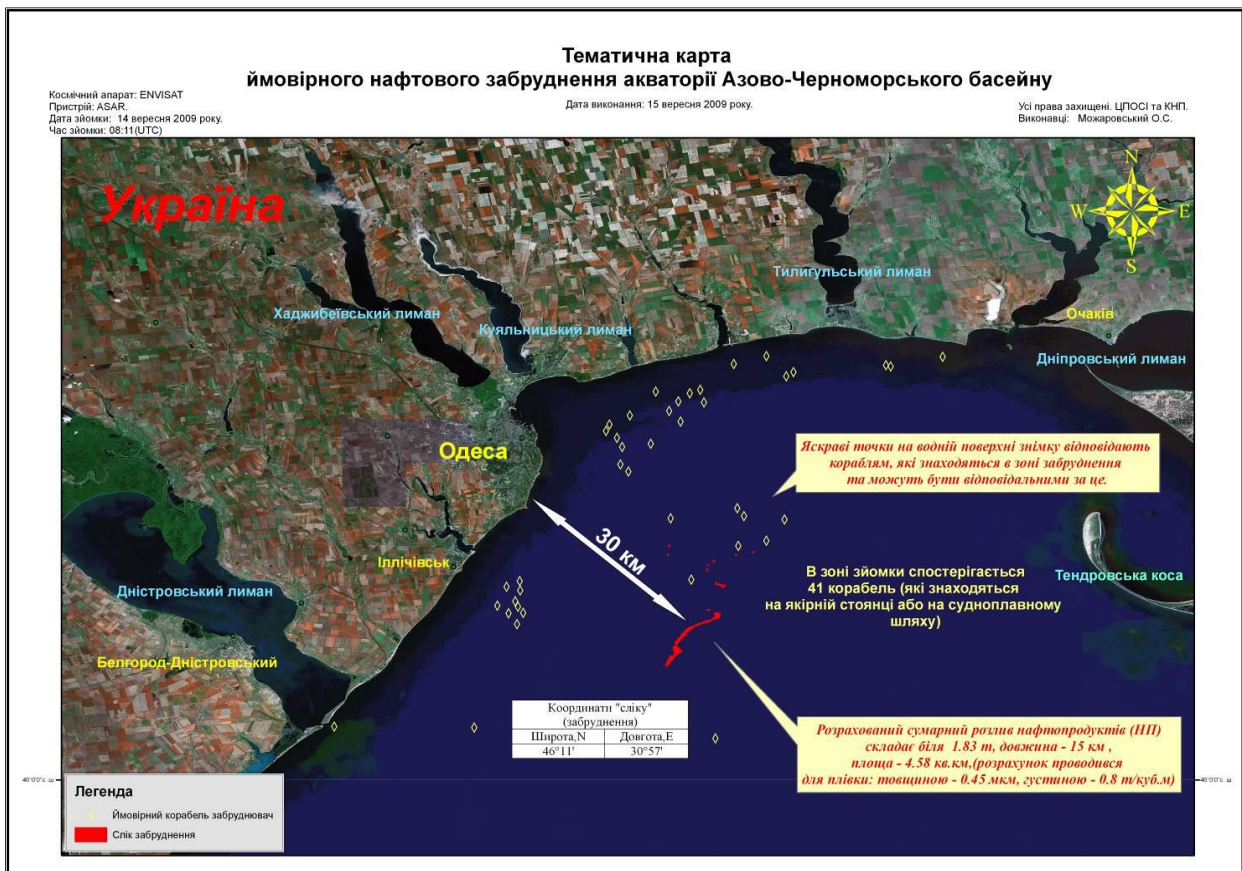


Рис. 1. Нафтове забруднення поблизу м. Одеси та угруповання кораблів (41 судно), за даними радіолокаційної зйомки за 14 вересня 2009 року

22 березня 2011 року за даними радару бокового огляду із синтезованою апертурою ASAR (просторове розрізнення ~ 25,150 м, довжина хвилі $\lambda=5,6$ см, поляризація HH, VV, VH) ШСЗ ENVISAT було визначено два ймовірних нафтових забруднення та їх потенційні джерела (Рис. 2).



Рис.2. Оперативна тематична карта ймовірних нафтових забруднень Азово-Чорноморського басейну станом на 22 березня 2011 року

Відомо, що основним завданням моніторингу є максимально точно визначення позиціонування об'єктів. У нашому випадку - джерел техногенного забруднення водної акваторії (судів, платформ). З метою вирішення цього завдання авторами проведено оцінку точності географічної прив'язки басейну та визначення оптимального методу її покращення.

Для оцінки точності визначення позиціонування об'єктів на космічному знімку проводилася ректифікація даних, а саме - перетворення піксельної системи координат зображення в географічну або картографічну проекцію. З цією метою використовувалися методи триангуляції, лінійної та нелінійної інтерполяції.

Ректифікація проводилася у три етапи:

- прив'язка за орбітальними даними;
- прив'язка за картографічними даними (берегова смуга);
- прив'язка по опорних точках.

З метою первинного оброблення зображення географічна прив'язка проводилася за орбітальними даними, що забезпечило прив'язку з точністю від 1 до 15 км.

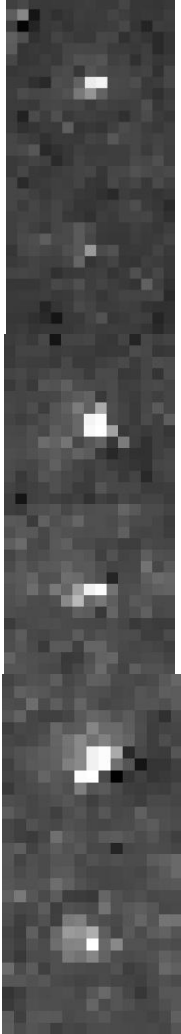
На наступному етапі проводилася геометрична корекція зображення методом поліноміальної апроксимації по береговій смугі, внаслідок якої точність прив'язки по суші визначалася розподільчою здатністю вимірювальної апаратури.

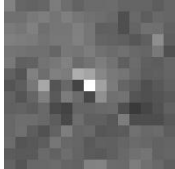
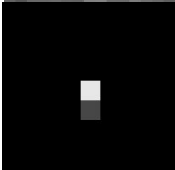

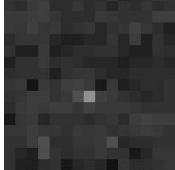


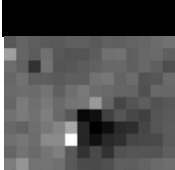
З метою оцінки точності прив'язки акваторії було використано наявні в ній стаціонарні водні об'єкти, які в подальшому запропоновано використовувати як базу даних опорних крапок (БД ОК). Похибка їх визначення становила від 300 м до 2 км.

Прив'язка по опорних точках акваторії вимагала остаточного їх визначення. Розміщення та щільність контрольних точок відіграють важливу роль у точності ректифікації. За вимогами в якості контрольних точок можуть використовуватися об'єкти з відомими координатами з точністю від 0,1 до 0,5 розміру пікселя зображення та впевнено розпізнаватися на знімкові.

Аналіз водної поверхні Чорноморського басейну дозволив виявити об'єкти, які можливо використовувати в якості опорних точок. Перелік цих об'єктів представлено в Таблиці 1. Виходячи з цього, зоною досліджень було обрано північно-західну частину Чорноморського басейну.

Таблиця 1

№	Назва об'єкту	Пн.ш.	Сх.д.	Растр
1	бурова платформа №18, радіус зони обмеження навколо платформи 2,7 кабельтових	45,67	31,66	
2	бурова платформа "Голіцина-11", радіус зони обмеження навколо платформи 2,7 кабельтових	45,6733	31,6883	
3	бурова платформа №2, радіус зони обмеження навколо платформи 2,7 кабельтових	45,6866	31,7183	
4	бурова платформа №10, радіус зони обмеження навколо платформи 2,7 кабельтових	45,7033	31,86	
5	Платформа демонтованої бурової вежі №4, радіус зони обмеження навколо платформи 3 кабельтових	45,7083	31,8766	
6	бурова платформа №5, радіус зони обмеження навколо платформи 2,7 кабельтових	45,7116	31,9083	

7	бурова платформа №6, радіус зони обмеження навколо платформи 2,7 кабельтових	45,6408	32,2066	
8	бурова платформа "Каркінітська-19", радіус зони обмеження навколо платформи 2,7 кабельтових	45,7566	32,7033	
9	бурова платформа №17 "Штормова", радіус зони обмеження навколо платформи 2,7 кабельтових	45,2583	31,675	
10	бурова платформа №23, радіус зони обмеження навколо платформи 2,7 кабельтових	45,25	31,715	
11	бурова платформа №7 "Архангельська", радіус зони обмеження навколо платформи 2,7 кабельтових	45,345	31,865	
12	бурова платформа радіус зони обмеження навколо платформи 2,7 кабельтових	45,3516	32,4933	
13	острів Зміїний	45.2545	30.2019	

Опорні точки використовуються для розрахунку коефіцієнтів поліноміальних рівнянь для перетворення вихідних файлових координат у координати певної картографічної проекції за методом найменших квадратів.

Перетворення першого порядку називається лінійною трансформацією. Вона використовується для перетворення зображення в будь-яку картографічну проекцію, конвертації різних картографічних проекцій між собою, вибірки заданої прямокутної області інтересу в нове зображення. Трансформаційна матриця першого порядку складається з 6 коефіцієнтів (для кожної пари по три) (1):

$$\begin{pmatrix} a_1 & a_2 & a_3 \\ b_1 & b_2 & b_3 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} x \\ y \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x' \\ y' \\ 1 \end{pmatrix} \quad (1)$$

Рівняння лінійної трансформації першого порядку має вигляд (2):

$$\begin{aligned} X_0 &= a_1 + a_2 X_I + a_2 Y_I \\ Y_0 &= b_1 + b_2 X_I + b_2 Y_I, \end{aligned} \quad (2)$$

де X_I, Y_I - вихідні координати;

X_0, Y_0 - вихідні (прив'язані) координати.

Перетворення другого порядку і вище називають нелінійною трансформацією. Такі перетворення дозволяють коригувати нелінійні перекручення. Матриця перетворення порядку i містить наступну кількість коефіцієнтів:

$$n = \sum i \quad (3)$$

Рівняння трансформації наступне:

$$X_0 = A + Bx + Cy + Dx^2 + Exy + Fy^2 + \dots + Qx^i y^i + \dots + \Omega y^T, \quad (4)$$

Мінімальна кількість точок, які необхідні для трансформації порядку T дорівнює:

$$N = (T+1)(T+2)/2 \quad (5)$$

У нашому випадку кількість обраних опорних точок дозволяє використовувати трансформацію 3 – го порядку.

Точність визначення позиціювання об'єктів на знімку також залежить від обраного методу трансформування пікселів зображення. Для ресемплінгу аналізувалися наступні методи:

- метод найближчого сусіда – коли новому пікселю привласнюється значення найбільш близького пікселя старого зображення (рис.3);

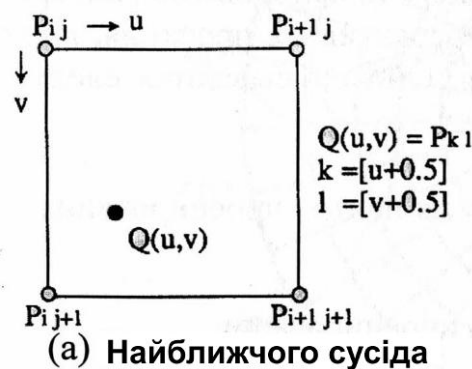


Рис. 3.

- метод білінійної інтерполяції – інтерполяція проводиться між 4 сусідніми пікселями старого зображення (рис.4);

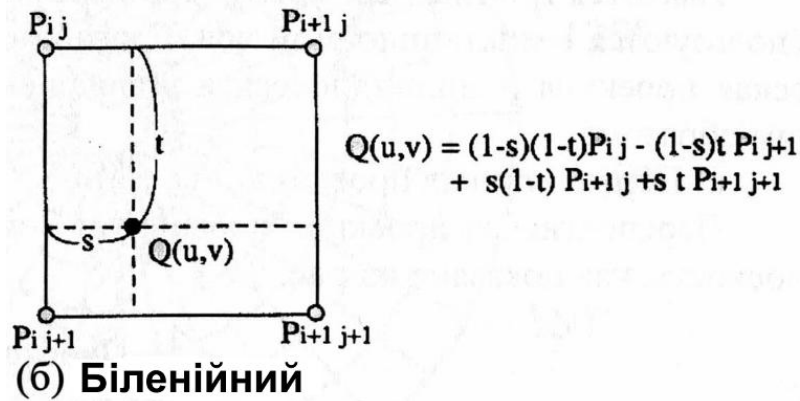


Рис. 4.

- метод кубічної конволюції – усереднення проводиться у вікні 4x4 з урахуванням 16 навколишніх точок і для апроксимації використовуються нелінійні (кубічні функції) з експонентним зменшенням ваги пікселя в міру його віддалення від пікселя нового зображення (рис.5).



Рис. 5.

Для оцінки точності визначення позиціонування об'єктів на космічному знімку застосовувалася геоінформаційна система ArcGIS, де проводилося накладання створеної векторної бази даних на географічно прив'язане растрове радіолокаційне зображення (Рис.6).



Тематична карта
ймовірного нафтового забруднення акваторії Азово-Чорноморського басейну

Космічний апарат: Пристрій: ASAR.
 Дата зйомки: 22 березня 2011 року.
 Час зйомки: 19:39 - 19:48(UTC)

Дата виконання: 28 березня 2011 року.



Усі права захищені. ЦПОСІ та КНП.
 Виконавці: Виталик В.Ю.,
 Мокварський О.С.

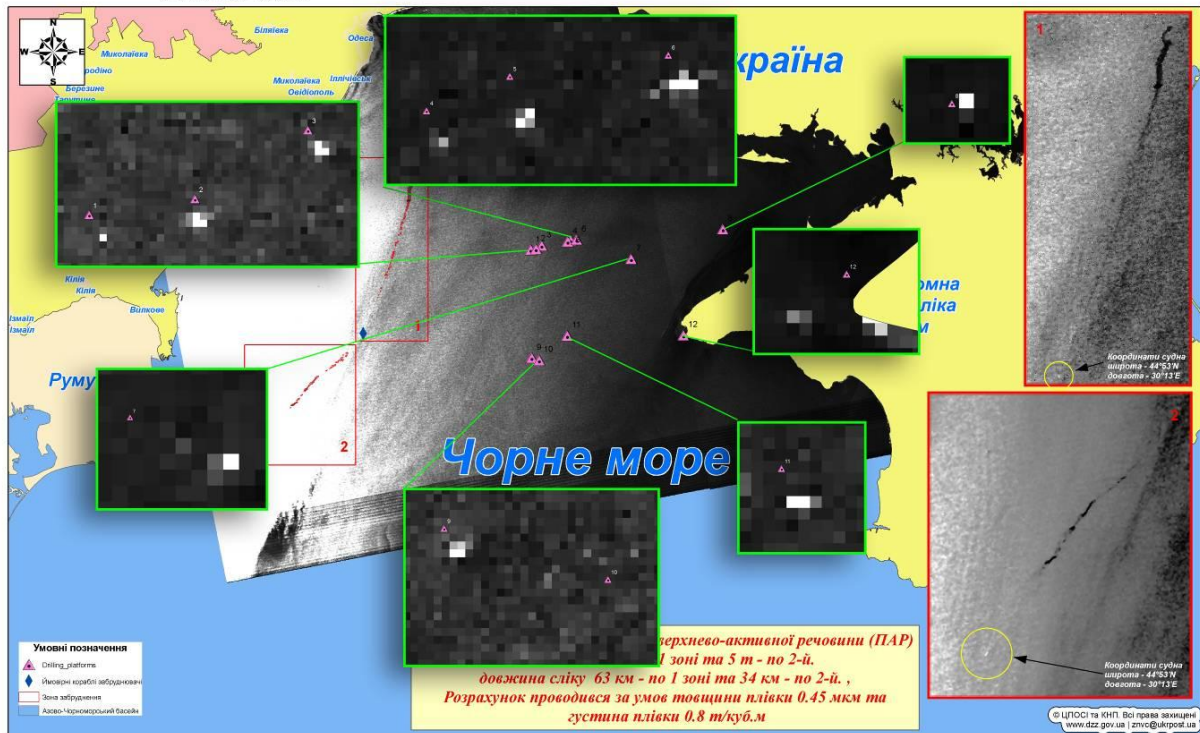


Рис. 6. Оцінка точності визначення позиціонування об'єктів

Для аналізу точності визначення географічних координат використовувався наступний алгоритм:

1. Визначення похибки координатного прив'язування окремо по широті та довготі за формулою:

$$\delta = v_z - v_k, \quad (6)$$

де v_z - широта або довгота контрольної точки знімка;

v_k - широта або довгота відповідної контрольної точки цифрової карти (Рис. 7).

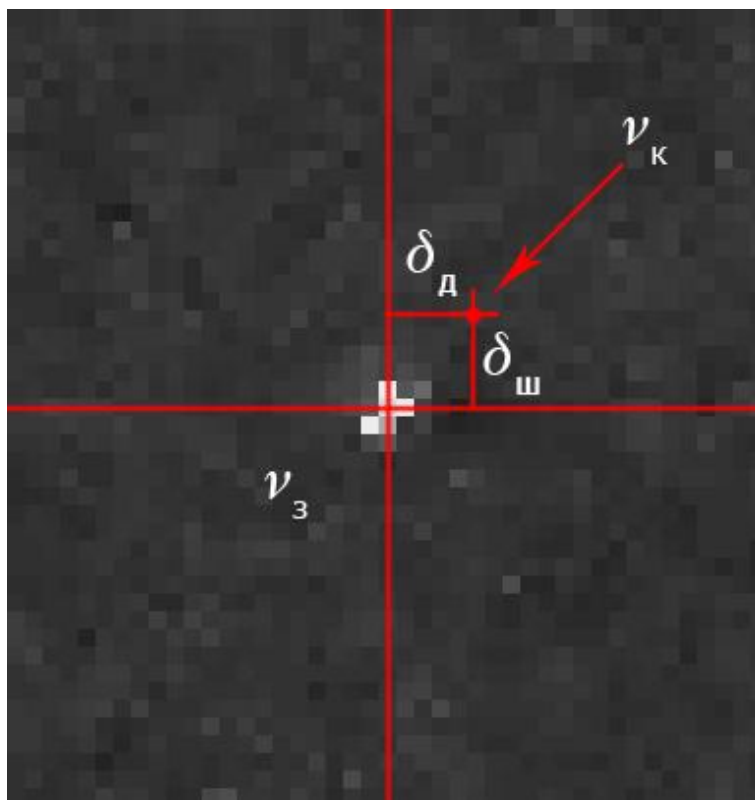


Рис.7.

2. Розрахунок середнього значення похибки

$$\bar{\delta} = \frac{\sum_{i=1}^n \delta_i}{n}, \quad (7)$$

де – n кількість контрольних точок.

3. Розрахунок незміщеної оцінки похибки, що становить:

$$\bar{D} = \frac{\sum_{i=1}^n (\delta_i - \bar{\delta})^2}{n-1}. \quad (8)$$

4. Розрахунок середньоквадратичного відхилення дисперсії. При збільшенні n закон розподілу суми похибок наближається до нормального. Таким чином, середньоквадратичне відхилення дисперсії дорівнює:

$$\sigma_{\bar{D}} = \bar{D} \sqrt{\frac{2}{n-1}}. \quad (9)$$

5. Розрахунок верхньої межі довірчого інтервалу:

$$I = \bar{D} + t_{\beta} \sigma_{\bar{D}}, \quad (10)$$

де коефіцієнт t_{β} визначає для нормального закону розподілу число середніх квадратичних відхилень, які треба відкласти вправо від центру розсіяння для того, щоб вірогідність влучення випадкової величини в отриманому інтервалі дорівнювала β .

При визначенні похибки координатного прив'язування приймалося, що $\beta = 0,95$.

Розрахунки проводилися по шістьох різночасових космічних знімках. Результати наведено в таблиці 2 та на графіках (рис.8).

Таблиця 2

Метод	Найближ. сусіда		Білінійна		Конволюція		
	№ОК	Похибка по широті	Похибка по довготі	Похибка по широті	Похибка по довготі	Похибка по широті	Похибка по довготі
1		105	35	-70	0	-35	0
2		-70	0	-210	0	-175	0
3		70	0	-35	-35	-35	-35
4		-140	35	-140	35	-140	35
5		-140	210	-105	175	-105	175
6		-105	0	-35	0	-35	0
7		140	0	350	0	350	0
8		-1295	-140	-140	0	-105	0
9		105	-35	175	0	175	0
10		0	0	0	0	0	0
11		0	0	-175	0	-175	0
Середнє значення похибки		-133	10.5	-38.5	17.5	-28	17.5
Незміщена оцінка похибка		179497.9	7296.917	25818.92	3300.694	24276.78	3300.694
Середньоквадратичне відхилення дисперсії		19944.21	810.7685	2868.769	366.7438	2697.42	366.7438

У результаті досліджень найкращим методом трансформації визначено метод конволюції.

В якості контрольних точок було використано джерела забруднення – судно 1 та судно 2 (рис.2). Похибка між прив'язкою за балістичними даними та базою даних опорних крапок на контрольних об'єктах становить по широті 600-2000 м, по довготі 450 –1200 м відповідно.

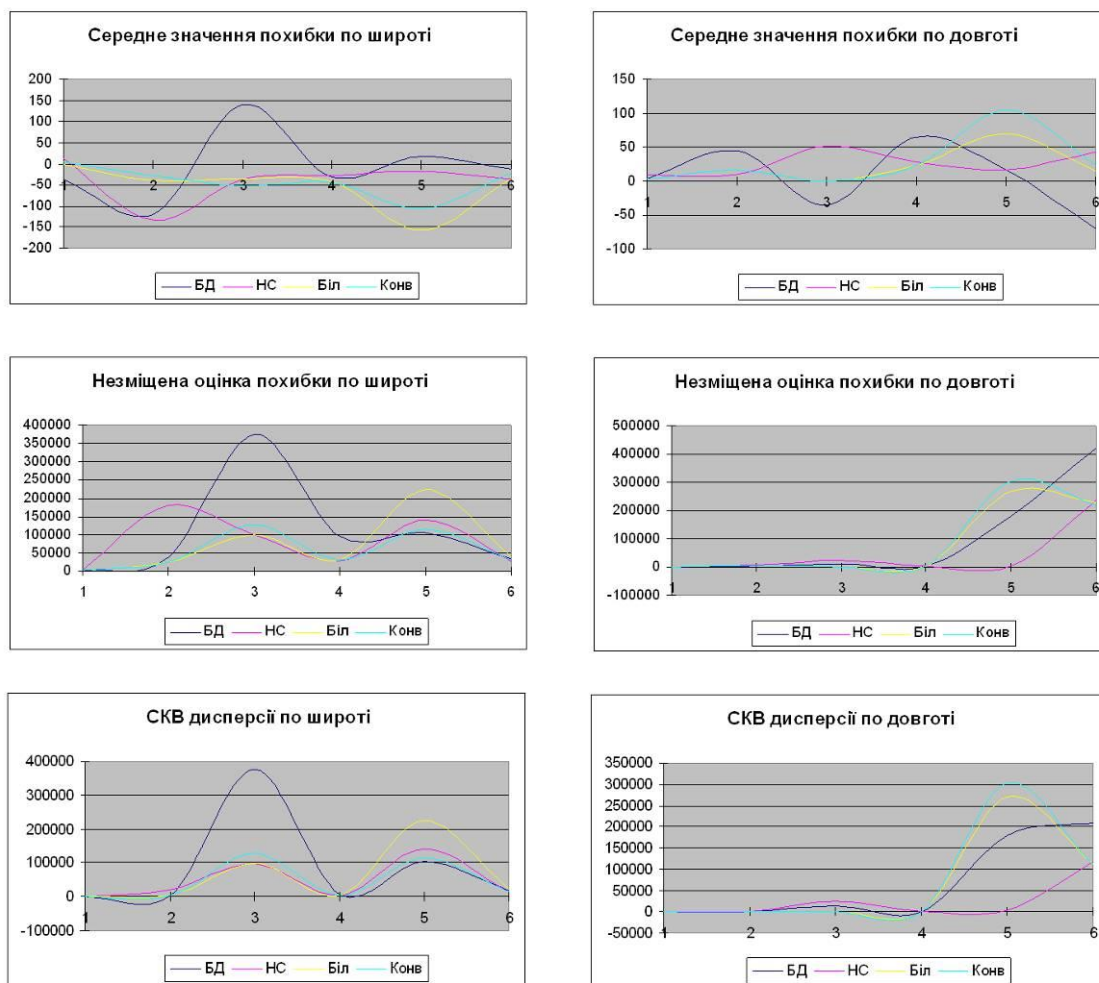


Рис.8. Результати розрахунків по шістьох різночасових космічних знімках

Висновок

Дослідження показало доцільність використання БД ОК для уточнення географічної прив'язки радіолокаційних даних. Уточнення прив'язки з використанням радіолокаційних даних дозволяє покращити точність розрізнення знімку.

* * *

1. Общесистемное обеспечение отраслевой системы мониторинга Госкомрыболовства / А.А. Нестеренко, А.А. Романов, М.В. Андреев и др. // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса: Физические основы, методы и технологии мониторинга окружающей среды, потенциально опасных объектов и явлений. Сборник научных статей Москва Полиграф сервис, 2004 – С. 204-212.

2. Лаврова О.Ю. Возможности спутниковой радиолокации для решения задачи обнаружения судов / О.Ю.Лаврова, М.И. Митягина, С.В. Щербак // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса: Физические основы,

методы и технологии мониторинга окружающей среды, потенциально опасных объектов и явлений. Азбука. 2006 сборник научных статей.

3. Аковецкий В.И. Дешифрирование снимков / В.И. Аковецкий. - М.: «Недра», 1983.
4. Нефтяные загрязнения восточной части Черного моря: космический мониторинг и подспутниковая верификация / К.Ц. Литовченко, О.Ю. Лаврова, М.И. Митягина и др. // Исследование Земли из космоса. 2007. №1. - С.81-94.
5. Espedal, H. Detection of oil spill and natural film in the marine environment by spaceborne SAR / H. Espedal // Proc. IGARSS'99. 1999. V.3. - P.1478– 1480.
6. Иванов А.Ю. Картографирование пленочных загрязнений морской поверхности по данным космической радиолокации / А.Ю. Иванов, И.С. Ермошкин // Технологии ТЭК. 2004. № 3. - С. 64–69.
7. Использование космической радиолокации широкого обзора для картографирования нефтяных загрязнений моря / А.Ю. Иванов, И.С. Ермошкин, М. Фанг и др. // Исслед. Земли из космоса. 2005. № 4. - С. 78–95.
8. Иванов А., Островский А. Применение средств космической радиолокации для мониторинга морской добычи и транспортировки нефти / А. Иванов, А. Островский // Технологии ТЭК. 2003. № 6. - С. 58–64.
9. Fingas M.F. Review of oil spill remote sensing / M.F. Fingas, C.E. Brown // Proc. of the 5th Internat. Conf. on Remote Sensing for Marine and Coastal Environments. Environmental Research Institute of Michigan, Ann Arbor, Michigan, 2000. - P. 211–218.
10. Иванов А.Ю. Нефтяные загрязнения моря на радиолокационных изображениях КА “Космос-1870” и “Алмаз-1” / А. Ю. Иванов // Исслед. Земли из космоса. 1997. № 6. - С. 73–86.
11. Иванов А.Ю. Наблюдение нефтяных загрязнений моря радиолокаторами с синтезированной апертурой КА “Алмаз-1” и ERS-1 / А. Ю. Иванов, К.Ц. Литовченко, С.А. Ермаков // Электромагнитные волны и электронные системы. 2001. Т. 6. № 5. - С. 49–57.
12. Лурье И.К. Теория и практика цифровой обработки изображений : Учебное пособие по программе 510825 "Дистанционное зондирование и географические информационные системы" для магистрантов университетов / И.К. Лурье, А.Г. Косиков / гос. ун-т им. М.В. Ломоносова (МГУ) . – М. : Научный мир, 2003 . – 168 с.

Отримано: 1.11.2011 р.