

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського  
“Харківський авіаційний інститут”

І. Г. Красовська, Р. Е. Пащенко, В. О. Слободян

РОЗРОБЛЕННЯ МОДЕЛЕЙ ОПЕРАТИВНОЇ ІДЕНТИФІКАЦІЇ  
ЗАБРУДНЕНЬ МОРСЬКИХ АКВАТОРІЙ  
ЗА КОСМІЧНИМИ ЗНІМКАМИ NOAA

Навчальний посібник

Харків «ХАІ» 2014

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського  
“Харківський авіаційний інститут”

І. Г. Красовська, Р. Е. Пащенко, В. О. Слободян

РОЗРОБЛЕННЯ МОДЕЛЕЙ ОПЕРАТИВНОЇ ІДЕНТИФІКАЦІЇ  
ЗАБРУДНЕНЬ МОРСЬКИХ АКВАТОРІЙ  
ЗА КОСМІЧНИМИ ЗНІМКАМИ NOAA

Навчальний посібник

Харків «ХАІ» 2014

УДК 504.4:528.8 (075.8)  
ББК 26.1я73  
К78

Продемонстровано методичні засади розроблення моделей оцінювання температури поверхні моря, проілюстровано можливості їх залучення до ідентифікації морських течій, фронтів і фронтальних зон, вихорів, вихрових структур, апвелінгу. Описано сучасну технологію тематичного оброблення <sup>1</sup>космічних знімків низької роздільності, яка дозволяє реалізувати концепцію космічного моніторингу екосистеми Чорного моря.

Наведено коротку характеристику оперативної супутникової системи NOAA, а також призначення й технічні характеристики основних приладів супутників NOAA.

Для студентів, які вивчають курси «Космічний моніторинг Землі» та «Екологія і збалансоване природокористування».

Рецензенти: канд.техн.наук, доц. В. А. Жилін;  
І. Г. Пономаренко

**Красовська, І. Г.**

К78 Розроблення моделей оперативної ідентифікації забруднень морських акваторій за космічними знімками NOAA [Текст] : навч. посібник / І. Г. Красовська, Р. Е. Пащенко, В. О. Слободян. – Х. : Нац. аерокосм. ун-т ім. М. Є. Жуковського «Харк. авіац. ін-т», 2014. – 45 с.

Іл. 27. Бібліогр. : 38 назв

**УДК 504.4:528.8 (075.8)**  
**ББК 26.1я73**

© Красовська І. Г., Пащенко Р. Е., Слободян В. О., 2014

© Національний аерокосмічний університет

ім. М. Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут», 2014

---

# 1 МОДЕЛІ ІДЕНТИФІКАЦІЇ ХАРАКТЕРИСТИК МОРСЬКИХ АКВАТОРІЙ ЗА КОСМІЧНИМИ ЗНІМКАМИ NOAA

## 1.1 Оцінювання температури водної поверхні

Зйомка за допомогою теплових інфрачервоних радіометрів, якими оснащені метеорологічні супутники NOAA, дозволяє здійснювати одноразову глобальну фіксацію температур поверхні морів і океанів. З 1981 р. глобальні супутникові фотокарти температур морської поверхні SST (Sea Surface Temperature) складають за допомогою знімків AVHRR/NOAA з різним часовим і просторовим усереднюванням, а з 2001 р. їх створюють у реальному масштабі часу на основі багатоканального алгоритму визначення температур і використовують з оперативною метою [1].

Крім вивчення температур води, теплова інфрачервона зйомка дозволяє одержати матеріал для дослідження динамічних процесів у морях і океанах, течій, океанічних вихорів і фронтів, апвелінгів та інших явищ, при вивченні яких застосовують також матеріали про рівень океанічної поверхні.

Щоденні глобальні і регіональні карти температур морської поверхні доступні у мережі INTERNET, наприклад, [http://www.remss.com/sst/sst\\_data\\_daily.html?sat=amsre](http://www.remss.com/sst/sst_data_daily.html?sat=amsre) або [http://www.remss.com/tmi/tmi\\_browse.html](http://www.remss.com/tmi/tmi_browse.html), де є можливість вибору режиму перегляду даних (щоденні, за три дні, тиждень, місяць), а також територіального обхвату. Однак на цих сайтах не викладають карти температур морської поверхні, створені за допомогою знімків із супутників NOAA.

У тепловому інфрачервоному діапазоні спектра є два «вікна прозорості» атмосфери – в інтервалах довжини хвиль 3–5 мкм і 8–13 мкм, де можна проводити космічні дослідження морів і океанів. У першому з цих «вікон» теплове випромінювання океану підсумовують за інтенсивністю з відображенням сонячним випромінюванням, тому вимірювання температури океану слід проводити тільки на тіньовій стороні орбіти. У другому «вікні» відображена сонячна радіація практично відсутня, і теплові вимірювання не залежать від умов освітленості поверхні Землі Сонцем.

Точне знання розподілу температури морів і океанів дозволяє визначати межі течій, положення фронтальних зон, стежити за переміщеннями океанічних мезомасштабних вихорів, знаходити райони підвищеної біопродуктивності, оцінювати взаємодію морів і океанів з атмосферою та вирішувати ряд інших важливих задач.

Інформацію про температуру водної поверхні містить інфрачервоне теплове випромінювання, інтенсивність якого пов'язана із звичайною

(термодинамічною) температурою відомим законом Стефана–Больцмана. Оскільки цю інтенсивність можна виміряти за допомогою встановленої на борту штучного супутника Землі (ШСЗ) апаратури, то таким чином можна визначити й температуру водної поверхні.

Необхідно зазначити, що поряд з перевагами застосування космічних знімків для оцінювання температури водної поверхні існує й ряд проблем. Основними з них, що виникають при обробленні космічної інформації, є проблеми усунення атмосферних завад і проблеми подання інформації у вигляді, зручному й звичному для фахівців [2]. Як правило, за температуру поверхневого шару морів і океанів приймають термодинамічну температуру води, виміряну за допомогою ртутного або іншого контактного термометра на цілком певній глибині (0,5 м). Радіометри ж інфрачервоного діапазону вимірюють радіаційну температуру тонкої випромінюючої поверхневої плівки (skin-шару або прикордонного шару, або холодної плівки), товщина якої не перевищує декількох десятків мікрометрів. Однак, як показали точні вимірювання, у тонкому, завтовшки всього декілька сантиметрів, прикордонному шарі водної поверхні завжди є позитивний або негативний перепад температур.

Таким чином, навіть в ідеальному випадку, тобто за відсутності атмосферних завад, завжди спостерігається різниця між показаннями звичайного термометра, опущеного на глибину 0,5 м, і показаннями радіометра, що вимірює температуру поверхневої плівки завтовшки декілька мікрометрів [2]. Крім того, при інтерпретації даних дистанційного зондування необхідно враховувати, що супутникові вимірювання відповідають інтегральному потоку з деякої площі, а традиційні вимірювання за допомогою контактного термометра проводять в одній точці і це також може бути джерелом розбіжності у показаннях приладів.

Часто цю природну різницю температур приймають за помилку методу і вважають результатом низької точності космічної інфрачервоної радіометрії, що цілком невірно. Космічні радіометри дозволяють вимірювати радіаційну температуру підстилаючої поверхні з точністю до  $0,1^{\circ}\text{C}$ , і саме таку величину слід розглядати як міру точності космічних інфрачервоних методів вимірювання температури водної поверхні. Вплив атмосфери і хмарності при цьому можна враховувати за допомогою калібрування результатів вимірювань на тестових ділянках, а також застосовуючи спеціальні методи оброблення результатів дистанційного зондування.

Існують також деякі особливості дослідження температури водної поверхні порівняно з оцінюванням температури земної поверхні. Вони пов'язані з тим, що теплоємність води у два рази більше теплоємності порід, що складають сушу [2]. Це означає, що за одних і тих же умов за певний період часу поверхня суші встигне нагрітися вдвічі більше, ніж поверхня води. Крім того, вода при нагріванні випаровується, на що витрачається також деяка кількість теплової енергії. Необхідно навести ще

одну дуже важливу причину, що уповільнює нагрівання: перемішування верхніх шарів води завдяки хвилюванню і конвекційним струмам (до глибини 100 і навіть 200 м).

Таким чином, поверхня води нагрівається значно повільніше, ніж поверхня суші. В результаті добова і річна амплітуди температури поверхонь морів і океанів у багато разів менші добової і річної амплітуди температури поверхні суші. Однак завдяки більшій теплоємності і глибшому прогріванню водна поверхня накопичує тепла значно більше, чим поверхня суші. В результаті середня температура поверхонь морів і океанів згідно з обчисленнями перевищує середню температуру повітря всієї земної кулі на 3 °С. Розглянемо можливість моніторингу температур водної поверхні, використавши знімки з супутників NOAA двома вкладками (**Temperature** і **SST**) спеціалізованої програми **HRPT Reader**.

Синтезований знімок (рисунок 1.1), на якому зображено Азовське і Чорне моря, було отримано з супутника NOAA-19 (1, 2, 4-й канали) 3 травня 2012 року о 13-й год 00 хв.



Рисунок 1.1 – Синтезований знімок з супутника NOAA (1, 2, 4-й канали)

На рисунку 1.2 показано карту розподілу температур водної поверхні, яку було отримано за допомогою вкладки **Temperature**.

Наведена карта свідчить про те, що температура водної поверхні розподілена нерівномірно. Більші температури в основному

спостерігаються на узбережжі (жовтий та світло-зелений кольори на карті), а менші – на віддаленні від берега (темно-зелений колір на карті). Однак існують області водної поверхні, особливо у Чорному морі, де температура є вищою на віддаленні від берега. На рисунку також видно, що температури води на узбережжях Чорного і Азовського морів у травні 2012 р. відрізнялися незначно і були у межах +15 ... +17 °С. Найбільші температури у Чорному морі зафіксовано на південному березі Криму, у Каркінитській затоці та на узбережжі Румунії, а в Азовському морі – у районі м. Таганрог (Росія).

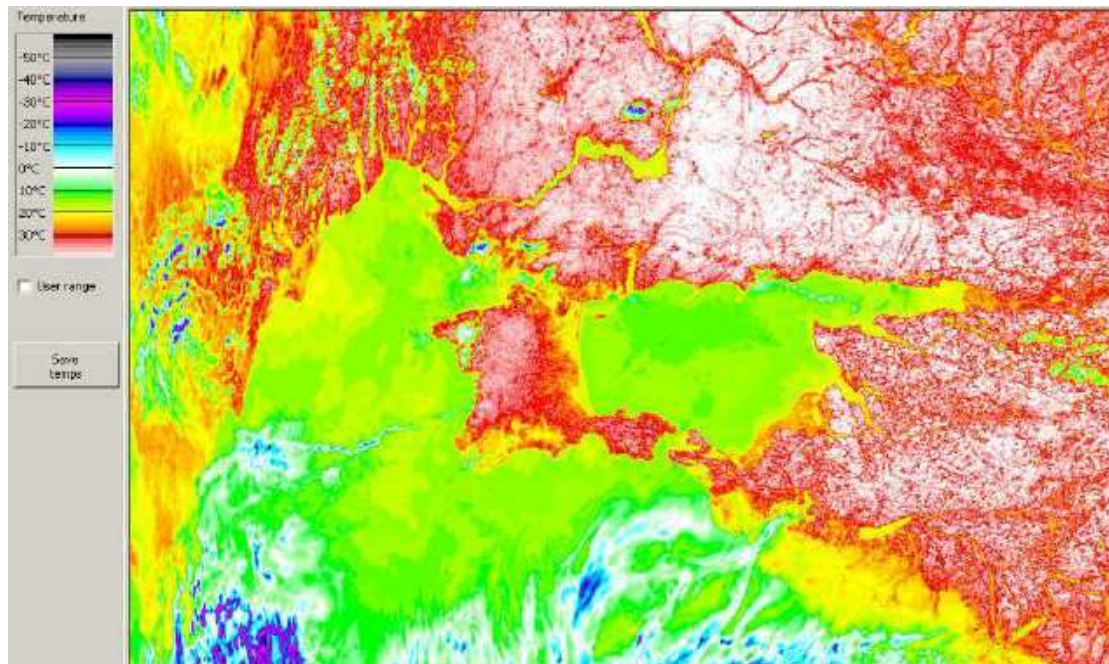


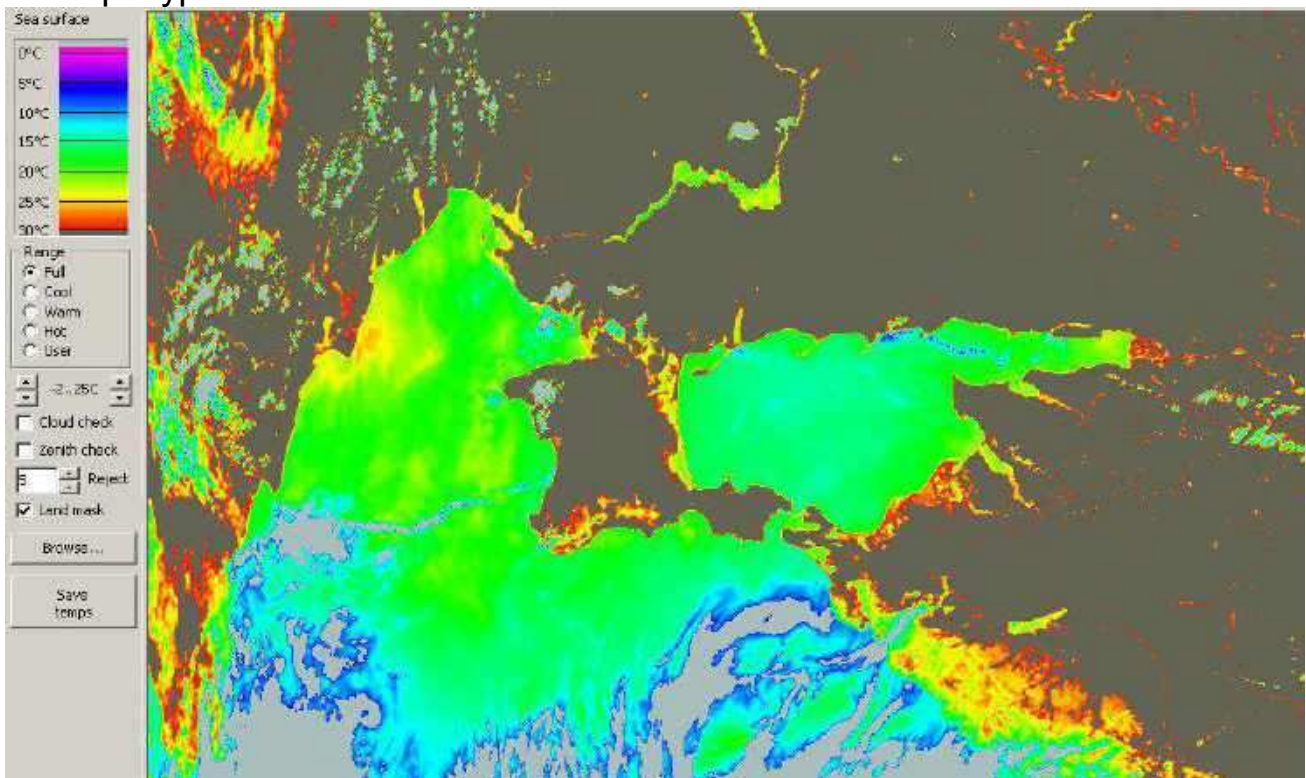
Рисунок 1.2 – Карта розподілу температур водних поверхонь Чорного і Азовського морів

На рисунку 1.3, а–в показано карти розподілу температур вихідного зображення (див. рисунок 1.1) водної поверхні, які було складено за допомогою вкладки **SST**. Вибір вкладки **SST** дозволяє аналізувати температуру водної поверхні, яку визначають з урахуванням інформації з 3-го каналу радіометра AVHRR супутників NOAA. Існує різниця у значеннях температур водної поверхні при виборі вкладок **Temperature** і **SST**. Так, при виборі вкладки **SST** температура водної поверхні за рахунок корекції приблизно на 2 °С вище порівняно з вибором вкладки **Temperature**.

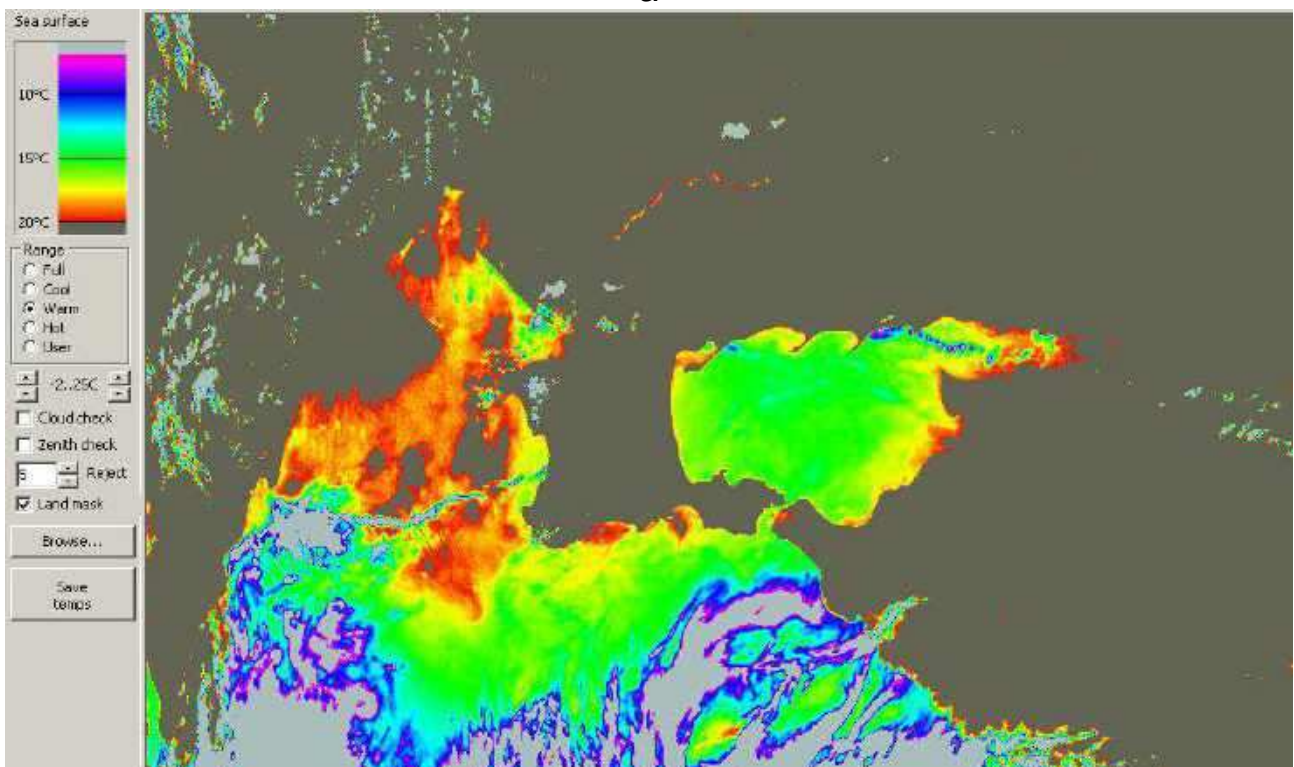
Крім того, як зазначено вище, на панелі **Range** можна автоматично вибирати діапазони температур, які відображені на знімку. Можливість такого вибору дозволяє проводити аналіз ділянок водної поверхні з конкретною температурою, і кольорова гама карти температур водної поверхні буде не такою великою, як при виборі вкладки **Temperature**. Це



дає можливість більш якісно виконувати сегментацію водної поверхні за температурною ознакою.



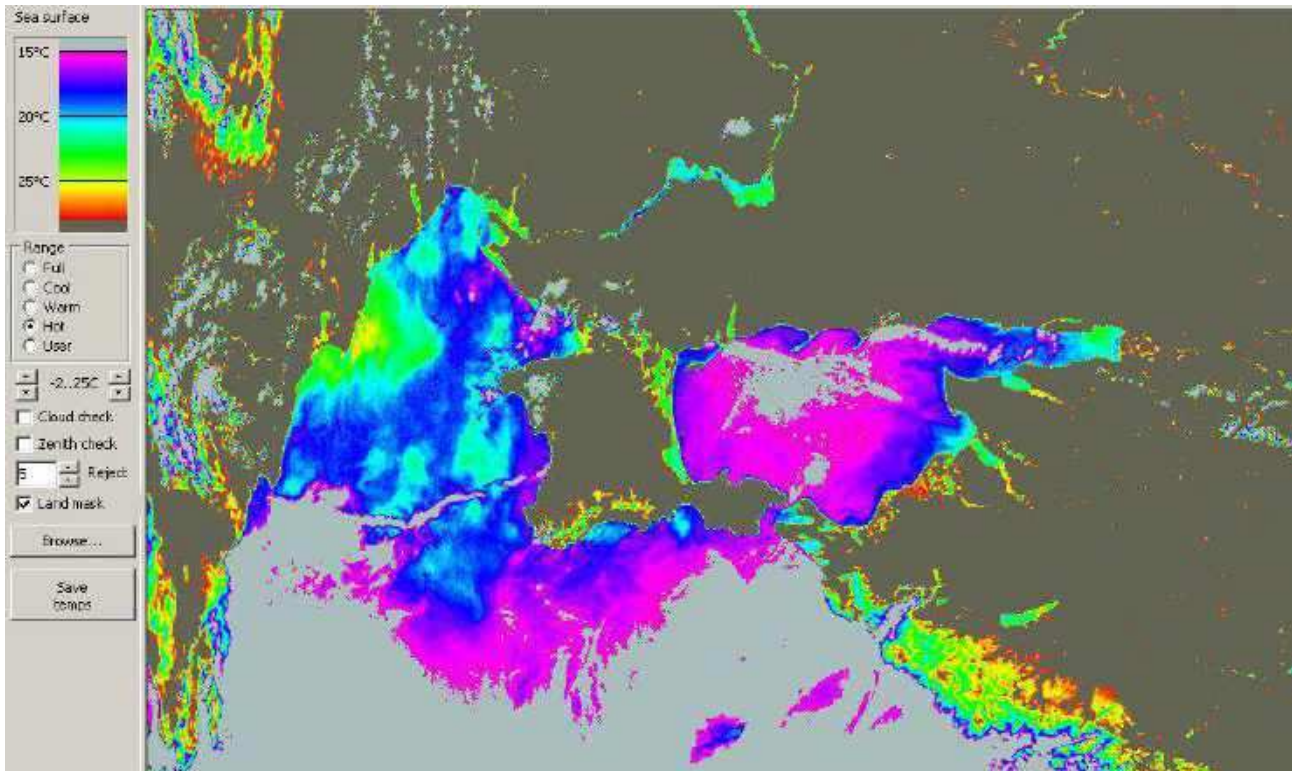
а



б

Рисунок 1.3 – Карти розподілу температур водної поверхні, зображеної на рисунку 1.1, які отримані за допомогою вкладки **SST** і позначок: **Full** (а), **Warm** (б), **Hot** (в)





В

Рисунок 1.3 – Закінчення

Позначивши **Full** на панелі **Range**, одержимо весь діапазон температур, який задається за умовчанням, від  $-2$  до  $+37$  °C. За межами цього діапазону менші температури відображаються світло-сірим кольором, а більші – темно-сірим кольором. Поставивши позначку ліворуч **Cool**, можна переглянути карту температур від  $-2$  до  $+15$  °C, **Warm** – від  $+5$  до  $+20$  °C, **Hot** – від  $+15$  до  $+30$  °C. Поставивши позначку ліворуч **User**, користувач має можливість самостійно вибрати межі діапазону температур від  $-2$  до  $+37$  °C, які будуть виведено на знімку.

Як видно на рисунку 1.3, а на відміну від рисунка 1.2, подання результатів при виборі вкладки **SST** дозволяє проводити аналіз в основному водної поверхні, а земна поверхня і області, зайняті хмарами, відповідно позначають темно-сірим кольором (більші температури) і світло-сірим (менші температури). Однак, як і при виборі вкладки **Temperature**, карта температур водної поверхні практично не змінюється (невелика відмінність у насиченості жовтого і зеленого кольорів).

Виділити температурні особливості водної поверхні дозволяють карти температур **Warm** і **Hot** (див. рисунок 1.3, б і в відповідно). На цих

рисунках більші температури позначено червоним кольором. З порівняння кольорової гами на рис. 1.3, б і в видно, що вода у Чорному і Азовському морях у травні 2012 р. була прохолодною (до +20 °С), а не теплою (вище +25 °С).

Аналіз таких карт температур водної поверхні також показав, що більші температури зафіксовано вздовж узбережжя Чорного і Азовського морів, а менші – на віддаленні від берега. Найбільші температури у Чорному морі зареєстровано на південному березі Криму, у Каркінитській затоці та на узбережжі Румунії, а в Азовському морі – у районі м. Таганрог (Росія). Найбільш наглядно це зображено на рисунку 1.3, б при виборі позначки **Warm**, а області водної поверхні з температурою у межах +15 ... +17 °С краще відображено при виборі позначки **Hot** (див. рисунок 1.3, в).

Таким чином, аналіз температур водної поверхні можна здійснювати за допомогою двох вкладок спеціалізованої програми **HRPT Reader – Temperature** і **SST**. Застосування вкладки **Temperature** дає можливість проводити загальний аналіз температури земної і водної поверхонь, а використання вкладки **SST** дозволяє більш якісно виконувати сегментацію водної поверхні за температурною ознакою.

## 1.2 Ідентифікація морських течій

Дослідити морські течії на космічних знімках можна завдяки реєстрації непрямих ознак, наприклад, зміни температур водної поверхні. За допомогою таких знімків можна визначити ширину струменя, супроводжуючі течію вихори (ринги) та ін. При цьому течії відображають у полі температур, тобто на карті температур водної поверхні.

На рисунках 1.4, 1.5 показано карти розподілу температур водної поверхні, які було складено на основі космічних зображень з супутника NOAA-19 відповідно 20 серпня 2012 р. о 13-й год 47 хв і 21 серпня 2012 р. о 13-й год 40 хв.

Як свідчить аналіз наведених рисунків, у напрямку від узбережжя Болгарії до мису Херсонес на Кримському півострові спостерігається переміщення більш холодних водних мас (світло-жовтий колір на карті). При цьому також добре видно супроводжуючі течію вихори.

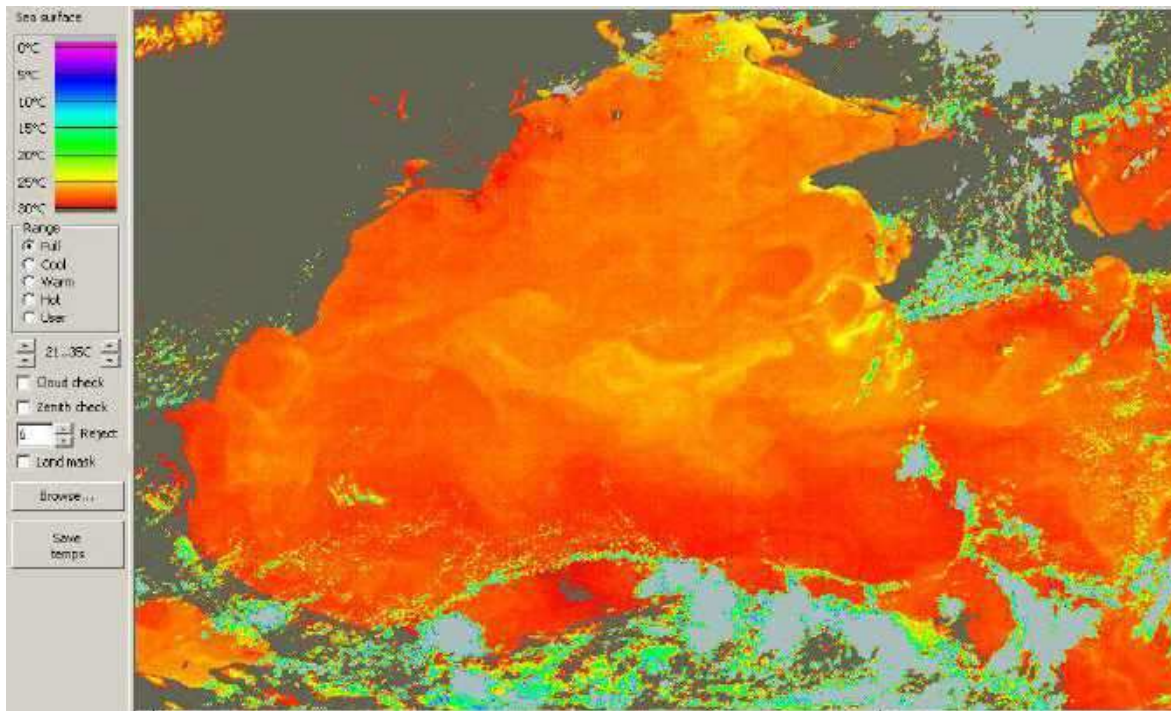


Рисунок 1.4 – Карта розподілу температур водної поверхні Чорного моря (20.08.2012, 13 год 47 хв)

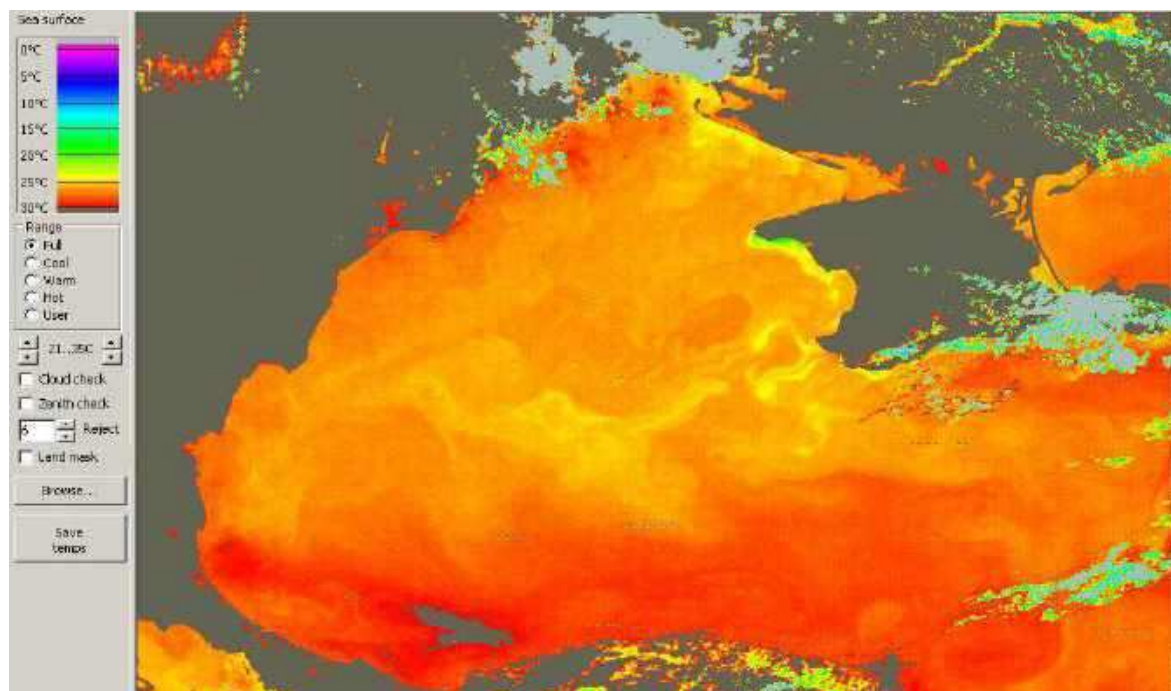


Рисунок 1.5 – Карта розподілу температур водної поверхні Чорного моря (21.08.2012, 13 год 40 хв)

### 1.3 Моніторинг фронтів і фронтальних зон

Відповідно до класичного визначення фронтальною зоною вважають таку зону в океані або морі, де спостерігаються просторові градієнти основних термодинамічних характеристик порівняно з їх фономим



розподілом [2]. Найважливішими відмітними властивостями фронтальних зон незалежно від масштабів є їх складна структура, висока динамічність і просторово-часова мінливість.

Фронти на поверхні моря і океану мають в основному вигляд протяжних смуг з максимумами горизонтальних градієнтів характеристик та екстремумами характеристик стану морської поверхні. Всередині фронтальної зони може існувати декілька фронтальних розділів.

У Чорному морі фронти і фронтальні зони також можуть спостерігатися, особливо навесні і восени. На синтезованому знімку (рисунок 1.6), отриманому з супутника NOAA-19 (1, 2, 4-й канали) 4 вересня 2012 р. о 12-й год 48 хв, зображено Чорне море та частина Азовського моря. Однак на цьому знімку неможливо виділити фронтальні зони, водна поверхня виглядає однорідною. Для визначення фронтальних зон побудуємо карту температури.

На рисунку 1.7 показано карту розподілу температур водної поверхні, яку складають на основі космічного знімка (рисунок 1.6). Як видно з рисунка 1.7, можна спостерігати наявність фронтальної зони з різкою зміною температури у Чорному морі. Ця фронтальна зона розповсюджується у напрямку від м. Геленджик (Росія) до м. Бафра (Туреччина). Також посередині фронтальної зони спостерігається фронт на поверхні моря у вигляді протяжної смуги з максимальною температурою (яскраво-червоний колір на карті).

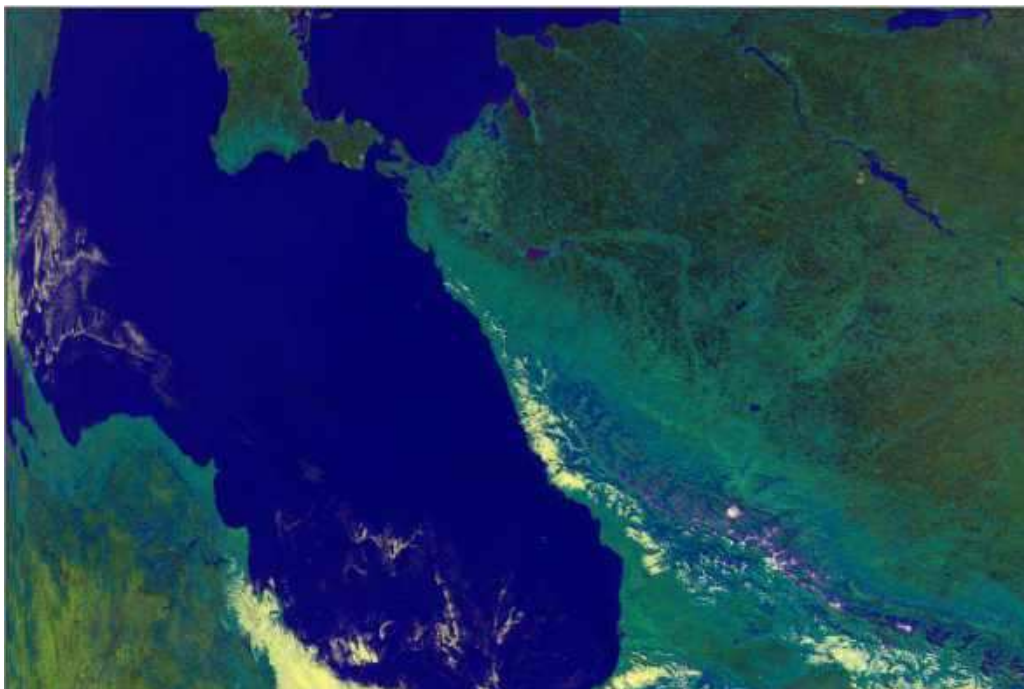


Рисунок 1.6 – Синтезований знімок з супутника NOAA (1, 2, 4-й канали), 04.09.2012, 12 год 48 хв

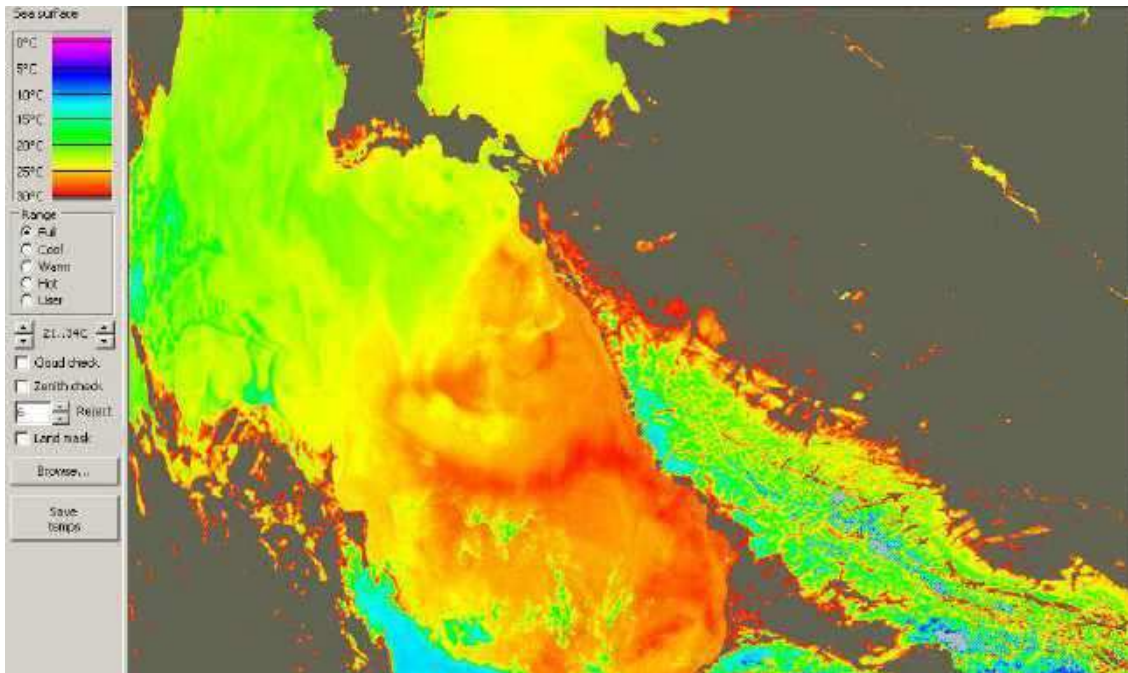


Рисунок 1.7 – Карта розподілу температур водної поверхні Чорного моря, 04.09.2012, 12 год 48 хв

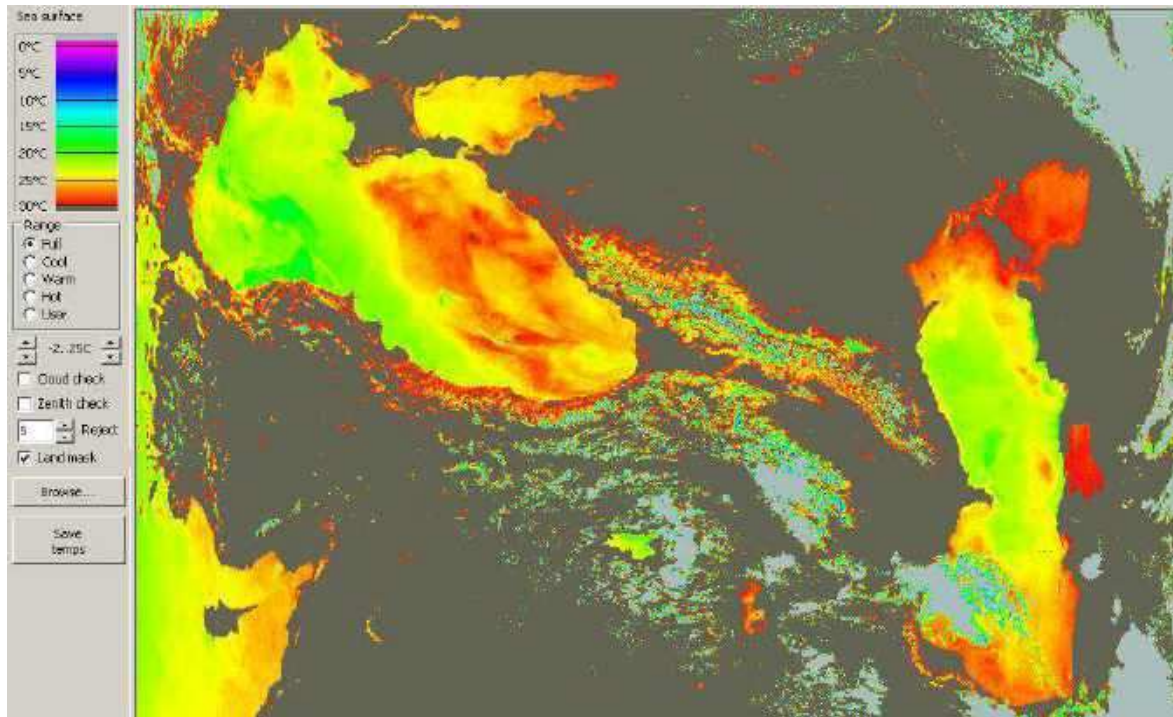
Ще один приклад виділення фронтальних зон на водній поверхні проілюстровано на рисунку 1.8, де зображено карти розподілу температур водної поверхні Чорного і Каспійського морів. Карти складено на основі космічного знімка з супутника NOAA-18, отриманого 11 червня 2012 р. о 14-й год 22 хв. При цьому на рисунку 1.8, а показано карту температур, якщо позначено **Full**, тобто діапазон температур, що відображається, змінюється від  $-2\text{ }^{\circ}\text{C}$  до  $+37\text{ }^{\circ}\text{C}$ , а на рисунку 1.8, б – при виборі позначки **User**, коли діапазон температур, що відображається, змінюється від  $+23\text{ }^{\circ}\text{C}$  до  $+30\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

На рисунку 1.8, а видно, що 11 червня 2012 р. у Чорному морі існувала велика фронтальна зона вздовж чорноморського узбережжя Росії, Грузії та частини Туреччини. У цій фронтальній зоні спостерігалася максимальна на той час у Чорному морі температура. У той же час у Каспійському морі існували дві фронтальні зони: одна на півночі, а друга на півдні. Північна фронтальна зона мала більш перепади температури порівняно з південною (більш насичений червоний колір на карті).

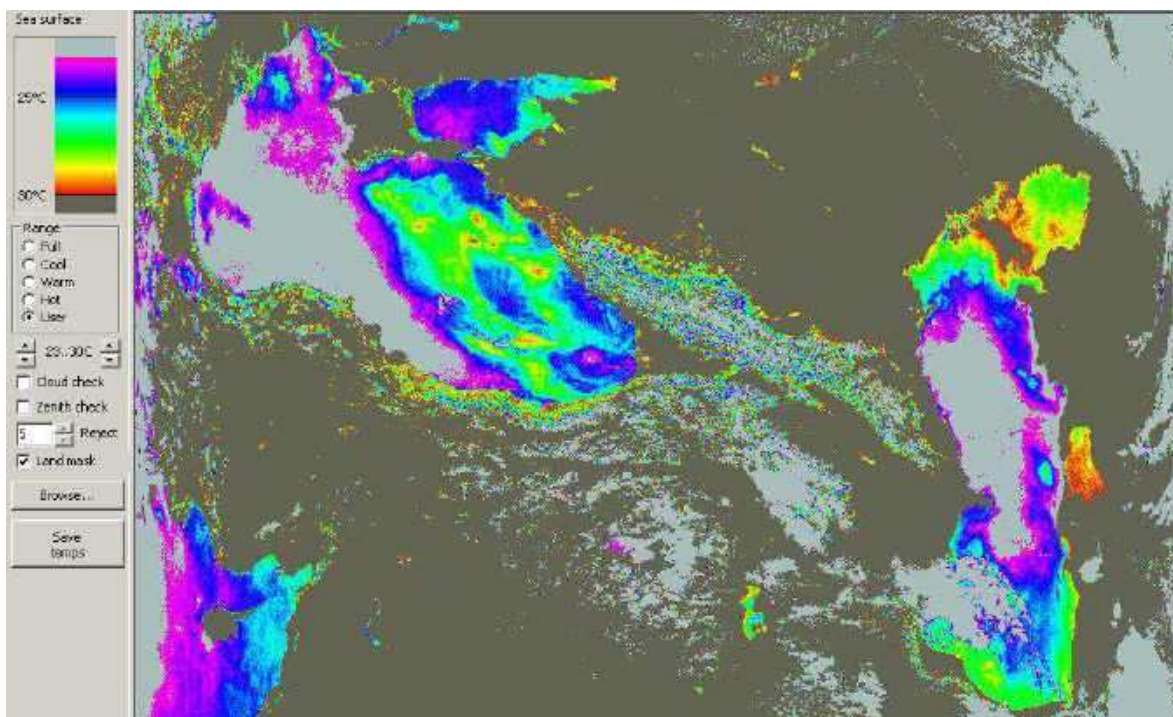
Провести більш детальний аналіз меж фронтальних зон дозволяє карта розподілу температур водної поверхні з визначенням (вузьким) діапазоном змін температур, як це показано на рисунку 1.8, б. На цій карті дуже добре виділено межі фронтальних зон як у Чорному морі, так і Каспійському. На карті ці межі зображено темно-синім кольором. Крім того, на карті малиновим кольором виділено перехідні зони між теплими і холодними водними масами.



Таким чином, за допомогою складених на основі знімків з супутників NOAA карт температур водної поверхні можна досліджувати як океанські і морські течії, так і фронти, і фронтальні зони.



а



б

Рисунок 1.8 – Карты розподілу температур водної поверхні Чорного і Каспійського морів 11.06.2012, 14 год 22 хв: а – Full, б – User

## 1.4 Дослідження вихорів і вихрових структур

Розрізняють фронтальні вихори, що виникають унаслідок бароклінної нестійкості; топографічні вихори, пов'язані з обтіканням підводних перешкод водними масами; синоптичні вихори, породжені атмосферними процесами; циклонні і антициклонні вихори (за типом обертання), великомасштабні, проміжні та мезомасштабні (у просторових масштабах), а також квазіпостійні, довгоживучі й короткоживучі (за часом існування) [3]. У Чорному морі, в основному, можна спостерігати невеликі синоптичні вихори, породжені атмосферними процесами.

На рисунку 1.9, а, б відповідно показано синтезовані знімки (1, 2, 4-й канали), які були отримані 18 вересня 2012 р. з супутника NOAA-16 о 9-й год 17 хв і з супутника NOAA-19 о 13-й год 43 хв. У ці часи над Чорним морем рухався атмосферний вихор від чорноморського узбережжя Росії до узбережжя Туреччини. На рисунку 1.10, а, б зображено карти розподілу температур водної поверхні, які було складено на основі знімків з супутників NOAA-16 і NOAA-19 відповідно 18 вересня 2012 р. о 9-й год 17 хв та о 13-й год 43 хв.

Карти температур, що показано на рисунку 1.10, складено при виборі позначки **User**, коли діапазон температур, що відображають, змінювався від +18 до +37 °С. Ці карти температур дозволяють дослідити безпосередньо сам вихор та його структуру. На рисунку 1.10, а можна побачити, що температура водної поверхні з різних сторін атмосферного вихору є різною: з одного боку нижчою, а з іншого вищою.

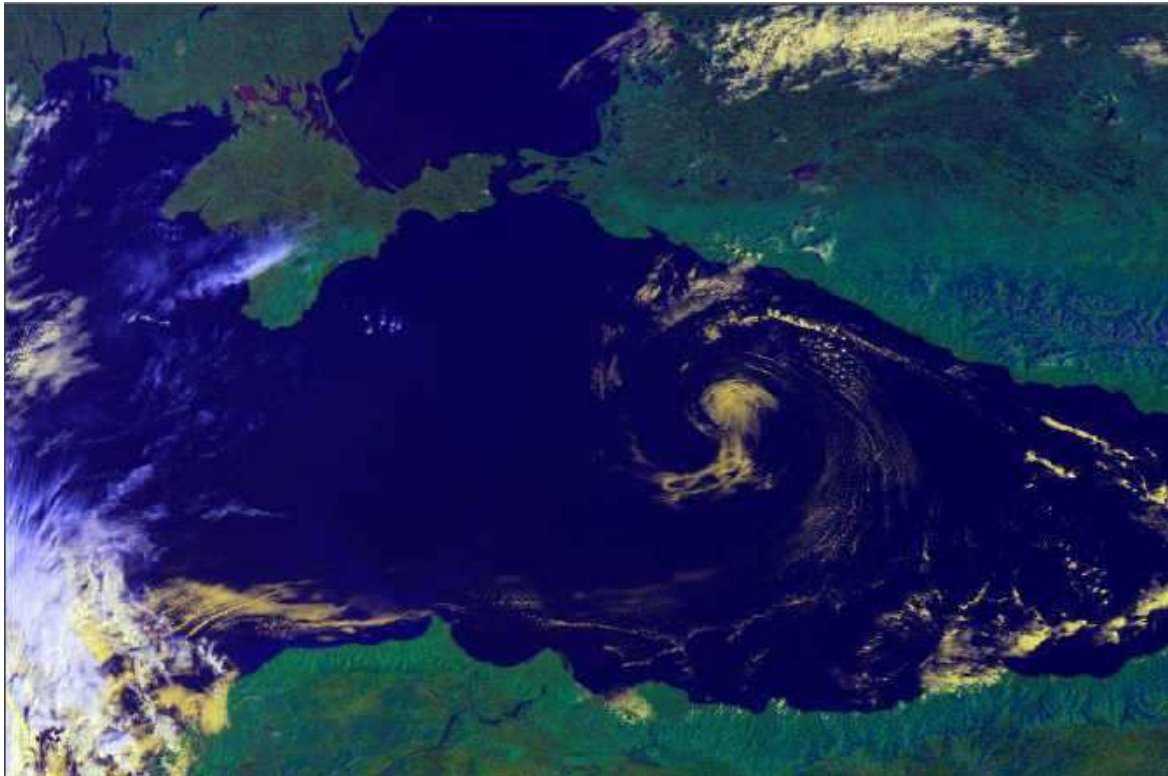
По одному знімку (карті температури) неможливо визначити напрямок руху вихору та його вплив на температуру водної поверхні. Різничасові знімки водної поверхні і побудова на їх основі карт температур дозволяють вирішити ці задачі.

На рисунку 1.9, б видно, що атмосферний вихор рухався від чорноморського узбережжя Росії до узбережжя Туреччини, а на рисунку 1.10, б – що температура водної поверхні за вихором нижче температури перед ним, що холодніші водні маси переміщуються разом з атмосферним вихором і холодні й теплі водні маси також являють собою вихрові структури.

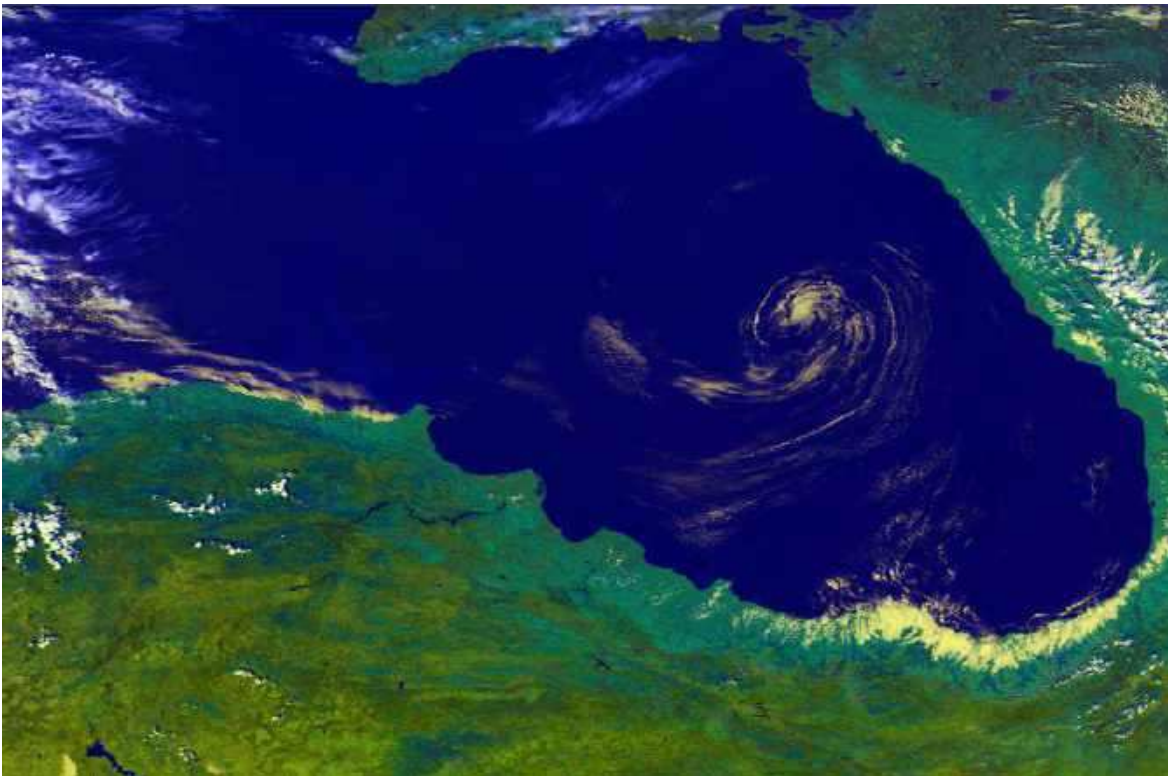
На основі різничасових знімків можна досліджувати структуру атмосферного вихору. На рисунках 1.9, а і 1.10, а видно, що на початковому етапі атмосферний вихор мав доволі широку просторову структуру і центр вихору також був доволі великим і мав нижчу температуру (до +20 °С). З цих рисунків також видно, що з часом просторова структура атмосферного вихору змінилася. Розміри атмосферного вихору стали менше, а його сила сконцентрувалася ближче до центру, про що свідчить зменшення розмірів центру вихору і зниження там температури (більш насичений малиновий колір на карті температур).



Таким чином, космічні зображення дозволяють отримати інформацію про типи вихрових рухів, про час їх існування, розміри, напрям обертання (циклонний або антициклонний вихор) і напрям переміщення у просторі.



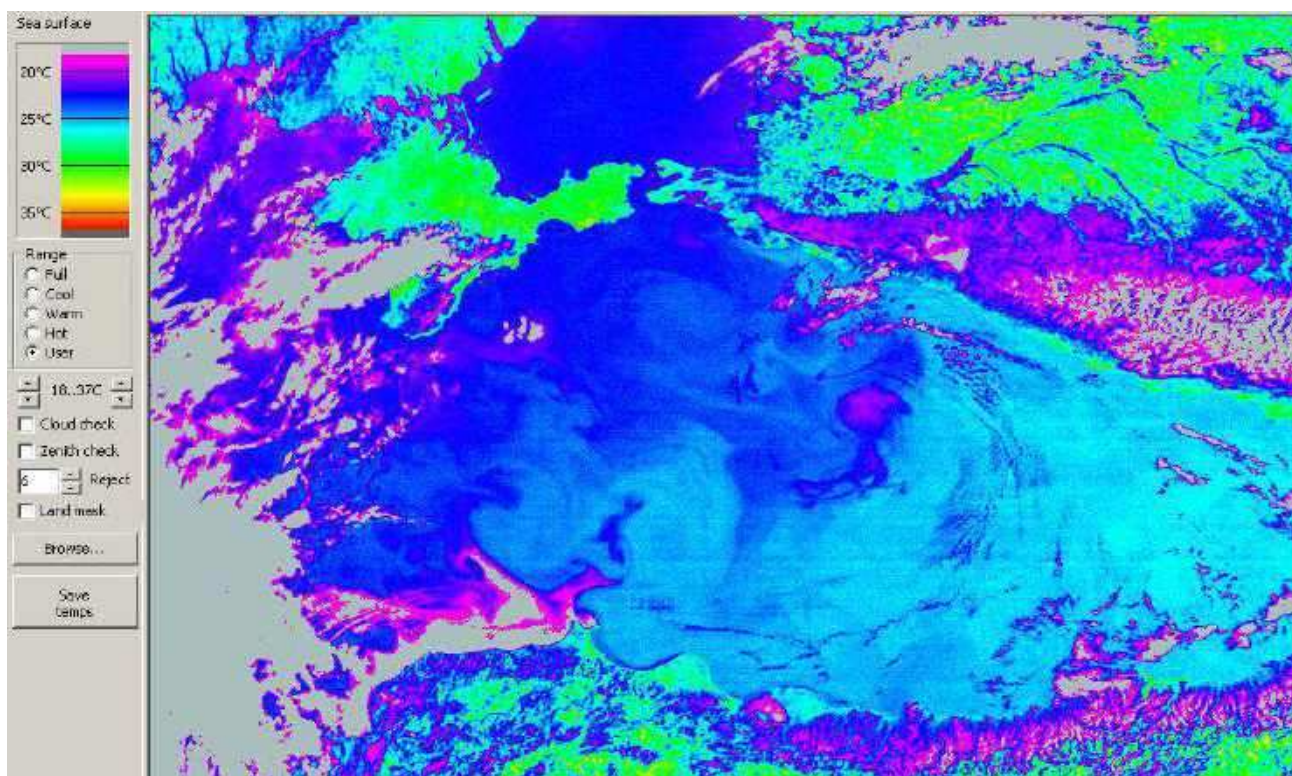
а



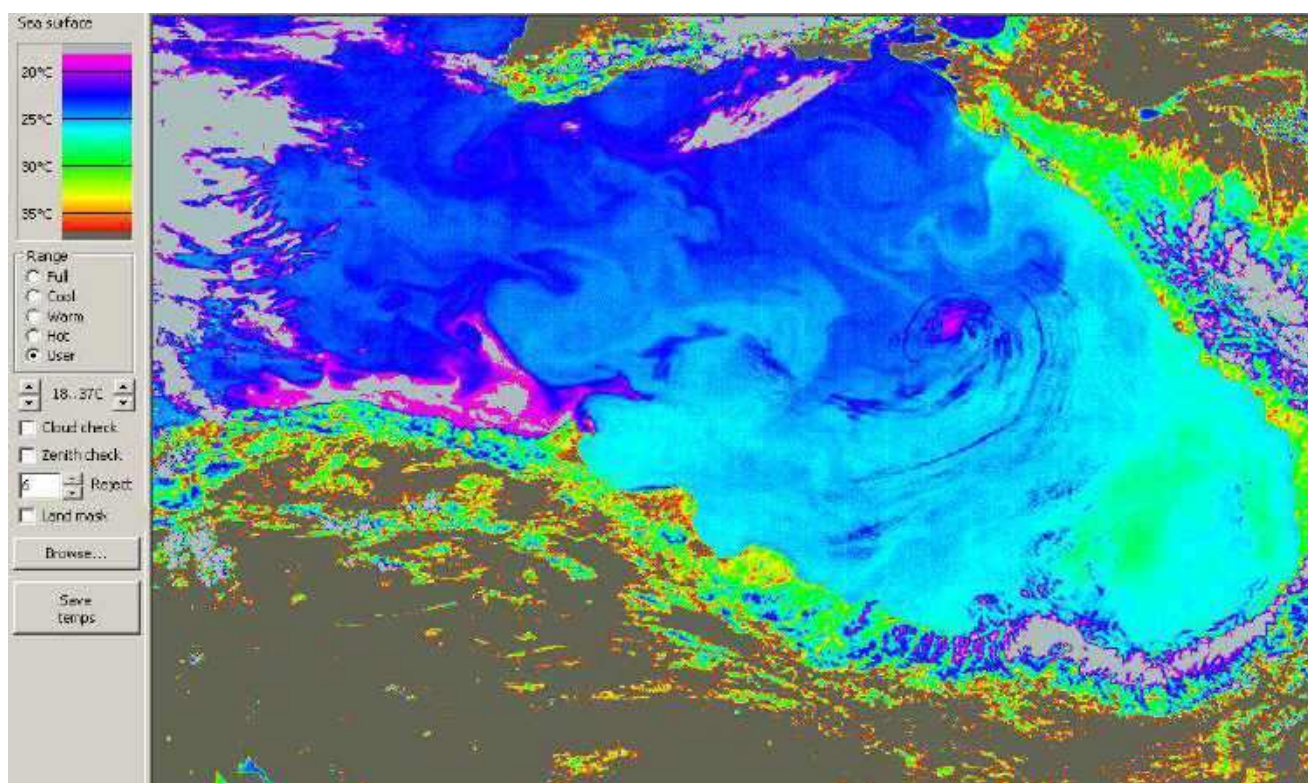
б

Рисунок 1.9 – Синтезовані знімки з супутників NOAA (1, 2, 4-й канали):  
а – знімок з NOAA-16 18.09.2012 о 9.17; б – знімок з NOAA-19 18.09.2012 о 13.43





а



б

Рисунок 1.10 – Карты розподілу температур водної поверхні Чорного моря, складені на основі знімків з супутників: а – знімок з NOAA-16 18.09.2012 о 9.17; б – знімок з NOAA-19 18.09.2012 о 13.43

## 1.5. Дослідження апвелінгу

Апвелінгом називають явище підйому глибинних вод (холодніших, солоніших і насичених біогенними елементами) на поверхню [3]. Розрізняють два типи апвелінгу: прибережний і відкритого океану. Прибережний апвелінг виникає внаслідок зганяння поверхневих вод вітром і підйому на їх місце глибинних вод. У відкритому океані апвелінг утворюється в результаті дивергенції (розбіжності) поверхневих течій як компенсаційний підйом глибинних вод до поверхні.

На Чорному морі можна спостерігати прибережний апвелінг. На рисунку 1.11 показано синтезований знімок, який було отримано з супутника NOAA-19 (1, 2, 4-й канали) 6 вересня 2012 р. о 14-й год 08 хв.



Рисунок 1.11 – Синтезований знімок з супутника NOAA (1, 2, 4-й канали)  
06.09.2012 о 14 год 08 хв

На рисунку 1.12 показано карту розподілу температур водної поверхні, яку було отримано за допомогою вкладки **temperature**, а на



рисунку 1.13, а, б – карти розподілу температур, складені за допомогою вкладки **SST**.

На рисунках 1.12 та 1.13 можна спостерігати, що температура водної поверхні на узбережжі Туреччини від м. Інеболу до м. Синоп є значно нижчою середньої температури у Чорному морі. На рисунку 1.12 ці температури зображено насиченим зеленим кольором; на рисунку 1.13, а – насиченим зеленим і блакитним кольорами, а на рисунку 1.13, б – темно-синім і малиновим кольорами. Таким чином, можна зробити висновок, що у цей час спостерігався прибережний апвелінг. Крім того, необхідно зазначити, що поблизу м. Інеболу прибережний апвелінг існував на значній відстані від берега і градієнт температури в ньому був великий. Як видно на рисунку 1.13, б, температура водної поверхні у середині апвелінгу була нижче за  $+15\text{ }^{\circ}\text{C}$  (сірий колір на карті), а за межами – близько  $+25\text{ }^{\circ}\text{C}$  (світло-блакитний колір на карті). Межа прибережного апвелінгу на рисунку 1.13, б показана малиновим кольором, тобто температура водної поверхні дорівнювала  $+15\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

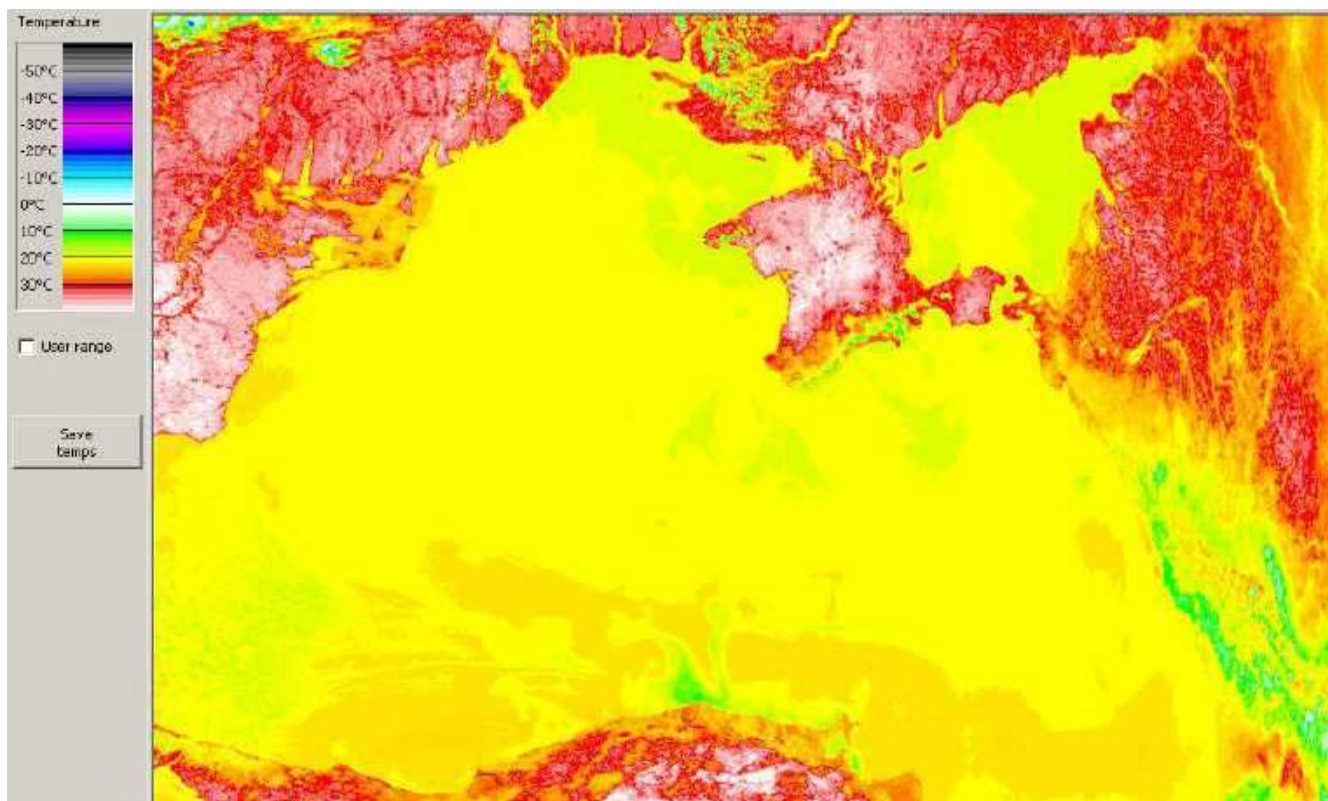
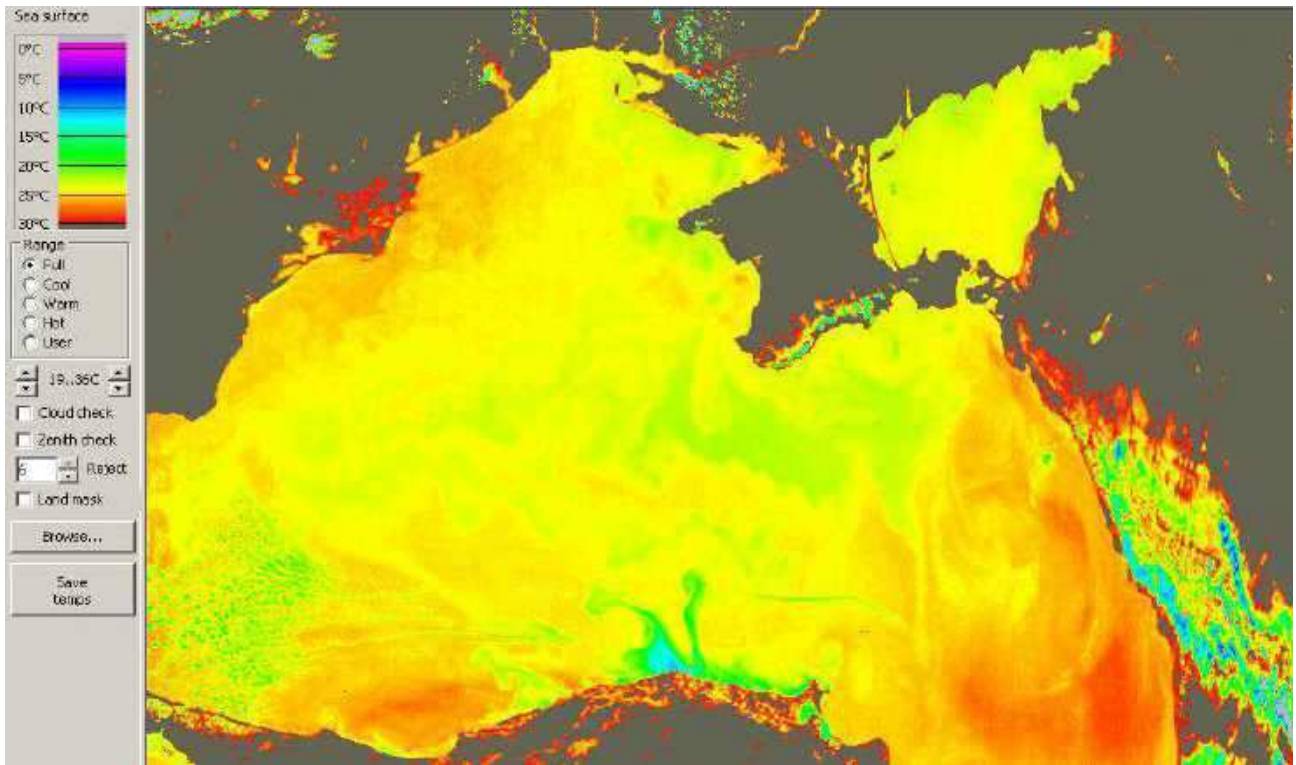
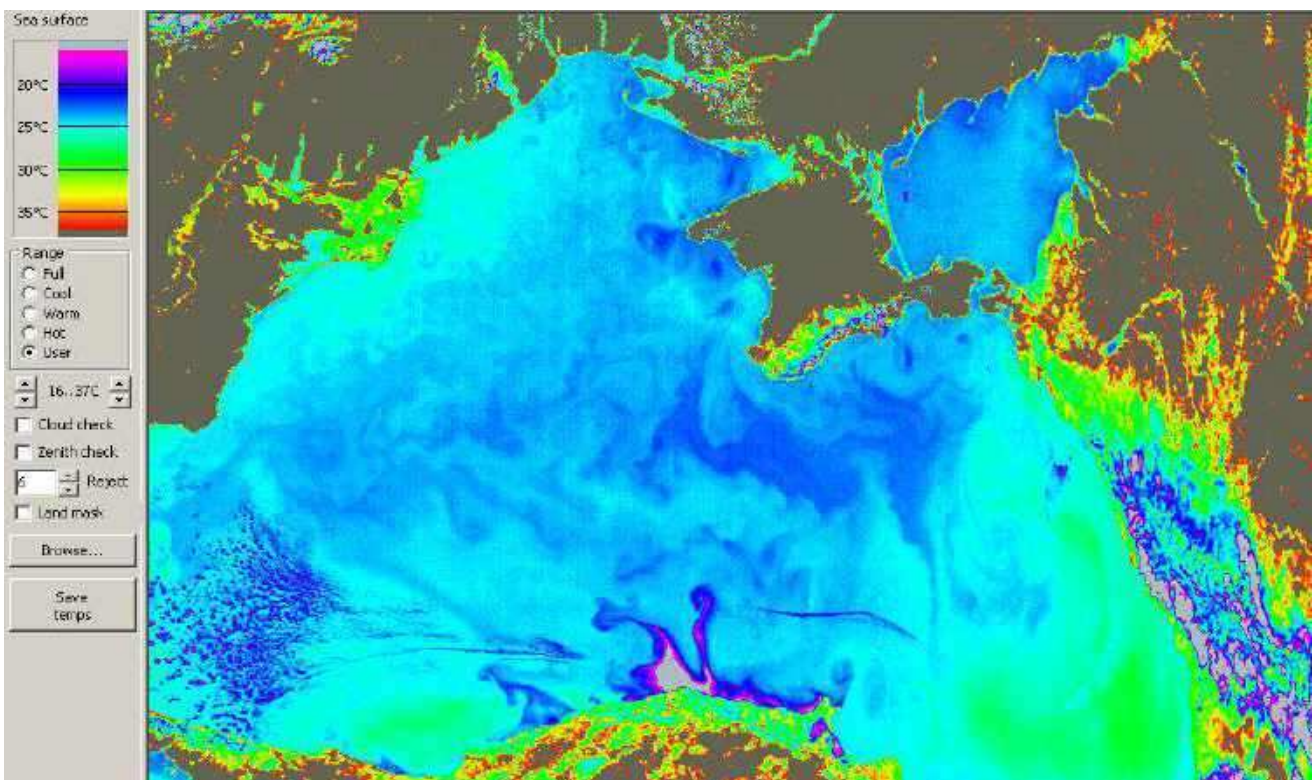


Рисунок 1.12 – Карта розподілу температур водної поверхні, що зображена на рис. 1.11, яку отримано за допомогою вкладки **Temperature**



a



б

Рисунок 1.13 – Карти розподілу температур водної поверхні, що зображені на рисунку 1.11, які отримані за допомогою вкладки **SST** і позначок **Full** (а), **User** (б)

## 1.6. Моніторинг стану морських акваторій

Комплексні дослідження морських акваторій та їх забруднень проводяться Державним космічним агентством України, Міністерством оборони України, а також Міністерством України з питань надзвичайних ситуацій. Дослідження ведуться в певних основних напрямках.

Перший напрямок – біофізичні дослідження морських акваторій. Наприклад, Південний науково-дослідний інститут морського рибного господарства і океанографії розробляє наукове обґрунтування стабільного використання біоресурсів, здійснює комплекс природоохоронних досліджень в Азовському і Чорному морях [3]. Фахівці Інституту біології південних морів ім. А. О. Ковалевського Національної академії наук України та його Одеської філії вивчають види планктонного співтовариства і його просторово-часові зміни [4,5].

Другий напрямок – створення наукових основ моніторингу водних об'єктів. Роботи в цьому напрямку виконуються у Морському гідрофізичному інституті Національної академії наук України «Океанолог» [6], а також у науково-дослідному центрі Збройних сил України «Державний океанаріум» [7], фахівці якого проводять комплексні екологічні дослідження акваторій Чорного і Азовського морів з метою створення наукових основ для раціонального використання ресурсів і попередження негативних результатів антропогенного впливу на морське середовище.

Незважаючи на те, що за багато років експлуатації штучних супутників Землі накопичено значний досвід застосування космічної інформації дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) при вирішенні природоохоронних задач, роботи з удосконалення методів дешифрування космічних знімків тривають і тепер. Досліджуються різні інформативні ознаки, розробляються нові методи дешифрування матеріалів космічних зйомок тощо [8-10].

Третій напрямок – дослідження морів за матеріалами космічних зйомок. Системні дослідження в області космічного природознавства, а також в області технологій оброблення космічної інформації проводяться ДНВЦ «Природа», Інститутом радіофізики і електроніки ім. О. Я. Усикова НАН України, Національним аерокосмічним університетом ім. М. Є. Жуковського «ХАІ» [11-13]. Великий науково-практичний внесок у розвиток методів дешифрування космічних знімків зроблено їх провідними спеціалістами.

Четвертий напрямок – класифікація забруднень морських акваторій. Роботи в цьому напрямку проводяться фахівцями Морського відділення Українського науково-дослідного гідрометеорологічного інституту («УкрНДГМІ»), які вивчають багаторічні тенденції мінливості інтегральних показників інтенсивності циркуляції та параметрів структури морських вод під впливом нафтових забруднень. Також проводиться діагностика сучасного стану антропогенного забруднення морського середовища.



П'ятий напрямок – експериментальні дослідження забруднень морських акваторій. Роботи у цьому напрямку виконуються, наприклад, фахівцями Інституту радіофізики і електроніки ім. О. Я. Усикова НАН України і Державного космічного агентства України [14].

Велика кількість досліджень присвячена порівняльному аналізу даних контактних вимірів і даних ДЗЗ. Наприклад, порівняння результатів контактних вимірів і кількісного оцінювання розподілу концентрації забруднень за матеріалами космічних зйомок розглянуто у роботах [15, 16]. У роботі [15] запропоновано для такого оцінювання використати штучне еталонування, в [16] наведено результати експерименту, проведеного на озері Байкал, де синхронно з космічною зйомкою відбиралися проби води для виміру загальної концентрації зважених речовин. У роботах [17, 18] запропоновані методики кількісної інтерпретації космічних зображень на основі дистанційних вимірів коефіцієнта спектральної яскравості. У роботі [19] проведено кореляційний аналіз результатів синхронних вимірів коефіцієнта спектральної яскравості і концентрації зважених речовин для озера Байкал і Каховського водосховища. У роботах [20, 21] визначали концентрації забруднюючих речовин, що надходять у водойму з трьох різних джерел. У роботах [21, 22] порівняння результатів наземних вимірів з параметрами космічних зображень проводили методами парного нелінійного кореляційного і регресійного аналізу. У роботах [22, 23] проаналізовано розходження у рівняннях регресії для оцінювання концентрації зважених речовин, отриманих за даними дистанційного зондування акваторій різних морів. У роботах [24, 25] досліджували розподіл зважених речовин, що виносяться у Чорне море ріками, які в нього впадають. У роботі [26] поширення зважених речовин, що виносяться ріками у Німецьку затоку, пов'язане із забрудненням моря.

Розглянуто також інші джерела забруднення моря – поверхневий стік з урбанізованої території, промислові скидання [27, 28]. Вивчають наслідки забруднення – «цвітіння» морської води у прибережній зоні, що обумовлено надходженням у море з'єднань азоту [29]. У роботі [30] досліджують процеси евтрофування внутрішніх водойм і морів. У роботах [31, 32] картосхеми розподілу зважених речовин використовують для виявлення абразивно-небезпечних ділянок берега.

Методи космічного моніторингу морських акваторій базуються на визначенні аномальних процесів на поверхні моря та дослідженні їх динаміки розвитку. Для вирішення цих задач необхідно застосовувати космічні знімки високої, середньої та низької роздільності. Їх вибір визначається задачами, що вирішують. При ідентифікації розливів нафти більш ефективним є застосування знімків як середньої, так і високої роздільної здатності. Однак для встановлення процесу розвитку фітопланктону, абразії берегової лінії часто достатньо проаналізувати знімки низької роздільної здатності. Таким чином, характеристики даних

ДЗЗ визначаються поставленою задачею. В результаті проведених досліджень було сформульовано первинні вимоги до знімків (щодо задач, що вирішуються):

- для визначення процесу «цвітіння» води достатньо застосовувати знімки низького просторового розрізнення в одному або декількох спектральних каналах; уточнення контурів ділянки, що цікавить, можна проводити за даними середньої й високої роздільної здатності;

- аналіз внутрішнього процесу абразії берега потребує наявності даних середнього й високого просторового розрізнення, але для визначення місцеположення цього процесу можна використовувати дані низького просторового розрізнення;

- ідентифікація точкових процесів забруднень (наприклад, річковий стік) можлива при застосуванні матеріалів космічної зйомки низької роздільної здатності за умови територіальної протяжності «язика» стоку більш ніж на 1 км;

- аналіз точних контурів розливу та внутрішнього розподілу хімічних речовин необхідно проводити із застосуванням даних ДЗЗ середньої й високої роздільної здатності;

- для визначення місцеположення і аналізу поширення дифузних джерел забруднення морської поверхні (наприклад, поверхневий стік з сільськогосподарських угідь) необхідно застосовувати знімки середнього й високого просторового розрізнення;

- дешифрування космічних знімків з метою ідентифікації джерел нафтових забруднень необхідно проводити із застосуванням даних ДЗЗ високого просторового дозволу.

Таким чином, проаналізувавши можливості використання матеріалів космічної зйомки для вирішення задач моніторингу морських акваторій, можна виділити декілька напрямків застосування знімків низької роздільності:

- ідентифікація і аналіз процесу «цвітіння» води;
- визначення процесів абразії берега;
- ідентифікація та первинний аналіз точкових джерел забруднень морських акваторій.

Як вже було зазначено вище, завдяки знімкам низької роздільності з супутника NOAA отримуються дані у п'яти спектральних каналах: у двох видимих (0,58 – 0,68 мкм; 0,725 – 1,10 мкм), ближньому інфрачервоному (3,55 – 3,93 мкм) та у двох інфрачервоних (10,5 – 11,3 мкм; 11,5 – 12,5 мкм).

Космічний знімок дає можливість одержати просторову картину стану водного об'єкта на всьому його протязі. Послідовні зйомки дозволяють простежити зміни за часом і простором. За допомогою космічних знімків можна оцінювати площу затоплення річкових заплав, картографувати кордони розливів, відслідковувати динаміку розвитку евтрофікації та ін.



Спектрозональна зйомка дозволяє виділити води з різними механічними, хімічними і оптичними властивостями.

Космічний моніторинг морських акваторій включає комплекс задач, основні з яких – інвентаризація стану водних об'єктів, визначення берегової лінії, моніторинг евтрофікації водойм, виділення забруднень на водній поверхні та аналіз впливу забруднень. При цьому вирішення кожної задачі включає основний етап – ідентифікацію джерел забруднень. Це важливо і з точки зору правильного картографування меж об'єктів, і з точки зору аналізу стану досліджуваних морів.

Загальну методику ідентифікації просторово-розподілених джерел забруднення водних об'єктів показано на рисунку 1.14.

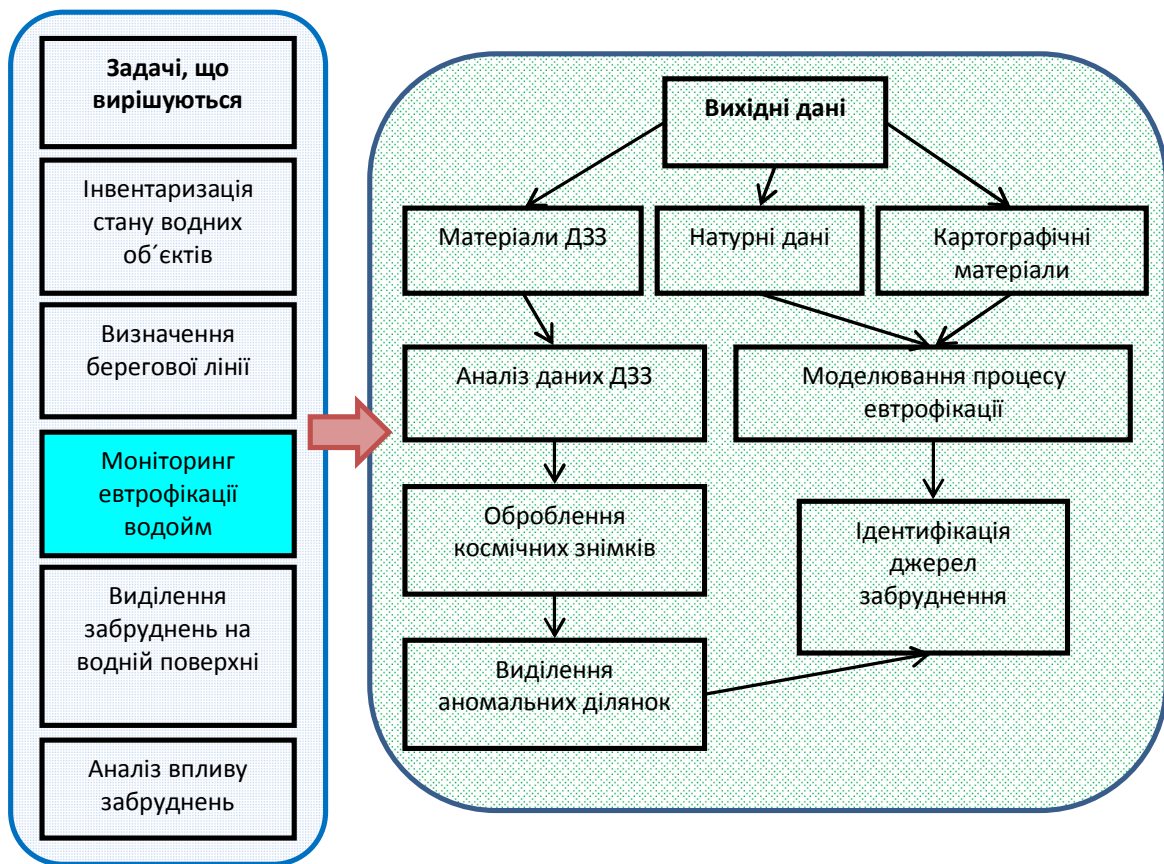


Рисунок 1.14 – Етапи ідентифікації джерел забруднення за даними ДЗЗ

Як видно зі схеми, для ідентифікації джерел забруднення необхідно провести багатозаровий аналіз усіх наявних даних, що забезпечує достовірність отриманих результатів. Первинний аналіз виконується у програмі HRPT Reader.

Блок «**Визначення берегової лінії**» призначено для виділення об'єкта дослідження для подальшого більш детального аналізу. Один із варіантів вирішення даної задачі – на вкладці «False colour» визначити колір і поріг відображення морської поверхні. Для цього у розділ «Sea colour» необхідно включити позначку «On» і задати колір відображення водної поверхні (рисунок

1.15). Крім того, можна задавати поріг яскравісного діапазону для виділення даного об'єкта, змінюючи значення «Threshold».

У зображеній на рисунку 1.14 схемі блок «Аналіз даних ДЗЗ» містить етап вибору комбінацій каналів даних ДЗЗ, тому що для вирішення задач екологічного моніторингу поверхневих вод обов'язковою умовою є використання даних багатоспектральної космічної зйомки. Для реалізації даного етапу у програмному забезпеченні HRPT Reader після відкриття знімку, що досліджується, необхідно перейти на вкладку «RGB» (рисунок 1.16), де зліва є можливість задати потрібну комбінацію каналів. За допомогою позначки «Stretch» реалізується метод еквалізації гістограми яскравості кольорів. При цьому виконується перетворення зображення таким чином, що гістограми яскравостей всіх каналів відповідають рівномірному закону розподілу. В цьому випадку контрастність зображення підвищується перетворенням гістограм розподілу значень інтенсивності вихідного зображення.

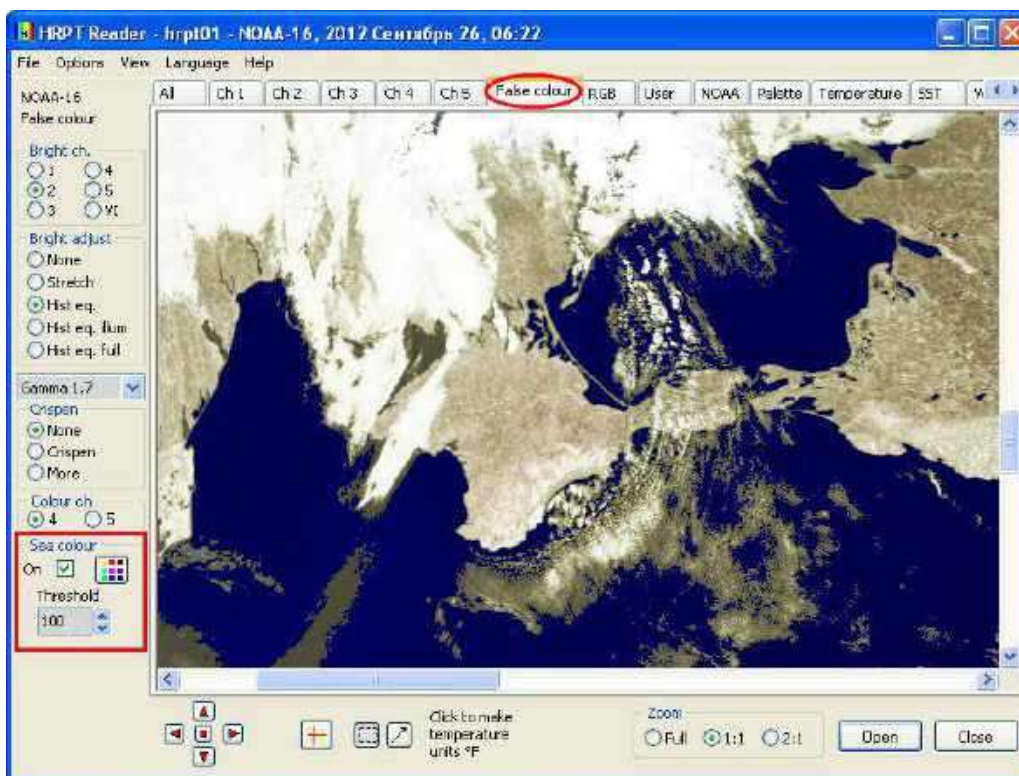


Рисунок 1.15 – Виділення морської поверхні

У програмі є можливість ручної настройки відображення каналів. Для цього необхідно зняти позначку «Stretch» і натиснути кнопку «Adjust». З'явиться допоміжне вікно (рисунок 1.17), в якому можна коригувати відображення кожного каналу за допомогою пересування меж гістограми, позначених трикутниками. При нерухомих правому і лівому трикутниках переміщення середнього трикутника дозволяє нелінійно змінювати насиченість кольору, тобто фактично проводити Гама-корекцію.



Рисунок 1.16 – Вибір комбінації каналів

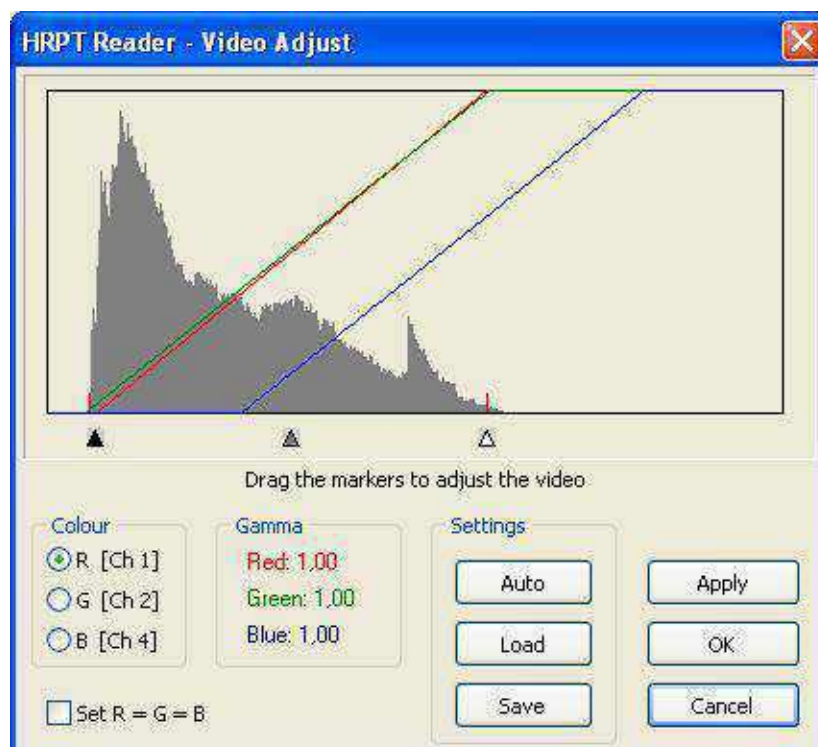


Рисунок 1.17 – Настроювання яскравостей каналів

Для реалізації наступних етапів аналізу знімків необхідно застосовувати спеціалізовані програми, наприклад, ERDAS IMAGINE. Цей програмний комплекс дозволяє проводити детальний тематичний аналіз багатоспектральних знімків. При цьому подальше вивчення стану морських акваторій з використанням даних ДЗЗ включає фільтрацію даних, різні види класифікацій та інші методи оброблення, які дозволяють більш ефективно інтерпретувати отримані результати.

Класифікація зображення – процес кількісного відбору даних із зображення і групування точок або частин зображення в класи, призначені для подання різних фізичних об'єктів або їх типів. Відомо два типи класифікації:

- з навчанням (контрольована класифікація);
- без навчання (неконтрольована класифікація).

Методи контрольованої класифікації враховують апріорну інформацію про типи об'єктів і ймовірності її подання даними знімка, а також еталонні значення спектральних характеристик цих об'єктів. У процесі проведення такої класифікації значення яскравості поточного пікселя порівнюється з еталонним, і на підставі цього порівняння піксель належить до того класу об'єктів, який найбільше підходить.

Серед алгоритмів контрольованої класифікації виділяють алгоритми, оснований на таких методах:

- паралелепіпедів;
- класифікації за мінімальною відстанню;
- класифікації за правилом максимальної правдоподібності й ін.

Обов'язковим етапом оброблення просторових даних є створення й застосування векторних і тематичних карт. Для вирішення цих задач використовують спеціалізовані ГІС-програми, наприклад, ГІС «Карта 2011», ArcView та ін. Основне застосування таких програм – відображення результатів оброблення знімків з метою створення достовірних картографічних матеріалів і просторовий аналіз отриманих даних.

Просторовий аналіз за допомогою різноманітних алгоритмів і функцій забезпечує аналіз місцеположення об'єктів і просторових зв'язків між ними, що включає побудування зон видимості та зон перетину, аналіз сіток, створення матричних карт та ін.

Базові функції просторового аналізу розділяють на такі групи:

- операції вимірювання (довжини прямих і кривих між заданими точками, площ і периметрів, відстаней);
- просторові відношення об'єктів (перетин, включення, сусідство, вміст, примикання);
- булеві операції з об'єктами (об'єднання, перетин, різниця);
- побудова буферних зон (навколо точкових, лінійних і площинних об'єктів);

– аналіз сіток (пошук найкоротшої відстані між двома точками за заданою умовою, вибір оптимального маршруту, розподілення ресурсів, пошук найближчого сусіда);

– аналіз поверхонь (обчислення кутів нахилу, побудова ізоліній і профілей, інтерполяція висот, визначення меж зон видимості, обчислення обсягу земляних робіт, оконтурювання знайдених зон, генерація трьохвимірних карт та ін.);

– аналіз просторового розподілення об'єктів (пошук зв'язків, визначення порядку, розстановка, концентрація);

– тематичне картографування.

Тематична картографія є потужним засобом аналізу даних для найбільш наочного їх подання. При цьому формуються відношення між табличними даними і картографічними об'єктами. На тематичних картах об'єкти виділяють графічними засобами, які змінюються залежно від значень характеристик, які аналізуються. До графічних належать засоби розмальовування, штриховки, символи, графіки і діаграми.

При вирішенні задач дослідження динаміки просторових процесів важливою складовою є ведення баз даних, які підключаються до ГІС-проекту. Важливою умовою при цьому є можливість застосування табличних даних у різних форматах.

Для проведення моніторингу стану морських акваторій в бази даних необхідно включати таку інформацію:

– перелік наземних станцій досліджень стану водних об'єктів і характеристик, що ними реєструються;

– перелік портів і наведення характеристик їх навантаження у різні сезони;

– основні місця нафтового забруднення з реєстрацією дат і радіусу кожної аварії;

– основні місця річкового стоку із зазначенням промислових об'єктів, які на них впливають;

– основні місця берегового стоку із позначенням основних хімічних речовин, що потрапляють в акваторії;

– реєстрація періодів і площин «цвітіння» у данному регіоні;

– архів погодних умов території вздовж берегової полоси й температури моря;

– перелік основних факторів техногенного навантаження морських акваторій із зазначенням їх локалізації, радіусу дії, характеристик і періодів загроз.

Таким чином, синтезоване застосування спеціалізованих програм дозволяє створити ефективну систему моніторингу стану морських акваторій. Це дозволить не тільки вести реєстр, а й оперативно реагувати на дієві фактори. У випадках надзвичайних ситуацій така система моніторингу дозволяє оперативно одержати повну картину реального стану морських об'єктів.



## **2 СТВОРЕННЯ АРХІВУ КОСМІЧНИХ ЗНІМКІВ NOAA АКВАТОРІЇ ЧОРНОГО МОРЯ В ПЕРІОДИ МАКСИМАЛЬНОЇ ІНФОРМАТИВНОСТІ ДАНИХ ДЗЗ ВІДНОСНО ВИЗНАЧЕНИХ ДЕШИФРУВАЛЬНИХ ОЗНАК ЗАБРУДНЕНЬ ( за 2011, 2012 рр., ПЕРШЕ ПІВРІЧЧЯ 2013 р.)**

### **2.1 Склад апаратних і програмних засобів отримання, попереднього оброблення космічних знімків NOAA та їх архівації**

Апаратно-програмний комплекс одержання та попереднього оброблення космічних знімків NOAA забезпечує виконання таких завдань:

- прийом у реальному режимі часу і запис на дискові накопичувачі інформації з полярно-орбітальних супутників серії NOAA;
- попереднє оброблення результатів з метою визначення періодів максимальної інформативності даних ДЗЗ;
- ведення довготривалого архіву знімків із супутників серії NOAA, а також його використання для визначення дешифрувальних ознак забруднення природних екосистем (атмосфери, ґрунтів, водних об'єктів).

Джерелом отримання космічних знімків є метеорологічні супутники серії NOAA. На липень 2013 р. працювали три супутника NOAA у режимі HRPT:

- NOAA 16 – робоча частота  $f = 1702,5$  МГц (після перетворення  $f = 137,62$  МГц);
- NOAA 18 – робоча частота  $f = 1707,0$  МГц (після перетворення  $f = 137,9125$  МГц);
- NOAA 19 – робоча частота  $f = 1698,0$  МГц (після перетворення  $f = 137,1$  МГц).

Обладнання супутників NOAA дозволяє отримувати зображення по п'яти спектральних каналах (1-й канал: 0,58 – 0,68 мкм; 2-й канал: 0,725 – 1,10 мкм; 3-й А канал: 1,58 – 1,64 мкм; 3-й В канал: 3,55 – 3,93 мкм; 4-й канал: 10,3 – 11,3 мкм і 5-й канал: 11,5 – 12,5 мкм) з достатньо широкою смуги огляду (2800 км) [36, 37]. Просторове розрізнення, що дорівнює 1,1 км, дозволяє з високою якістю вирішувати задачі моніторингу атмосфери і погодних явищ.

Прийом інформації з супутників NOAA здійснюється за допомогою станції прийому космічних знімків, яку встановлено в Національному аерокосмічному університеті ім. М. Є. Жуковського «ХАІ» (м. Харків).

До складу станції входять: однодзеркальна параболічна антена у вигляді тарілки спектрального каналу з робочою частотою 1700 МГц; поворотний пристрій G-5500 з дистанційним керуванням; понижуючий

перетворювач (з 1700 МГц до 137 МГц); приймач HRPT 137; генератор (декодер) RIG-65; персональний комп'ютер (ПЕВМ) з двома моніторами; спеціальне програмне забезпечення.

Станція прийому космічних знімків з супутників NOAA працює таким чином: параболічна антена настроюється (наводиться за азимутом і кутом місця) на діючий супутник NOAA, який знаходиться в певний момент часу в зоні радіовидимості станції прийому. Направлення антени на супутник здійснюється за допомогою поворотного пристрою G-5500 з дистанційним керуванням. Для визначення діючого супутника NOAA необхідно мати спеціальне програмне забезпечення, яке розміщується на ПЕВМ. Прийнятий від супутника сигнал надходить на конвертер, який знаходиться у фокусі антени, де він попередньо підсилюється, тому що потужність прийнятого сигналу є малою і дорівнює близько 4 Вт. Потім сигнал надходить на вхід понижуючого перетворювача, в якому частота прийнятого сигналу знижується з 1700 до 137 МГц. У приймачі HRPT-137 здійснюється підсилення і перетворення радіосигналу у звукові тони, які являють собою аналогові величини напруг. Генератор RIG-65 перетворює звукові тони в цифрові дані, які можна обробляти у ПЕВМ, тобто генератор виконує функції декодера і аналого-цифрового перетворювача даних. Далі за допомогою спеціального програмного забезпечення цифрове зображення записується на жорсткий диск ПЕВМ для подальшого аналізу і оброблення.

Програмне забезпечення прийому початкової інформації та підготовки її до візуалізації містить дві спеціалізовані програми:

1. Програма **WXtrack** призначена для розрахунку розкладу проходження супутників через зону видимості станції за допомогою орбітальних елементів супутників з подальшим оновленням через Internet. Крім того, програма забезпечує контроль характеристик діючих супутників.

2. Програма **WSat** призначена для запису інформації з супутників NOAA у форматах **HRPT**, **HRI**, **Raw** з подальшим збереженням її у файлі типу \*.dat, а також для попереднього перегляду записаних зображень. Необхідно зазначити, що програму **WSat** доцільно використовувати для оцінювання якості записаного зображення, а також для вибору найбільш інформативного знімка для проведення подальшого аналізу.

Програмне забезпечення попереднього оброблення та візуалізації подання результатів містить одну спеціалізовану програму.

Програма **HRPT Reader** призначена для завантаження знімків (файлів типу \*.dat) із супутників NOAA з подальшим їх аналізом і

попереднім обробленням. Під час аналізу отриманих знімків програма **HRPT Reader** надає більші можливості для вирішення тематичних задач. За результатами оброблення знімків з супутників NOAA за допомогою програми **HRPT Reader** можна визначати періоди максимальної інформативності даних ДЗЗ.

На виході апаратно-програмного комплексу користувач отримує первинні дані з супутника NOAA. Потік даних записано так, як він формується радіометром на борту супутника (файл формату .dat).

На основі первинних даних формують архів космічних зображень із супутника NOAA та готують тематичну інформацію для наукових досліджень на основі даних приладу AVHRR.

## **2.2 Технологія архівації знімків із супутників NOAA**

При створенні електронного архіву даних із супутників NOAA важливо вже на етапі проектування архіву забезпечити його адекватну структурування, необхідну для ефективного вибору даних з цього архіву. Структурування електронного архіву проводять, виходячи з уявлень про склад типових запитів архівних даних. Досвід експлуатації архівів космічної інформації свідчить про те, що користувачі, як правило, запрошують рівень подання даних, назву супутника, з якого отримані дані, та інформативність знімків, які включені до архіву. Тому при створенні архіву даних з супутників NOAA необхідно розділити на сегменти (розділи), відповідні різним рівням подання (оброблення) даних, а в кожному з таких розділів виділити підрозділи, які містять набори даних, що належать конкретному супутнику, а також його інформативність.

Ефективне використання інформаційних ресурсів і відкритий доступ до просторово-розподілених даних з супутників базуються на застосуванні інформаційного сервісу глобальних мереж INTERNET, тобто Web-технологій. З цією метою розробляються системи поводження зі структурами метаданих, які забезпечують збір і розподіл даних і результатів тематичного оброблення. При цьому архів можна об'єднувати у регіональних центрах моніторингу за допомогою глобальної мережі INTERNET. Важливим елементом є розроблення структури інтерфейсу, архівації і сітьового обміну даними з супутників NOAA. Це потребує розвитку пошукових систем і реалізації віддаленого інтерактивного доступу зовнішніх користувачів мережею INTERNET до даних та електронних каталогів оброблення, надання користувачам можливості інтерактивного доступу до них у режимі on-line.

З використанням станції прийому космічних знімків виконавця певної НДР створено і постійно актуалізується архів космічних знімків NOAA Чорного моря в умовах безхмарності протягом 2011, 2012 рр. і першого півріччя 2013 р.

Під час отримання зображень з супутників NOAA записані дані (файли у форматі .dat) поповнюють архів супутникових зображень NOAA. Інформація зберігається в окремих папках з позначкою доби, місяця і року одержання зображення, наприклад, 05.10.2012. Архів космічних знімків зберігається в Національному аерокосмічному університеті ім. М. Є. Жуковського «ХАІ».

За заявками зацікавлених замовників, які треба надсилати за адресою g-kasovskiy@mail.ru, вибірккові зображення за 2011, 2012 рр. і перше півріччя 2013 р. можуть бути надані на DVD-дисках або надіслані на відповідну електронну скриньку. Також за заявкою замовника можуть бути підготовлені і надані зменшені зображення супутникових знімків, які є в архіві, у форматі .jpeg: для оптичних діапазонів – 1-й і 2-й канали (рисунки 2.1 і 2.2); для ближнього теплого ІЧ-діапазону – 3-й канал (рисунок 2.3); для теплових ІЧ-діапазонів – 4-й і 5-й канали (рисунки 2.4 і 2.5); для синтезованих зображень RGB – 1, 2, 5-й канали (рисунок 2.6).

За допомогою даних архіву космічних знімків можна проводити аналіз періодів максимальної інформативності даних ДЗЗ щодо визначення дешифрувальних ознак забруднень морських акваторій.

Кількість хмар характеризують ступенем покриття хмарами тієї чи іншої ділянки поверхні моря та визначають відношенням у відсотках площі, зайнятої хмарними елементами у середині контуру, до всієї площі, обмеженої контуром [38]. Розрізняють чотири градації:

– ясно, хмари повністю відсутні або ними вкрито менше 20 % виділеного контуру (рисунок 2.7);

– невелика хмарність, хмарами покрито від 20 до 50 % виділеного контуру (рис. 2.8);

– значна хмарність, хмарами покрито від 50 до 80 % виділеного контуру (рисунок 2.9);

– суцільна хмарність, хмарами покрито більше 80 % площі, обмеженої контуром (рисунок 2.10).

Аналіз зображень на рисунках 2.7 – 2.10 свідчить про те, що візуально визначити відсоток площі, яка зайнята хмарними елементами у середині контуру, можна тільки приблизно. Для точного встановлення відсотка хмарності необхідно скористатися програмними засобами визначення площ з характерними ознаками.



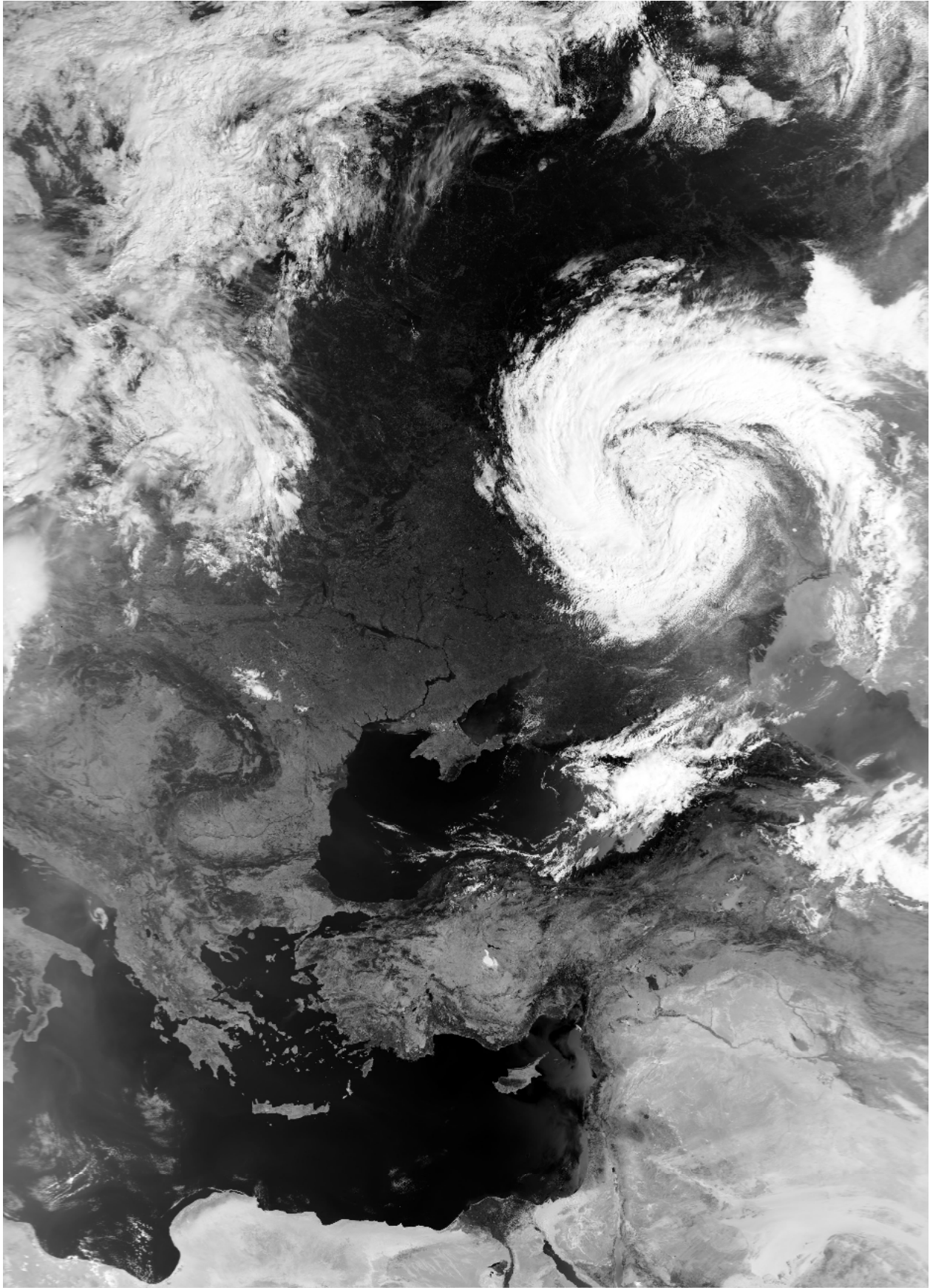


Рисунок 2.1 – Приклад зменшеного зображення супутникового знімка з NOAA-16 від 22.08.2012, 1-й оптичний канал

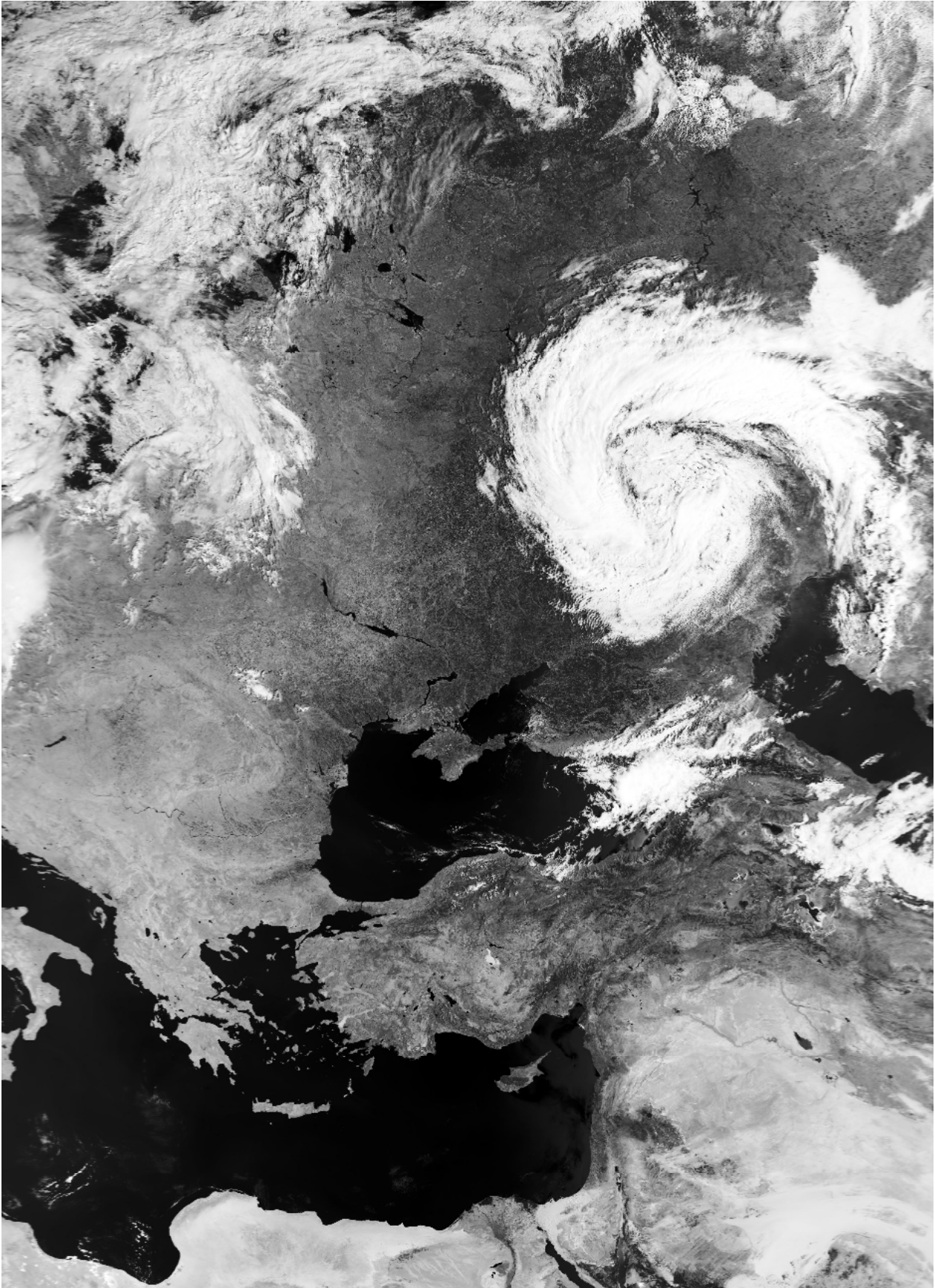


Рисунок 2.2 – Приклад зменшеного зображення супутникового знімка з NOAA-16 від 22.08.2012, 2-й оптичний канал

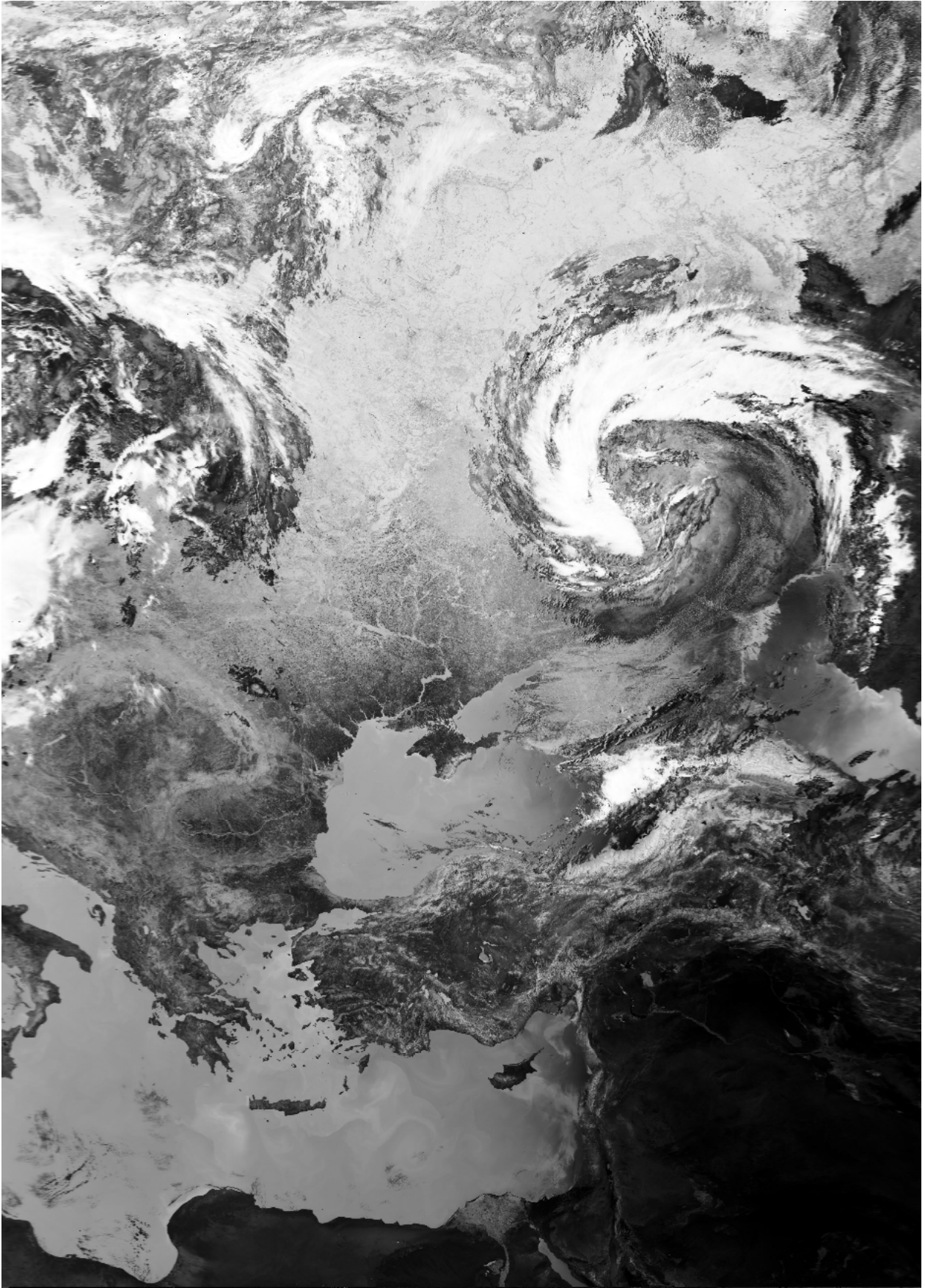


Рисунок 2.3 – Приклад зменшеного зображення супутникового знімка з NOAA-16 від 22.08.2012, 3-й ближній ІЧ-канал



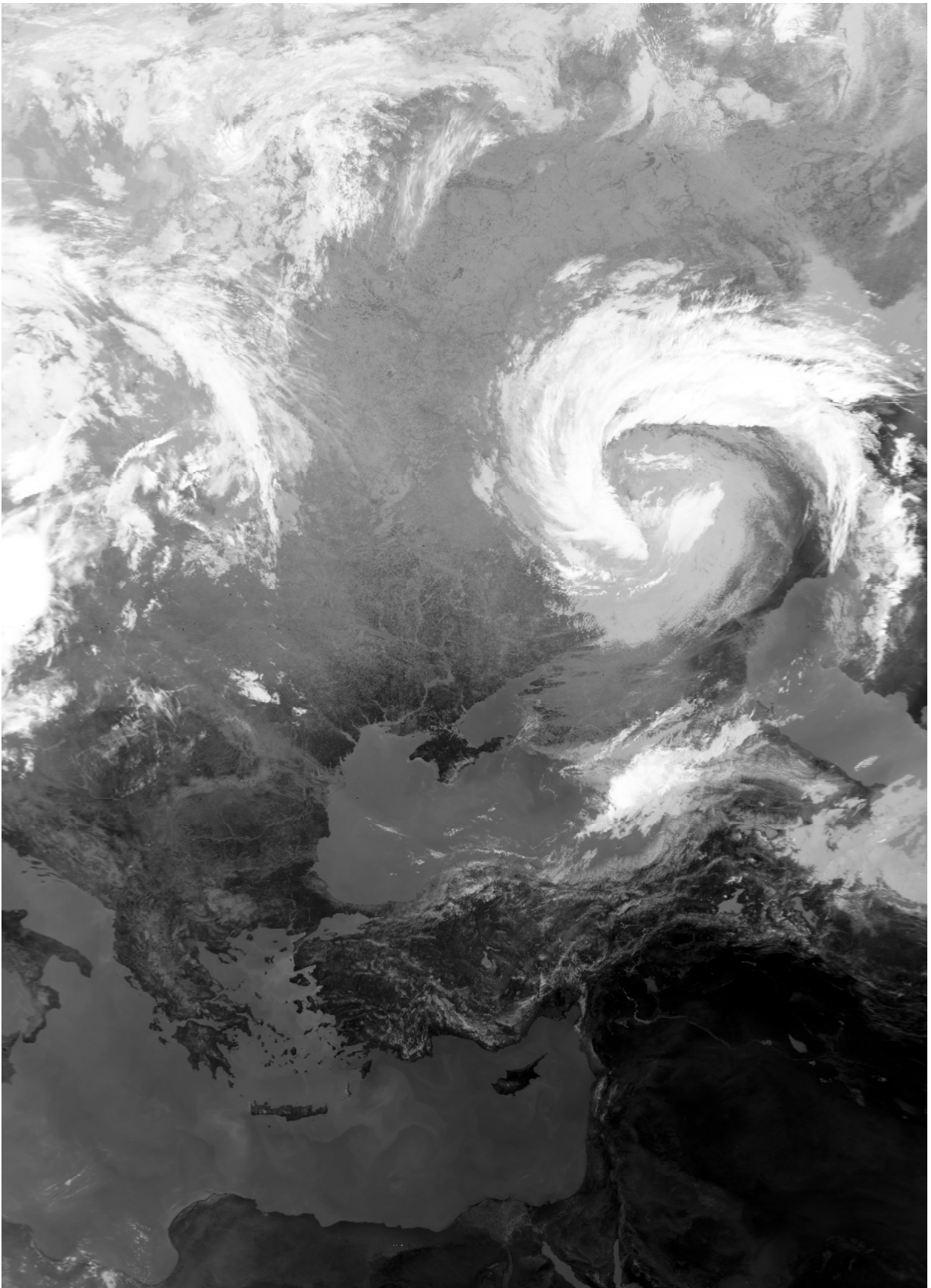


Рисунок 2.4 – Приклад зменшеного зображення супутникового знімка з NOAA-16 від 22.08.2012, 4-й ІЧ-канал

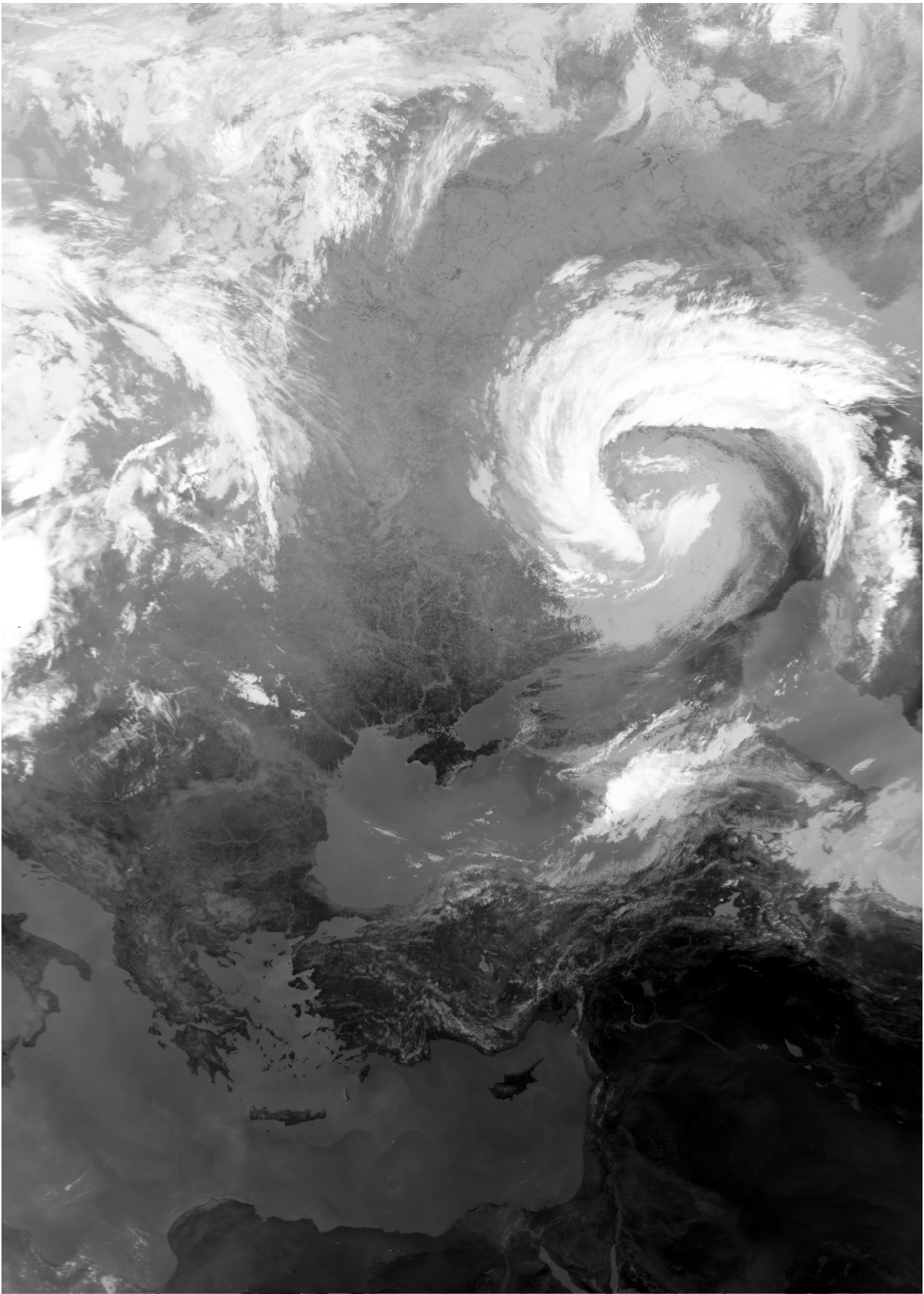


Рисунок 2.5 – Приклад зменшеного зображення супутникового знімка з NOAA-16 від 22.08.2012, 5-й ІЧ-канал



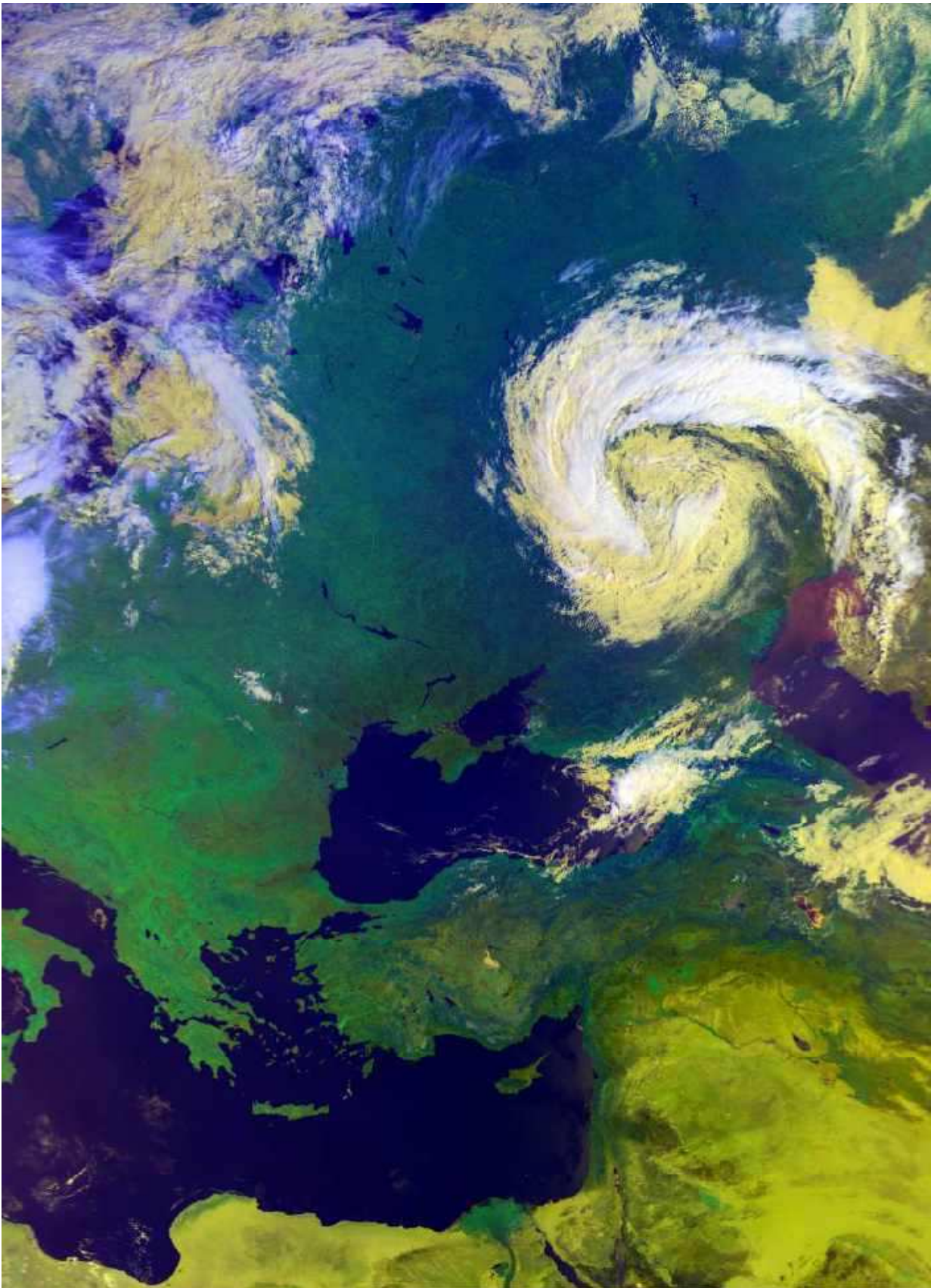


Рисунок 2.6 – Приклад зменшеного зображення супутникового знімка з NOAA-16 від 22.08.2012, синтезоване RGB-зображення, 1, 2, 5-й канали



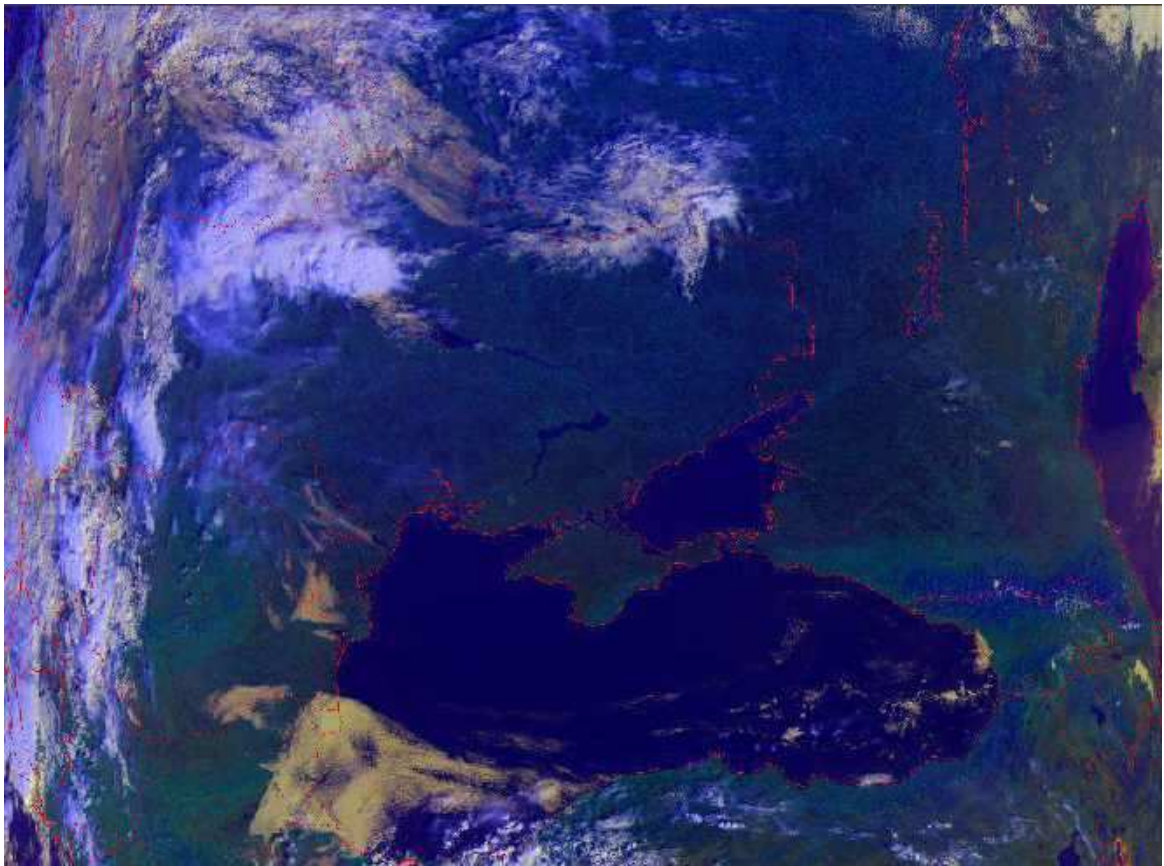


Рисунок 2.7 – Ясно над територією України 2.10.2012 р.

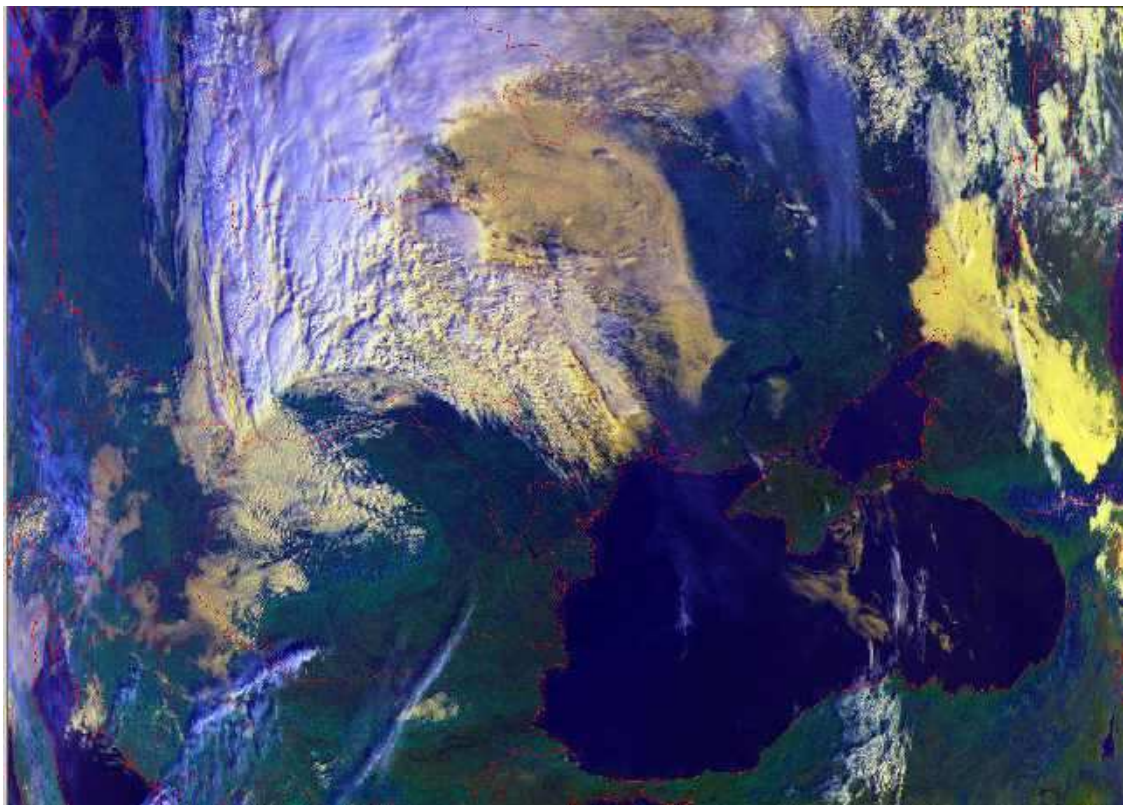


Рисунок 2.8 – Невелика хмарність над територією України 17.10.2012 р.



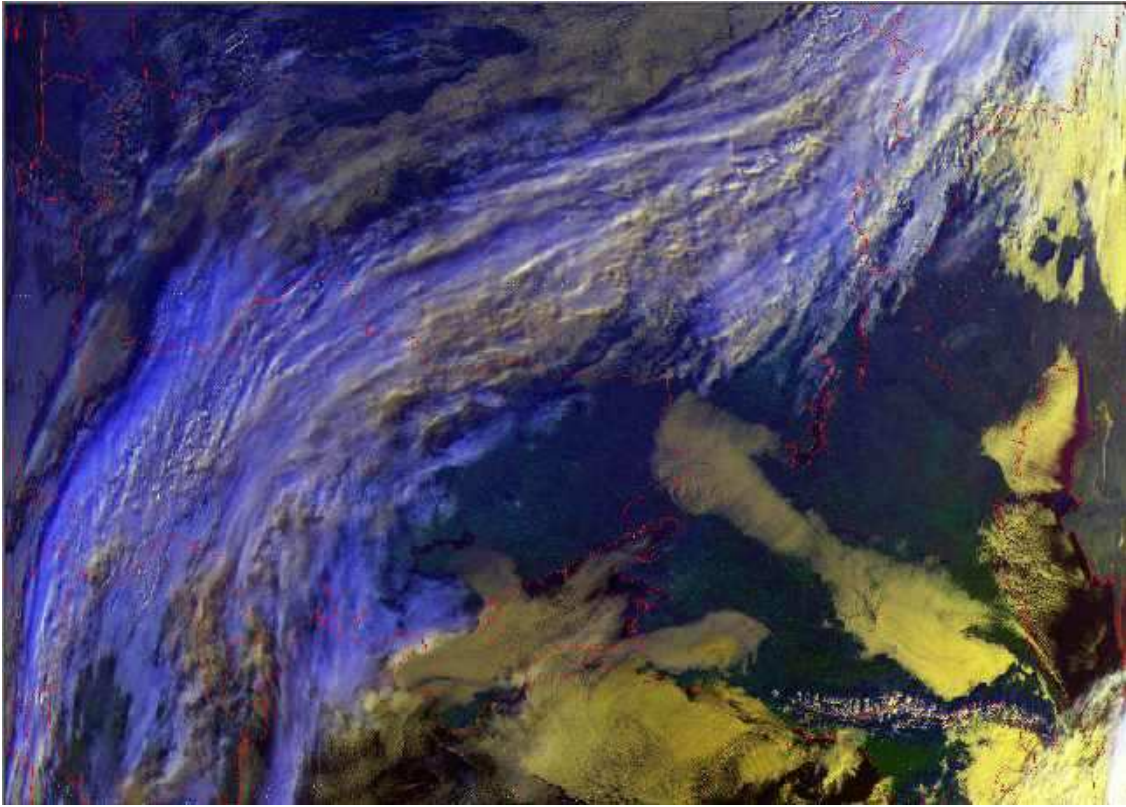


Рисунок 2.9 – Значна хмарність над територією України 13.10.2012 р.

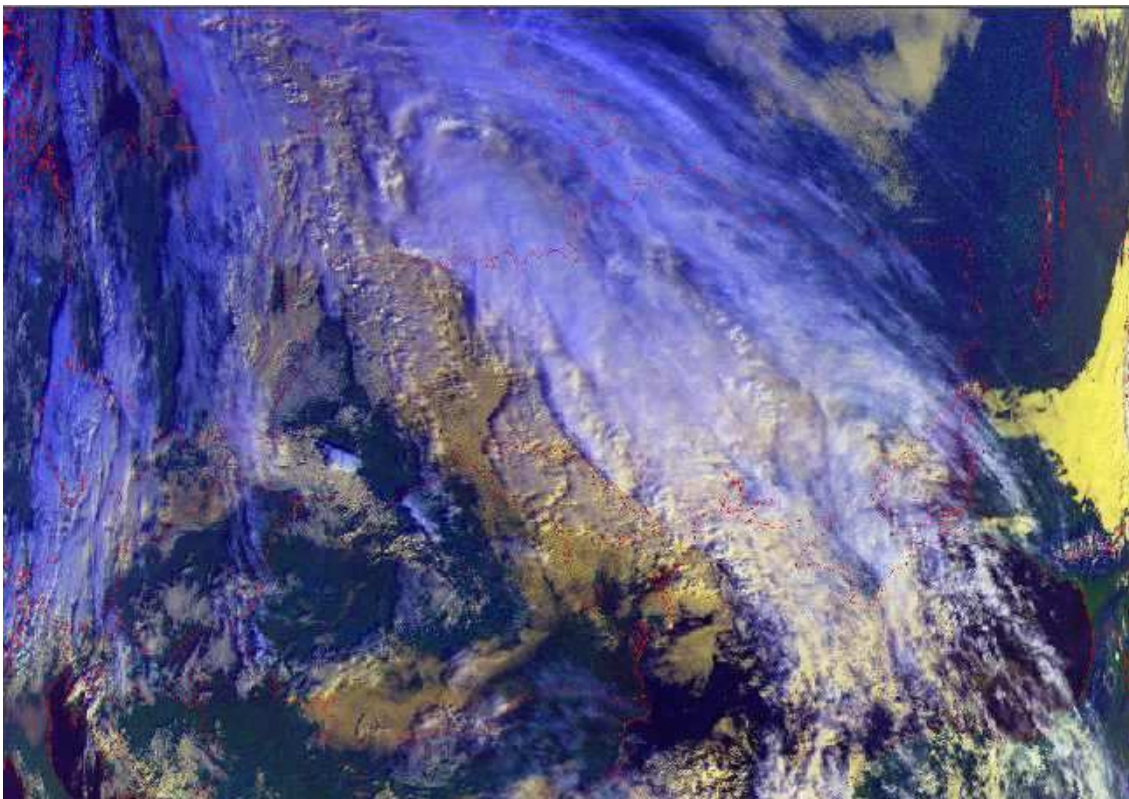


Рисунок 2.10 – Суцільна хмарність над територією України  
1.11.2012 р.

## ВИСНОВКИ

Дані з метеорологічних супутників дозволяють виконувати глобальний моніторинг навколишнього середовища. Дані з полярно-орбітальних супутників NOAA використовують для довгострокових прогнозів погоди, моніторингу атмосфери і погодних явищ, моніторингу навколишнього середовища.

Супутникова система NOAA містить космічну компоненту і систему управління та прийому інформації. Особливістю системи отримання знімків є те, що вони можуть прийматися як спеціалізованими станціями прийому, так і саморобними приймачами. Крім того, знімки з супутників NOAA поширюються безкоштовно у мережі INTERNET.

Для вирішення задач моніторингу навколишнього середовища в Національному аерокосмічному університеті ім. М. Є. Жуковського «ХАІ» (м. Харків) встановлено станцію прийому космічних знімків з супутників NOAA, яка містить односторонню параболічну антену у вигляді тарілки, поворотний пристрій G-5500 з дистанційним керуванням; понижуючий перетворювач, приймач HRPT-137; генератор (декодер) RIG-65 і персональний комп'ютер зі спеціальним програмним забезпеченням.

У посібнику розглянуто технологію отримання космічних знімків із супутників NOAA. Описано склад, призначення та функціонування окремих пристроїв станції прийому, а також інтерфейс і склад спеціальних програм, що використовуються оператором під час роботи. Програма WXtrack дозволяє розраховувати розклад проходження супутників через зону радіовидимості станції та забезпечує контроль характеристик діючих супутників. Програма WSat дозволяє записувати інформацію з супутників NOAA у форматі HRPT і забезпечує збереження космічного знімку у файлі типу \*.dat, а також дає можливість попередньо переглянути записане зображення для оцінювання його якості. Програма HRPT Reader дозволяє проводити попереднє оброблення знімків із метеосупутників та аналізувати інформацію, яка на них відображається.

У посібнику описано основи організації каталогізації даних ДЗЗ та організаційну структуру метаданих, наведено довідкову інформацію про доступ зацікавлених користувачів до архіву знімків NOAA.

## Бібліографічний список

1. Исследования Мирового океана средствами дистанционного зондирования [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://www.geogr.msu.ru/science/aero/acentor/int\\_sem7/temp.r.htm](http://www.geogr.msu.ru/science/aero/acentor/int_sem7/temp.r.htm).
2. Морские течения, динамика водных масс [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://www.geogr.msu.ru/science/aero/acentor/int\\_sem7](http://www.geogr.msu.ru/science/aero/acentor/int_sem7).
3. Южный научно-исследовательский институт морского рыбного хозяйства и океанографии "ЮгНИРО" [Электронный ресурс] // Официальный сайт. – Режим доступа: <http://www.rada.com.ua/rus/catalog/9951/>.
4. Інститут біології південних морів ім. О. О. Ковалевського НАН України [Електронний ресурс] // Офіційний сайт. – Режим доступу: <http://ibss.nas.gov.ua/>.
5. Одеський філіал Інституту біології південних морів ім. О. О. Ковалевського НАН України [Електронний ресурс] // Офіційний сайт. – Режим доступу: <http://www.obibss.narod.ru/>.
6. Морський гідрофізичний інститут НАН України [Електронний ресурс] // Офіційний сайт – Режим доступу: <http://www.mhi.iuf.net/>.
7. Официальный сайт Государственного океанариума Украины [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.oceanarium.iuf.net>.
8. Бондур, В. Г. Комплексный космический мониторинг прибрежных акваторий [Текст] / В. Г. Бондур. – М.: Науч. центр проблем аэрокосм. мониторинга «АЭРОКОСМОС», 2005. – 12 с.
9. Бондур, В. Г. Проблемы аэрокосмического мониторинга океана [Текст] / В. Г. Бондур // Исследования в области океанологии, физики атмосферы, географии, экологии, водных проблем и геокриологии / под ред. Ю. А. Израэля. – М.:РАН, 2001. – С. 87 – 94.
10. Petrenko, O. A. Impact of dredged grounds dumping on changes in composition of sea water taken from their main burial places [Text] / O. A. Petrenko // International simposium "The Black Sea ecological problems". – Odessa:SCSEIO, 2000. – P. 208 – 211.
11. Красовский, Г. Я. Введение в методы космического мониторинга окружающей среды [Текст] / Г. Я. Красовский, В. А. Петросов. – Х.: Гос. аэрокосм. ун-т им. Н. Е. Жуковского «ХАИ», 1999. – 205 с.
12. Красовский, Г. Я. Аэрокосмический мониторинг поверхностных вод [Текст] / Г. Я. Красовский. – Л.:ВНИИКАМ, 1992. – 231 с.
13. Красовский, Г. Я. Вероятностные модели оценок качества поверхностных вод по данным многозональных космических съемок. Моделирование и контроль качества вод [Текст] / Г. Я. Красовский // Сб. науч. тр. – Х.:ВНИИВО, 1988. – С. 53 – 60.
14. Оценка параметров нефтяной пленки на морской поверхности методом многочастотного радиолокационного зондирования [Текст] / Боев А. Г., Карвицкий Г. Э., Матвеев А. Я., Цымбал В. Н. // Радиофизика и радиоастрономия. – 1998. – Т.3. – № 1. – С. 43 – 48.

15. Заволокин, Ю. В. Применение искусственных объектов при эталонировании данных дистанционной индикации качества природных вод [Текст] / Ю. В. Заволокин, В. А. Крикульков, С. М. Сажин // Тр. ГосНИЦИПР. – 1984. – Вып. 17. – С. 71 – 74.

16. Крикульков, В. А. Вопросы методики интерпретации многозональных космических данных для контроля физико-химического состава поверхностных вод суши [Текст] / В. А. Крикульков, С. М. Сажин // Метеорология и гидрология. – 1982. – № 8. – С.47–53.

17. Шевченко, Ю. А. Спектрометрические исследования водной поверхности в целях космического мониторинга поверхностных вод суши [Текст] / Ю. А. Шевченко, Л. А. Шляхова // Неконтактные методы измерения океанографических параметров. – М., 1983. – С. 112 – 116.

18. Применение многозональной аэрокосмической съемки в исследованиях береговой зоны [Текст] / Ю. Ф. Книжников, В. И. Кравцова, И. А. Лабутина и др. // Береговая зона моря: сб. ст. – М.:Наука, 1981. – С. 136 – 142.

19. Ощепков, С. Л. Дистанционный контроль содержания взвешенных веществ в олиготрофных и эвтрофных водоемах по коэффициенту спектральной яркости [Текст] / С. Л. Ощепков, Л. А. Шляхова // Исследование Земли из космоса. – 1986. – № 2. – С. 77 – 83.

20. Sydor, M. Analysis of suspended solids in lakes using Landsat multispectral data [Text] / M. Sydor // Remote Sensing Appl. Marine Sci. and Technol. – 1983. – P. 137 – 167.

21. Sydor, M. Remote sensing of particulate concentration in water [Text] / M. Sydor // Appl. Opt. – 1980. – V.19. – № 16. – P. 2774 – 2780.

22. Kranuvachapun, S. Turbidity of coastal Metermined from Landsat [Text] / S. Kranuvachapun, P. H. Le Blond // Remote Sens. Environ. – 1981. – V.11. – P. 113 – 132.

23. Havis, W. A. Remote sensing of ocean color [Text] / W. A. Havis, K. S. Leung // Opt. land. – 1977. – V.16. – № 2. – P. 158 – 166.

24. Sturm, B. Selected topics of Coastal Zone Color Scanner (CZCS) data evaluation [Text] / B. Sturm // Remote Sensing Appl. Marine Sci. and Technol. – 1983. – P. 137 – 167.

25. Violler, M. CZCS Data analysis in Turbid coastal water [Text] / M. Violler, B. Sturm // J. Geophys.R es. – 1984. – № 4. – P. 4977 – 4985.

26. Кравец, В. Н. Состояние загрязнения вод Севастопольской бухты и Южного берега Крыма в 1992-1996 гг. [Текст] / В. Н. Кравец, Т. Л. Моница // Диагноз состояния экосистемы Черного моря и зоны сопряжения моря и суши // Сб. науч. тр. – Севастополь, 1997. – С. 55 – 56.

27. Автоматизация контроля качества природных и сточных вод [Текст] / Богомазов О. А., Кобылянский В. Я., Панасенко А. А., Шавлов А. Т. – Екатеринбург:ИПП “Урал. рабочий”, 1997. – 238 с.



28. Szekiella, K. H. The near coastal environment monitored from Space [Text] / K. H. Szekiella // Gas. Kernenergilvernet. Schiffahrt (Publ.). – 1977. – V.28. – P. 1 – 37.

30. Лозовая, Г. Ф. Экотоксикологические проблемы мониторинга сточных вод фармацевтических производств [Текст] / Г. Ф. Лозовая, Ф. Х. Камиллов. – Уфа: Гилем, 1996. – 269 с.

31. Бондур, В. Г. Дистанционная индикация антропогенных воздействий на морскую среду, вызванных заглубленными стоками: моделирование, эксперименты [Текст] / В. Г. Бондур, Ю. В. Гребенюк // Исследование Земли из космоса. – 2001. – № 6. – С. 49 – 67.

32. Гидрометеорология и гидрохимия морей [Текст] / под ред. А. И. Симонова, А. И. Рябина. – Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 1996. – Т.4: Черное море. – Вып. 3: Современное состояние загрязнения вод Черного моря. – 230 с.

33. Попов, А. В. О распознавании объектов дистанционного зондирования при неполных априорных данных [Текст] / А. В. Попов, П. Е. Ельцов // Радіоелектронні і комп'ютерні системи. – 2004. – № 2. – С. 22 – 28.

34. Фукунага, К. Введение в статистическую теорию распознавания образов [Текст] / К. Фукунага – М.:Наука, 1979. – 368 с.

35. Брашеван, А. Н. Статистическая модель многомодовых экспериментальных данных [Текст] / А. Н. Брашеван // Радиоэлектронные и компьютерные системы. – 2003. – № 2. – С. 82 – 85.

36. Спутники серии NOAA (AVHRR) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://marexpert.com.ua/>.

37. Спутниковая система NOAA [Электронный ресурс] – Режим доступа: [http://planet.iitp.ru/spacecraft/noaa\\_rus.htm](http://planet.iitp.ru/spacecraft/noaa_rus.htm).

38. Калінін, Н. А. Космічні методи досліджень в метеорології / Н. А. Калінін, Н. І. Толмачова. – Перм, 2005. – 348 с.

## ЗМІСТ

<b>1 Моделі ідентифікації характеристик морських акваторій за космічними знімками NOAA.....</b>	<b>3</b>
1.1 Оцінювання температури водної поверхні .....	3
1.2 Ідентифікація морських течій .....	9
1.3 Моніторинг фронтів і фронтальних зон .....	10
1.4 Дослідження вихорів і вихрових структур .....	14
1.5. Дослідження апвелінгу.....	17
1.6. Моніторинг стану морських акваторій .....	20
<b>2 Створення архіву космічних знімків NOAA акваторії Чорного моря в періоди максимальної інформативності даних ДЗЗ відносно визначених дешифрувальних ознак забруднень ( за 2011, 2012 рр., перше півріччя 2013 р.).....</b>	<b>28</b>
2.1 Склад апаратних і програмних засобів отримання, попереднього оброблення космічних знімків NOAA та їх архівації.....	28
2.2 Технологія архівації знімків із супутників NOAA.....	30
<b>ВИСНОВКИ .....</b>	<b>40</b>
<b>Бібліографічний список .....</b>	<b>41</b>

Навчальне видання

Красовська Інеса Григорівна,  
Пащенко Руслан Едуардович,  
Слободян Віра Олександрівна

РОЗРОБЛЕННЯ МОДЕЛЕЙ ІДЕНТИФІКАЦІЇ ЗАБРУДНЕНЬ МОРСЬКИХ  
АКВАТОРІЙ ЗА КОСМІЧНИМИ ЗНІМКАМИ І ФОРМУВАННЯ  
СПЕЦІАЛІЗОВАНОГО ФОНДУ ЩОДЕННИХ ЗНІМКІВ NOAA

Редактор В. М. Коваль

Зв. план, 2014

Підписано до видання 24.10.2014.

Ум. друк. арк. 2,5. Обл.-вид. арк. 2,81. Електронний ресурс

---

Видавець і виготовлювач

Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського  
«Харківський авіаційний інститут»  
61070, Харків-70, вул. Чкалова, 17  
<http://www.khai.edu>

Видавничий центр «ХАІ»  
61070, Харків-70, вул. Чкалова, 17  
[Izdat@khai.edu](mailto:Izdat@khai.edu)

Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи  
до Державного реєстру видавців, виготовлювачів і розповсюджувачів  
видавничої продукції сер. ДК № 391 від 30.03.2001