

УДК 504.45.058; 504.4.054; 504.064

КП 87.19.03

№ держреєстрації 0122U201787

Інв. №

МІНІСТЕРСТВО ЗАХИСТУ ДОВКІЛЛЯ ТА ПРИРОДНИХ РЕСУРСІВ УКРАЇНИ
НДУ “УКРАЇНСЬКИЙ НАУКОВИЙ ЦЕНТР ЕКОЛОГІЇ МОРЯ” (УКРНЦЕМ)
65009, м. Одеса, Французький бульвар, 89. тел. (0482) 63 66 22, факс (0482) 637322
e-mail: accem@te.net.ua, www.sea.gov.ua

ЗАТВЕРДЖУЮ

Виконуючий обов'язки директора
УкрНЦЕМ, заступник директора з науки,
канд. геогр. наук, старш. наук. співроб.

Віктор КОМОРИН

2023 року



ЗВІТ

ПРО НАУКОВО-ДОСЛІДНУ РОБОТУ

Оцінка та діагноз стану морського середовища України в межах виключної морської економічної зони та уточнення критеріїв оцінки доброго екологічного стану морських регіонів у 2022 р.

ОЦІНКА ЗАБРУДНЕННЯ МОРСЬКИХ ЕКОСИСТЕМ ТОКСИЧНИМИ РЕЧОВИНАМИ ЗА ДЕСКРИПТОРАМИ РДМС, НАДАННЯ УТОЧНЕНИХ КРИТЕРІЇВ ОЦІНКИ ДЕС ТА ВИЗНАЧЕННЯ СТАТУСУ ЕКОЛОГІЧНОГО СТАНУ МОРСЬКИХ ВОДНИХ МАСИВІВ ВІДПОВІДНОСТІ ДЕС З ВИЗНАЧЕННЯМ ЇХ ТЕНДЕНЦІЇ

Том 3

Науковий керівник НДР
Виконуючий обов'язки директора УкрНЦЕМ,
заступник директора з науки, к.геогр.н., с.н.с.

В.М. Коморін

Начальник відділу аналізу морських екосистем
та антропогенного навантаження (ВАМЕ та АН)
– начальник морського інформаційно-
аналітичного центру (МІАЦ), к.геогр.н.

В.В. Український

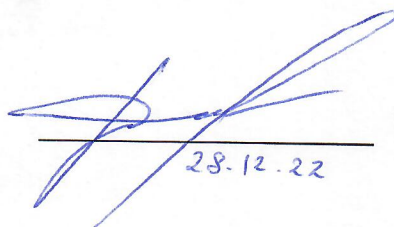
2022

Рукопис закінчено 28 грудня 2022 р.

Результати роботи розглянуто Вченою Радою УкрНЦЕМ,
протокол № 1 від 19 січня 2023 р.

СПИСОК АВТОРІВ

Відповідальний виконавець,
начальник відділу аналітичних
досліджень та організації
моніторингу (ВАД та ОМ)

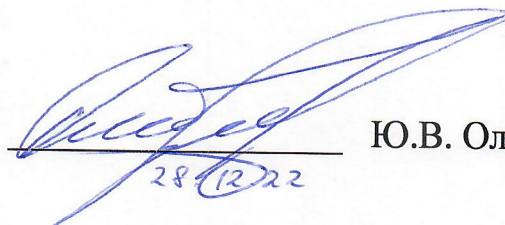


Ю.М. Деньга

28.12.22

Виконавці:

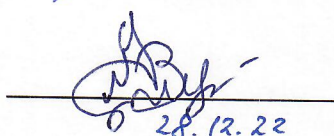
Завідуючий лабораторією хіміко-
аналітичних досліджень
ВАД та ОМ



Ю.В. Олейнік

28.12.22

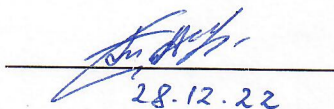
Начальник відділу управління
екологічними даними (ВУЕД)
Морського інформаційно-
аналітичного центру



О.В. М'яснікова

28.12.22

В.о. начальника відділу аналізу
морських екосистем та
антропогенного навантаження-
начальника Морського
інформаційно-
аналітичного центру



А.С. Тітяпкин

28.12.22

РЕФЕРАТ

Звіт про науково-дослідну роботу: 46 с., 24 рис., 10 табл.

ЧОРНЕ МОРЕ, ВИКЛЮЧНА ЕКОНОМІЧНА ЗОНА УКРАЇНИ,
ЗАБРУДНЮЮЧІ РЕЧОВИНИ, ЗАБРУДНЕНІСТЬ МОРЕПРОДУКТІВ,
ПОКАЗНИКИ ДОБРОГО ЕКОЛОГІЧНОГО СТАНУ.

Об'єкт дослідження – морські води і екосистема Чорного моря.

Мета НДР – оцінка екологічного стану морського середовища Чорного моря в межах виключної морської економічної зони України відповідно до імплементації Директив ЄС (2008/56/ЄС) і (2008/105/ЄС) згідно з Угодою про асоціацію між Україною та Європейським Союзом.

Методи дослідження – в НДР використовувалися традиційні методи аналітичного аналізу, узагальнення даних та статистичного аналізу, на підставі екологічних спостережень виконаних Українським науковим центром екології моря в 2022 році.

Результати дослідження – На підставі аналізу даних досліджень вод Чорного моря була дана оцінка екологічного стану відповідно дескриптору D8, D9 за гранично допустимими концентраціями відповідно директиві ЄС 2013/39/EU (MAC-EQS), у разі відсутності в директиві стандарту якості необхідної речовини, чи сполуки екологічний стан оцінювався за гранично допустимими концентраціями відповідно українського законодавства (ГДК), або екологічних нормативів (ЕН). Поганий статус спостерігається в водному масиві за вмістом органічні забруднюючі речовини сільськогосподарського походження, переважно гептахлору та органічні забруднюючі речовини промислового походження, переважно поліхлорованими біфенілами 101, 153, 138. Загальний екологічний статус району CW 5 «дуже поганого».

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ, УМОВНИХ ПОЗНАК І ТЕРМІНІВ	5
ВСТУП.....	7
1 ОЦІНКА ЕКОЛОГІЧНОГО СТАНУ	9
1.1 Методи та обладнання наукових досліджень	9
1.2 Інструментальний аналіз і кількісна оцінка	11
1.3 Методи проведення оцінки екологічного стану	12
2 ЕКОЛОГІЧНИЙ СТАН МОРСЬКОЇ ВОДИ ЗА ВМІСТОМ ЗАБРУДНЮЮЧИХ РЕЧОВИН.....	15
2.1 Екологічна оцінка стану морської води в районі CW5 за вмістом токсичних металів	17
2.2 Екологічна оцінка стану морської води в районі CW 5 за вмістом органічних забруднювачів сільськогосподарського походження	19
2.3 Екологічна оцінка стану морської води в районі CW 5 за вмістом органічних забруднювачів промислового походження	21
2.4 Оцінка вмісту нафтових вуглеводнів в морській воді в районі CW 5.	24
3. ЕКОЛОГІЧНИЙ СТАН ДОННИХ ВІДКЛАДЕНЬ ПО РАЙОНАМ ЗА ВМІСТОМ ЗАБРУДНЮЮЧИХ РЕЧОВИН	25
4 ЕКОЛОГІЧНИЙ СТАН БІОЛОГІЧНИХ ОБ'ЄКТІВ ЗА ВМІСТОМ ЗАБРУДНЮЮЧИХ РЕЧОВИН	27
ВИСНОВКИ.....	29
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ.....	30
ДОДАТОК А.....	32

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ, УМОВНИХ ПОЗНАК І ТЕРМІНІВ

- ГДК – гранично допустимі концентрації;
- ДДД – діхлордіфенілдіхлоретан;
- ДДЕ – діхлордіфенілдіхлоретілен;
- ДДТ – п,п-діхлордіфенілтрихлоретан;
- ЕН – екологічний норматив;
- Кз – коефіцієнт забруднення;
- ОЗСП – органічні забруднюючі речовини сільськогосподарського походження;
- ОЗПП – органічні забруднюючі речовини промислового походження;
- ПАВ – поліциклічні ароматичні вуглеводні;
- ПХБ – полі хлоровані біфеніли;
- ПЗЧМ – північно західна частина моря;
- ТМ – токсичні метали;
- УкрНЦЕМ – Український науковий центр екології моря;
- ХОП – хлорорганічні пестициди;
- Al – алюміній;
- Ar-1254 – стандартна суміш індивідуальних ПХБ з ПХБ-16 по ПХБ-65;
- Ar-1260 – стандартна суміш індивідуальних ПХБ з ПХБ-28 по ПХБ-73;
- As – миш'як;
- BaA/228 – геохімічний маркер: співвідношення концентрації бензо(а)антрацену до суми концентрацій сполуки з молекулярною масою 228;
- Cd – кадмій;
- Co – кобальт;
- Cr – хром;
- Cu – мідь;
- MAC-EQS – гранично допустимій концентрації екологічного стандарту

якості відповідно директиві ЄС 2013/39/EU (maximum allowable concentration – ecological quality standard);

Fe – залізо;

Hg – ртуть;

WFD – Водно рамкова директива 2000/60/ЄС (Water Framework Directive)

Mn – марганець;

Ni – нікель;

Pb – свинець;

Zn – цинк;

α -HCH – α гексахлорциклогексан;

β -HCH – β гексахлорциклогексан;

Σ ДДТ – сума п,п-діхлордіфенілтрихлоретану та його метаболітів;

Σ Циклодієнових – сума алдріну, ділдріну та ендріну;

Σ HCH – сума ліндану та його ізомерів;

Σ ПАВ – сума концентрацій поліароматичних вуглеводнів;

B(a)P_{eq} – бензо(а)піреновий еквівалент.

ВСТУП

Якість морського середовища змінюється під дією природних-кліматичних, фізико-географічних і антропогенних екологічних факторів, а також мінливості гідрофізичних, гідрохімічних і гідробіологічних процесів, котрі в сукупності обумовлюють стан та функціонування морських екосистем у різних просторово-часових масштабах.

Антропогенні фактори обумовлюються впливом людини на природу і відносяться до факторів прямого впливу на організми та популяції в екологічній системі і непрямого впливу, тобто на середовище існування різних видів організмів. Згідно з визначенням групи експертів ООН, антропогенний (техногенний) вплив на морське середовище являє собою «сукупне прояв будь-яких форм діяльності людини, які призводять до явних або прихованих порушень стану екосистем, гідрології та геоморфології водних об'єктів, зниження рибогосподарської та рекреаційної цінності і інших негативних наслідків екологічного, економічного і соціального характеру».

Антропогенні екологічні фактори, що приводять до порушень функціонування морських екосистем підрозділяють на ряд чинників, із яких одним із головних є забруднення токсичними речовинами.

Визначення доброго екологічного стану (ДЕС) здійснюється на основі даних спостережень екологічного моніторингу морського середовища на підставі Водної рамкової Директиви ЄС 2000/60/ЄС і стандартів якості 2008/105/ЄС та за комплексом з 11 дескрипторів (індикаторів) відповідно до рамкової Директиви морської стратегії 2008/56/ЄС та рішення Європейської комісії 2017/848/ЄС про встановлення критеріїв та методологічних стандартів щодо доброго екологічного стану морських вод і специфікації та стандартизації методів моніторингу та оцінки. Оцінка забруднення токсичними речовинами за гранично допустимими концентраціями здійснюється відповідно директиві ЄС 2013/39/EU (MAC-EQS) та схваленої Кабінетом Міністрів України «Морської

природоохоронної стратегії України» розпорядженням № 1240-р. від 11 жовтня 2021 р. Основною метою досліджень є оцінка та діагноз стану довкілля Чорного моря в межах територіальних вод і виключної морської економічної зони України, визначення стану забруднення середовища морських водних масивів, донних відкладень та морепродуктів, оцінка їх відповідності критеріям ДЕС (Доброму екологічному стану) та порівняння екологічного стану з базовою оцінкою за дескрипторами D8, D9 Рамкової Директиви з Морської Стратегії (РДМС) на підставі даних державного моніторингу морських вод.

1 ОЦІНКА ЕКОЛОГІЧНОГО СТАНУ

1.1 Методи та обладнання наукових досліджень

Під час науково дослідних робіт з дослідження ПЗЧМ для оцінки екологічного стану за дескрипторами D8 та D9 проводились вимірювання:

- сума нафтових вуглеводнів (НВ) досліджувались відповідно до «Руководства по химическому анализу морских вод РД 52.10.243-92». [1] Використовували ІЧ-Фур'є спектрометр Agilent Cary-630;
- Метали в пробах води аналізували методом атомно-абсорбційної спектрометрії в електротермічній печі (AAS-ET Analytik Jena AG ZEENIT 650P. Відповідно методикам МВВ № 13/09-09 Морські води. Методика виконання вимірювань масової концентрації кадмію, кобальту, нікелю, міді, миш'яку, свинцю та цинку методом атомно-абсорбційної полум'яної та неполум'яної спектрофотометрії [2], МВВ № 12/09-09 Морські води. Методика виконання вимірювань масової концентрації залізу, марганцю та хрому методом неполум'яної атомно-абсорбційної спектрофотометрії [3] та МВВ № 11/09-09 Морські води. Методика виконання вимірювань масової концентрації ртуті методом неполум'яної атомно-абсорбційної спектрофотометрії (методом хлорного пару) [4];
- Метали в пробах донних відкладень аналізували взявши 0,22 г зразку осаду, його обробляли сумішшю ультра чистих кислот HNO_3 , HCl , після чого додавали HF . Метали аналізували методом атомно-абсорбційної спектрометрії в електротермічній печі (AAS-ET Analytic Jena AG ZEENIT 650P). Відповідно до МВВ № 18/09-09 Донні відкладення. Методика виконання вимірювань масової частки алюмінію, кадмію, кобальту, марганцю, міді, миш'яку, нікелю, свинцю, хрому, заліза та цинку методом атомно-абсорбційної спектрофотометрії [5];

- Органічні забруднюючі речовини в пробах води аналізували додавши до проби води перед екстрагуванням внутрішні стандарти ПХБ29 та фенантрен-d10. Екстракцію проводили гексаном за допомогою високошвидкісної мішалки; органічну фазу відокремлювали від води в ділительній воронці. Після екстрагування проводили концентрування в Турбо випарнику під струмом азоту. Стійкі органічні забруднювачі аналізували за допомогою газової хроматографії. GC-ECD (Agilent 7890B) використовували для ХОП і ПХБ, а GC-MS (Agilent 7890A with the MS 5975C) використовували для ПАУ. Відповідно до ММВ № 10/09-09 Морські води. Методика виконання вимірювань масової концентрації хлорорганічних пестицидів (ХОП) і поліхлорованих біфенілів (ПХБ) методом капілярної газорідинної хроматографії [6] та EPA METHOD 8270C SEMIVOLATILE ORGANIC COMPOUNDS BY GAS CHROMATOGRAPHY/MASS SPECTROMETRY (GC/MS) [7];

- Для аналізу органічних забруднень в донних відкладеннях брали 3,0 г зразка донного осаду екстрагували на установці прискореної екстракції під тиском (PLE) сумішшю гексан/дихлорметан/метанол (60%/20%/20%). Внутрішні стандарти PCB29 та фенантрен-d10 додавали до проби донного осаду перед екстрагуванням. Після екстракції проводили очищення на колонці з силікагелем і концентрування в Турбо випарнику в струмі азоту. Стійкі органічні забруднювачі аналізували за допомогою газової хроматографії. GC-ECD (Agilent 7890B) використовували для ХОП і ПХБ, а GC-MS (Agilent 7890A with the MS 5975C) використовували для ПАУ. Відповідно до ММВ № 19/09-09 Донні відкладення. Методика виконання вимірювань масової концентрації хлорорганічних пестицидів (ХОП) і поліхлорованих біфенілів (ПХБ) методом газорідинної хроматографії [8] та EPA METHOD 8275A SEMIVOLATILE ORGANIC COMPOUNDS (PAHs AND PCBs) IN SOILS/SLUDGES AND SOLID WASTES USING THERMAL EXTRACTION/GAS CHROMATOGRAPHY / MASS SPECTROMETRY (TE/GC/MS) [9];

1.2 Інструментальний аналіз і кількісна оцінка

Перед кожною серією вимірювання, по всіх дослідженням які потребують калібрування, проводилось калібрування приладів та обладнання з будівництвом графіків калібрування. Для біогенних речовин використовувались стандартні розчини виробництва Sigma-Aldrich США.

Калібрування концентрації металів проводили з робочими стандартами для кожного елемента, починаючи з вихідних розчинів 1000 мкг/дм^3 (виробництва Sigma-Aldrich США). Для кожного зразка було виміряно не менше 3-х інструментальних показання з середнім значенням. Концентрації розчинив такі: вода Cd $0-1 \text{ мкг/дм}^3$; інші метали $0-40 \text{ мкг/дм}^3$; донні відкладення Cd $0-2 \text{ мкг/дм}^3$; інші метали $0-80 \text{ мкг/дм}^3$.

Концентрацію поліхлорованих біфенілів (ПХБ) і хлорорганічних пестицидів (ХОП) визначали на газовому хроматографі 7890В (Agilent, США) з детектором захоплення електронів (15 мілікюри нікелю 63 G2397A ECD), оснащеним інжектором з діленням потоку та капілярною колонкою HP-5 (HP-5 30м $0,32 \text{ мм}$ $0,25 \text{ мкм}$). Газ-носії – гелій зі швидкістю потоку 2 мл/хв , газ продувки детектору – азот зі швидкістю потоку 30 мл/хв , температура інжектора $250 \text{ }^\circ\text{C}$, об'єм зразка – 1 мкл ; початкова температура в печі $70 \text{ }^\circ\text{C}$ витримка 1 хвилина , підйом температури до $150 \text{ }^\circ\text{C}$ зі швидкістю $10 \text{ }^\circ\text{C}$ на хвилину, витримка 0 хв , підйом температури до $240 \text{ }^\circ\text{C}$ зі швидкістю $4 \text{ }^\circ\text{C}$ на хвилину, витримка 10 хв . Використовувались для калібрування аналітичні стандарти α -НСН, β -НСН, γ -НСН (Sigma-Aldrich, США), PCB total* AR-1254, PCB total* Ar-1260 (Supelco, США), PCB-8, PCB-18, PCB -28, PCB-31, PCB-52, PCB-49, PCB-44, PCB-66, PCB-110, PCB-149, PCB-118, PCB-153, PCB-138, PCB-183, PCB-174 Для калібрування використовували PCB-177, PCB-180, PCB-170, PCB-199, PCB-194 (Dr. Ehrenstorfer, Німеччина), PCB-101 (ULTRA Scientific, США). Для аналізу даних було використано програмне забезпечення Chem Station (Agilent, США).

Концентрацію ПАУ визначали методом газової хроматографії з мас-спектрометрією на газовому хроматографі 7890A (Agilent, США) з детектором мас 5975C, оснащеним ін'єкцією PTV та капілярною колонкою DB-5MS (30 м 0,25 мм 0,25 мкм). Газом - носієм був гелій зі швидкістю потоку 1,2 мл/хв. Початкова температура інжектора 50 °С, вентиляція розчинника протягом 1 хвилини, об'єм зразка 15 мкл, кінцева температура інжектора 300 °С, швидкість підвищення температури 600 °С на хвилину; температура початку спалювання 60 °С, час витримки 7 хвилин, підвищення температури до 200 °С зі швидкістю 10 °С/хв, витримка 1 хвилини, підвищення температури до 310 °С зі швидкістю 7 °С/хв, витримка 5 хв. Мас-детектор в режимі SIM (пошук цільової маси), температура MS Source 230 °С, MS Quad 150 °С. Аналітичні стандарти нафталіну, антрацену, флуорантену, бензо(к)флуорантену, бензо(а)пірену, бензо(г,і)перилінену, бензо(б)флуорантен, фенантрен, бензо(а)антрацен, хризен, флуорен, аценафтен, пірен (Supelco, США), індено(1,2,3cd)пірен та дибензо(а,і)антрацен (ULTRA Scientific, США) були використані для калібрування. Для аналізу даних було використано програмне забезпечення Chem Station (Agilent, США) та AMDIS.

1.3 Методи проведення оцінки екологічного стану

Для оцінки використовувався коефіцієнт забруднення (Кз).

Кз відображає концентрацію всіх забруднюючих речовин в окремий проміжок часу в заданому районі. Цей коефіцієнт розраховується як сума відносин концентрації кожної забруднюючої сполуки до її гранично допустимої концентрації згідно з директивою ЄС 2013/39/EU (MAC-EQS), або гранично допустимій концентрації відповідно українського законодавства (ГДК), або екологічного нормативу якості морського середовища (ЕН) [10] віднесена до кількості вимірювань проведених в заданий проміжок часу. Точність

відображення стану району за допомогою коефіцієнта K_3 залежить від кількості станцій моніторингу в досліджуваному районі та кількості спостережень за певний проміжок часу.

$$CR = \frac{C_{\text{забр}}}{C_{\text{ПДК}}}$$

$$K_3 = \frac{1}{n} \sum_{i=0}^n CR_i$$

Де:

CR – середнє відношення концентрації кожної забруднюючої речовини до її гранично допустимої концентрації;

$C_{\text{забр}}$ – середня концентрація забруднюючої речовини за проміжок часу;

$C_{\text{ПДК}}$ – гранично допустима концентрація забруднюючої речовини;

n – кількість забруднюючих речовин які взяті для оцінки кожної групи забруднювачів.

Екологічний стан району (водного масиву), визначається за наступним алгоритмом:

1. Визначається середня концентрація кожної вимірюваної забруднюючої речовини в районі, що оцінюється, за певний проміжок часу.

2. Розраховуються відносини середньої концентрації кожної вимірюваної забруднюючої речовини до її гранично допустимої концентрації відповідно до Українського чи Європейського законодавства.. Як що граничні концентрації для забруднюючої речовини відрізняються, в цих законодавствах, береться значення нижче за показником.

3. Забруднюючи речовини розділяють на три групи для яких визначають K_3 :

- група токсичних металів (K_3 ТМ);
- група забруднюючих речовин сільськогосподарського походження (K_3 ЗРСП);
- група забруднюючих речовин промислового походження (K_3 ЗРПШ).

4. Процедури описані в пунктах 1, 2, 3 проводять для води, донних відкладень та біологічного матеріалу відібраних в оцінюваному районі за певний проміжок часу. Екологічний стан визначається по найгіршій оцінці будь якої з трьох груп забруднюючих речовин в воді або донних відкладеннях. Оцінка біологічних об'єктів проводиться за таким же принципом окремо для кожного виду і вказує на екологічний стан району за період часу розвитку цього біологічного об'єкта (вік біологічного об'єкта), якщо цей вид осілий.

2 ЕКОЛОГІЧНИЙ СТАН МОРСЬКОЇ ВОДИ ЗА ВМІСТОМ ЗАБРУДНЮЮЧИХ РЕЧОВИН

Стан морської води оцінювався за такими забруднюючими речовинами як: токсичні метали (ТМ), хлорорганічні пестициди (ХОП), поліхлоровані біфеніли (ПХБ) та поліароматичні вуглеводні (ПАВ). Виконувались оцінки за 2022 рік.

Оскільки проведенню моніторингових досліджень в Чорному морі суттєво перешкоджало проведення бойових дій викликаних агресією російської федерації, дослідження проводились в районі CW5 з долтриманням заходів безпеки.

Шкала оцінки екологічного стану морської води в прибережних водних масивах за коефіцієнтом забруднення Кз відповідно «Морської природоохоронної стратегії України» підрозділяється на п'ять класів (таблиця 2.1).

Таблиця 2.1 – Стан якості прибережних водних масивів за вмістом забруднюючих речовин

Стан якості водних масивів	Показник Кз	Стан якості у колірному позначенні
	Забруднюючі речовини в морській воді	
Відмінний	$\leq 0,5$	
Добрий	$>0,5$ та $\leq 1,0$	
Задовільний	$>1,0$ та $\leq 2,5$	
Посередній	$>2,5$ та $\leq 5,0$	
Поганий	$>5,0$	

Водні масиви Чорного моря оцінюються по районах розподілу відкритої частини моря на західну та центральну частини, північно-західні райони Криму, райони шельфу та прибережні райони «Перехідних вод» та «Прибережних вод»

визначених в [11] відповідно до Водної рамкової директиви 2000/60/ЄС (WFD) [12] (рис 2.1).

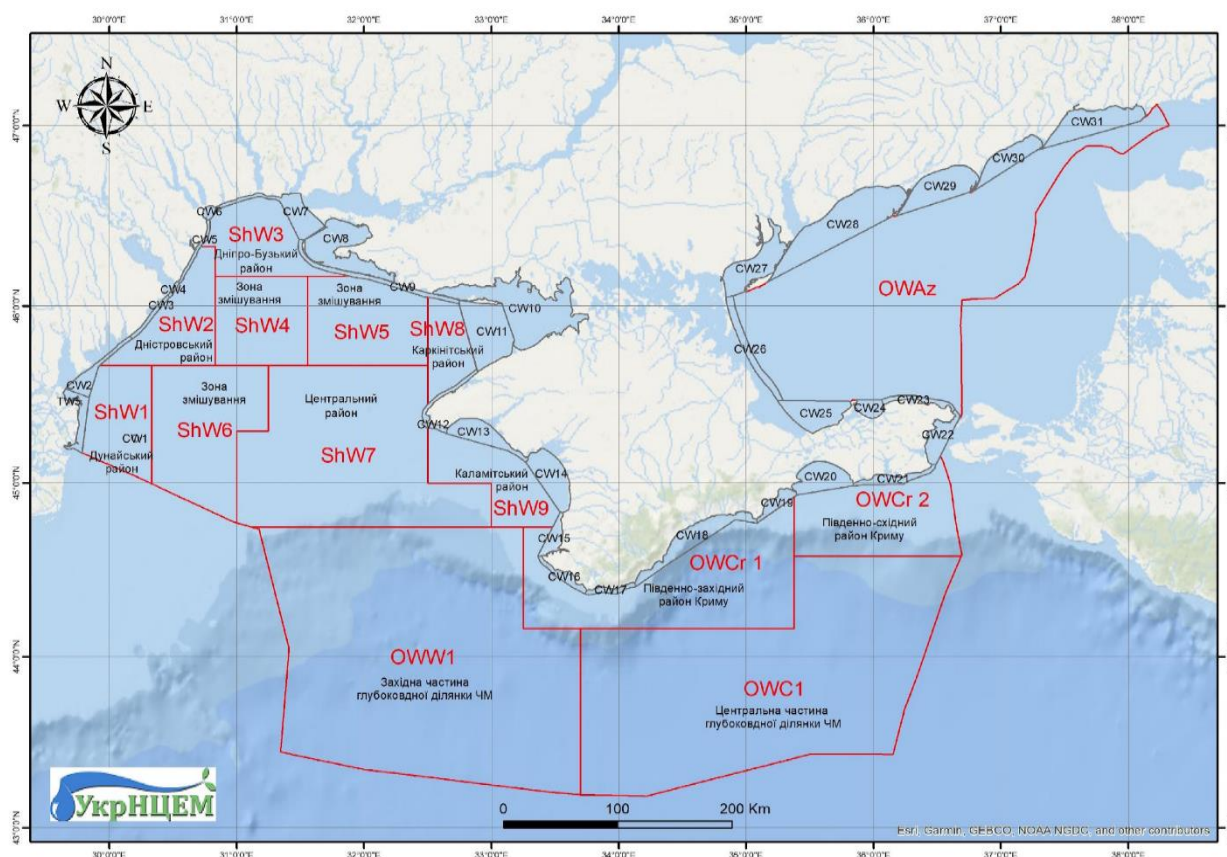


Рисунок 2.1 – Райони водних масивів Чорного та Азовського морів України

Шкала екологічної оцінки шельфових водних масивів та водних масивів відкритого моря за показником K_z підрозділяється на два класи, що відповідають доброму екологічному стану (ДЕС) та не відповідають ДЕС (таблиця 2.2).

Таблиця 2.2 – Стан якості шельфових водних масивів та водних масивів відкритого моря за вмістом забруднюючих речовин

Стан якості водних масивів	Показник K_z	Стан якості у колірному позначенні
	Забруднюючі речовини в морській воді	
Добрий стан, ДЕС	$\leq 1,0$	
Недобрий стан, не ДЕС	$> 1,0$	

2.1 Екологічна оцінка стану морської води в районі CW5 за вмістом токсичних металів

За даними виконаного аналізу вмісту токсичних металів в 2022 році статус прибережного водного масиву CW5 ТМ відповідають відмінному екологічному стану. В таблиці 2.3 та на рисунку 2.2. представлені значення Кз для ртуті (Hg), кадмію (Cd), свинцю (Pb), нікелю (Ni) та значення Кз в цілому для ТМ в поверхневому та придонному шарі води. Оцінка екологічного стану проводилась згідно директиві ЄС 2013/39/EU (MAC-EQS).

Таблиця 2.3 – Екологічний стан прибережних водних масивів за показником Кз ТМ морської води по районах у 2022 році

Водний масив	Відбір проби	Кз ТМ	Кз Cd	Кз Hg	Кз Pb	Кз Ni	Екологічний стан водного масиву
CW5	поверхня	0,068	0,03	0,18	0,05	0,01	Відмінний

Наведені сумарні характеристики екологічного стану водного масиву за показниками Кз наданому по найгіршому їх показнику. Екологічний стан відповідає ДЕС.

За показниками групи ТМ найбільший вклад в дослідженому районі водних масивів припадає на концентрацію ртуті, на другому місті знаходиться вміст свинець (рис. 2.3).

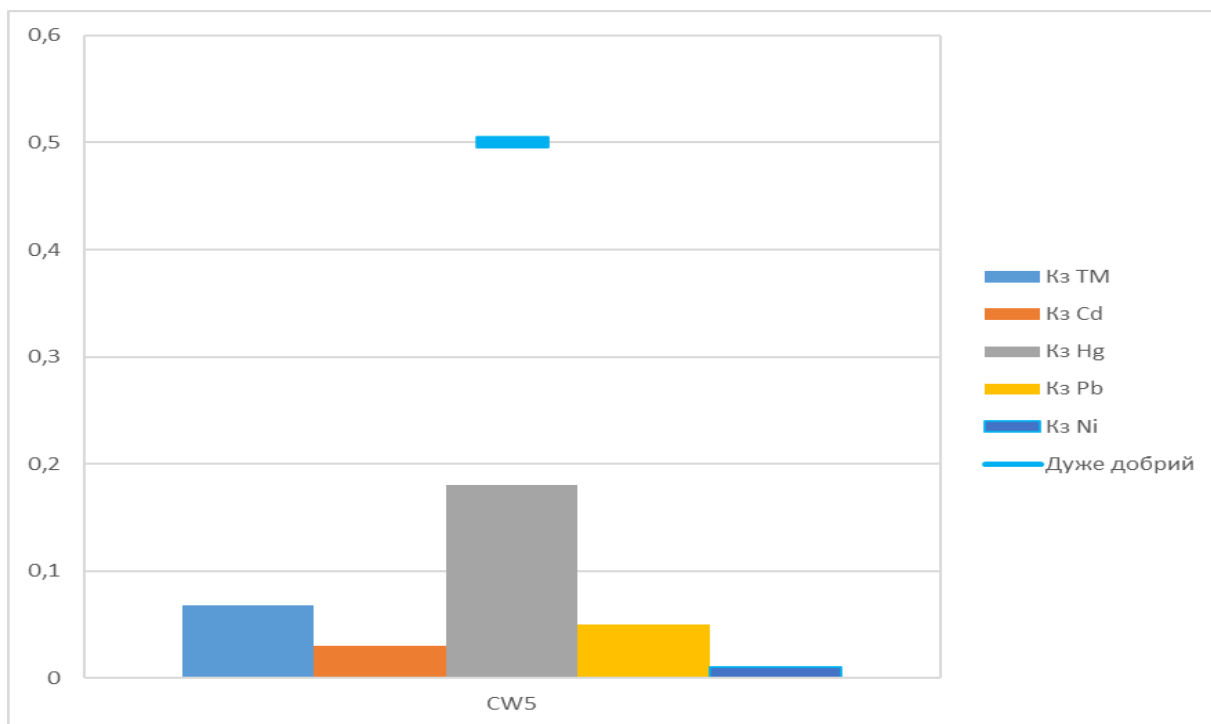


Рисунок 2.2 – Коефіцієнт забруднення Кз ТМ морської води в районі прибережних водних масивів CW5 ПЗЧМ в 2022 році

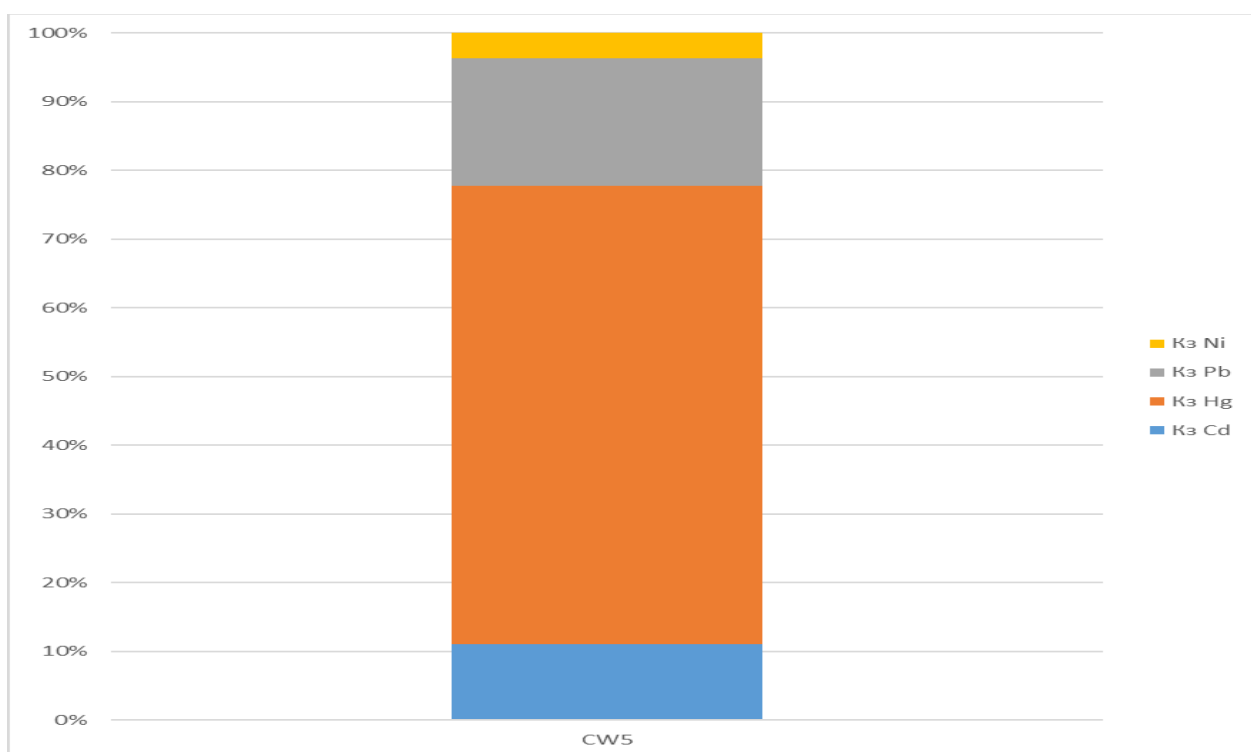


Рисунок 2.3 – Вклад Кз індивідуальних ТМ в загальну суму забруднення морської води ТМ в районі прибережних водних масивів CW5 ПЗЧМ в 2022 році

2.2 Екологічна оцінка стану морської води в районі CW 5 за вмістом органічних забруднювачів сільськогосподарського походження

Виконані оцінки екологічного стану морської води в 2022 р. в районі CW 5 прибережних водних масивах за коефіцієнтом забруднення Кз органічними забруднювачами сільськогосподарського походження вказують, що їх стан варіює від дуже доброго до дуже поганого. Основною забруднювальною речовиною серед групи ОЗСП є гептахлор. За показником Кз гептахлору в поверхневому шарі води відповідає «дуже поганому» екологічному стану, що наведено в таблиці 2.4 та на рисунку 2.4. В таблиці і на рисунку представлені значення Кз за індивідуальними ОЗСП та середній Кз в цілому для ОЗСП в поверхневому шарі води. Оцінка екологічного стану проводилась згідно наданих максимально допустимих концентрацій в директиві ЄС 2013/39/EU (MAC-EQS).

Таблиця 2.4 – Екологічний стан морської води в районі CW 5 прибережних водних масивів за показником Кз ОЗСП

Водний масив	Відбір проби	Кз ОЗСП	Кз ДДТ ¹	Кз Σ ДДТ ²	Кз Σ НСН ³	Кз Гексахлорбензол	Кз Гептахлору	Кз Σ Ціклодієнових ⁴	Кз Атразін	Кз Дурбан	Екологічний стан водного масиву
CW5	поверхня	1,37	0,13	0,12	0,06	0,01	10,21	0,4	0	0,01	Задовільний

Примітка 1. П, п-діхлордіфенілтрихлоретан.

Примітка 2. Сума ДДТ та його метаболітів.

Примітка 3. Сума ліндану та його ізомерів.

Примітка 4. Сума алдріну, ділдріну та ендріну.

За показниками групи ОЗСП найбільший вклад в районі CW 5 водних масивів в поверхневому шарі води вносить концентрація гептахлору (рис. 2.5).

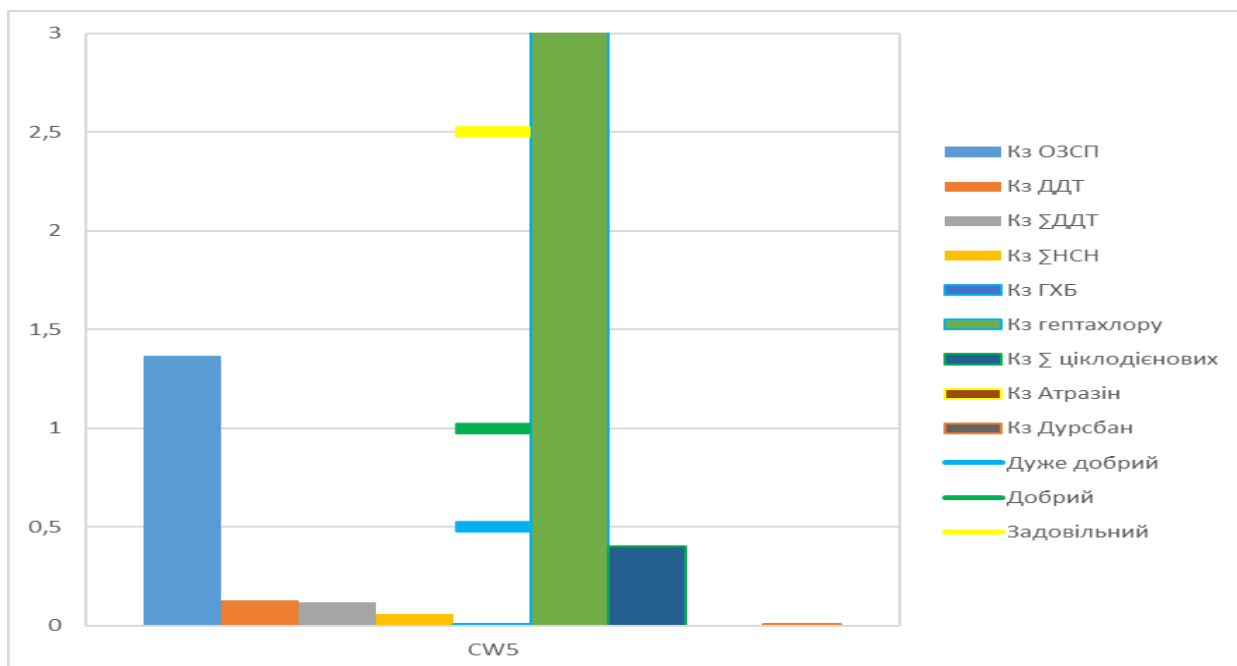


Рисунок 2.4– Розподіл коефіцієнту забруднення Кз ОЗСП морської води в районі CW 5 прибережних водних масивів ПЗЧМ в 2022 році

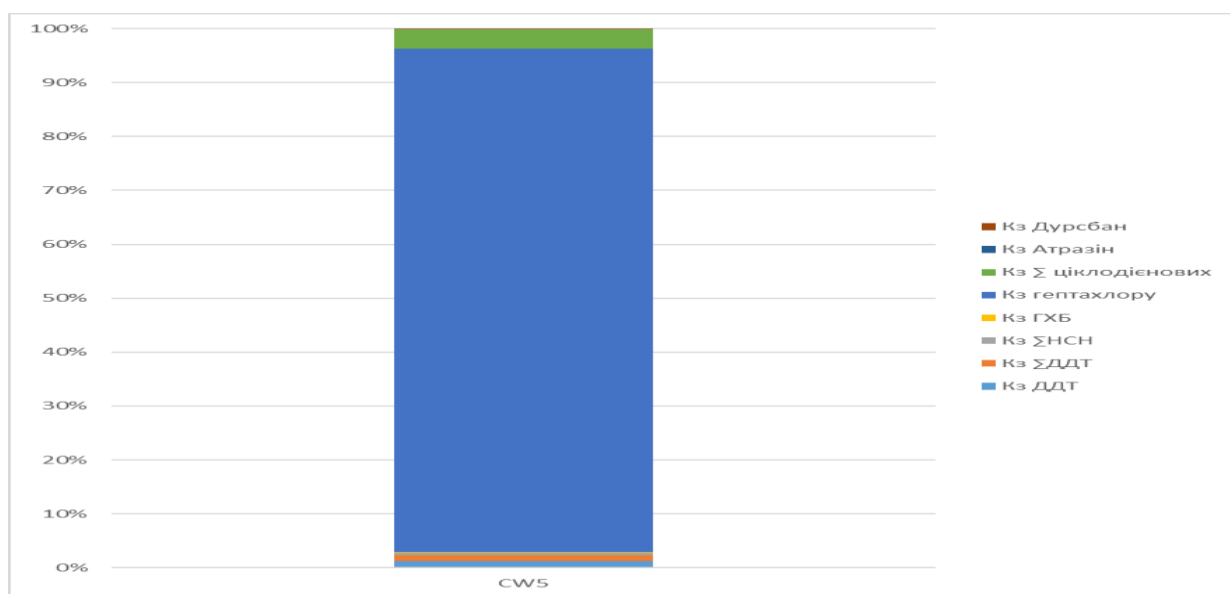


Рисунок 2.5 – Вклад Кз індивідуальних ОЗСП в загальну суму забруднення морської води ОЗСП в районі CW 5 прибережних водних масивів ПЗЧМ в 2021 році

2.3 Екологічна оцінка стану морської води в районі CW 5 за вмістом органічних забруднювачів промислового походження

Оцінки екологічного стану морської води виконані в 2022 р. в районі CW 5 в прибережних водних масивах за коефіцієнтом забруднення Кз органічних забруднювачів промислового походження ОЗПП, в поверхневому шарі води відповідають «дуже поганому» екологічному стану. Найбільше на екологічний стан всіх прибережних водних масивів вплинули концентрації індивідуальних ПХБ 101, 118, 153, 138, 180, їх величина Кз значно перевищує пороговий рівень > 5,0 «поганого» екологічного стану (таблиця 2.5 та рисунок 2.6).

Також підвищені концентрації були зафіксовані в поверхневому шарі за показником Кз нафталіну який відповідає «задовільному» екологічному стану.

Оскільки в директиві 2013/39/ЄС (MAC-EQS) не має обмежень по концентраціям ПХБ не діоксинового ряду, гранично допустимі концентрації для поліхлорованих біфенілів (ПХБ) були взяті з рекомендацій ЕАС, OSPAR SIME 2008, групи індивідуальних ПХБ від ПХБ-16 до ПХБ-65 (Ar-1254) та від ПХБ-28 до ПХБ-73 (Ar-1260), відносно ЕН оцінки не виконувались тому, що з оцінки 2020 року було видно що вимоги OSPAR SIME 2008 більш жорсткі.

Показники Кз поліароматичних вуглеводнів (ПАВ) розраховувалися відповідно даних директиви 2013/39/ ЄС (MAC-EQS).

Таблиця 2.5 – Екологічний стан морської води в районі CW 5

прибережних водних масивів за показником Кз ОЗПП

Водний масив	Кз ОЗПП	Кз ПХБ 101	Кз ПХБ 118	Кз ПХБ 153	Кз ПХБ 138	Кз ПХБ 180	Кз нафталіну	Кз антрацену	Кз флуорантену	Кз бензо(б)флуорантену	Кз бензо(к)флуорантену	Кз бензо(а)пірену	Кз бензо(г,і)перілену	Екологічний стан водного масиву
CW5	24,6	128	29,0	166	96,1	83,6	1,45	0,59	0	0,04	0,02	0,01	0,01	Поганий

Оцінка сумарної характеристики екологічного стану водних масивів за показниками Кз надана по найгіршому їх показнику ОЗПП. У зв'язку з цим за рахунок дуже великої кількості вмісту ПХБ 101, ПХБ 118, ПХБ 153, ПХБ 138, ПХБ 180 в 2022 р. відповідають «дуже поганому» екологічному стану.

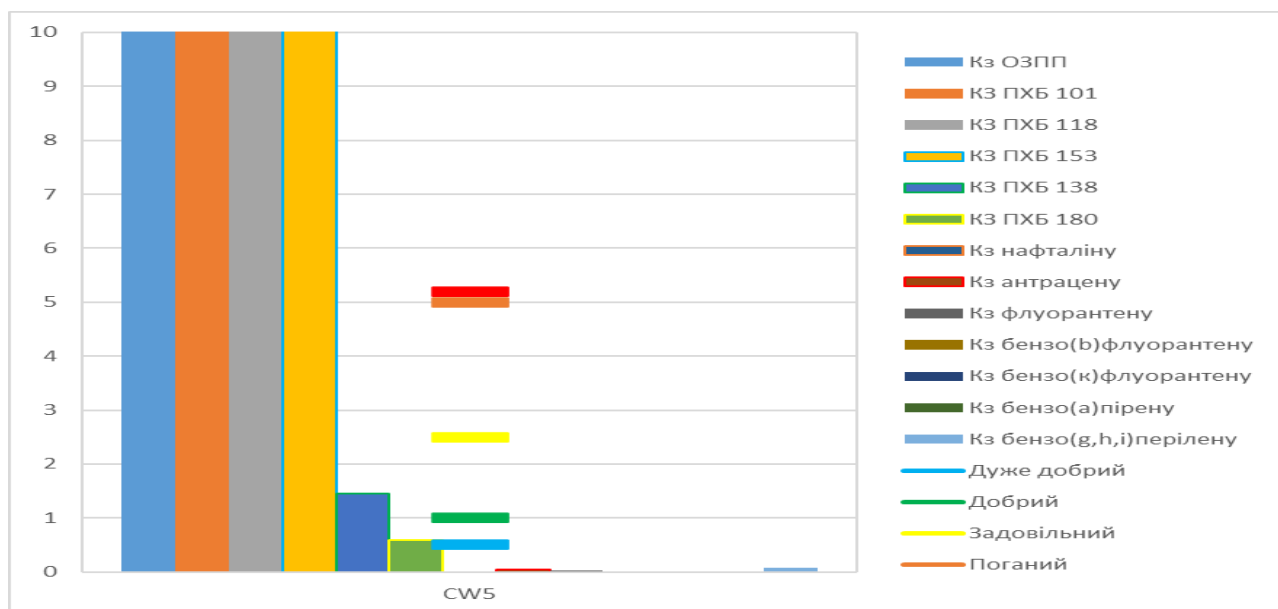


Рисунок 2.6 – Розподіл коефіцієнту забруднення Кз ОЗПП морської води в районі CW 5 прибережних водних масивів ПЗЧМ в 2022 році

Виконаний аналіз поліциклічних ароматичних вуглеводнів за коефіцієнтом забруднення Кз показав, що сума Σ ПАВ, бензо(а)піреновий еквівалент (B(a)Peq) та сума канцерогенних ПАВ (Σ carc ПАВ) в водному масиві CW5 знаходяться на невисокому рівні, що наведено в таблиці 2.6 та на рисунку 2.7.

Таблиця 2.6 – Сума ПАВ, бензо(а)переновий еквівалент та сума канцерогенних ПАВ в водному масиві CW 5 ПЗШ ЧМ в поверхневому шарі морської води у 2022 році

Водний масив	Σ ПАВ	B(a)Peq	Σ carc ПАВ
	поверхневій шар води		
CW5	36,2	0,35	0,48

Найбільший вклад в забруднення морської води групою ОЗПП в 2022 році в водному масиві CW5 вносили ПХБ 101, 118, 153 (рис. 2.8).



Рисунок 2.7 – Середні значення Σ ПАВ, B(a)Peq та Σ carc ПАВ в водному масиві CW 5 у 2022 році

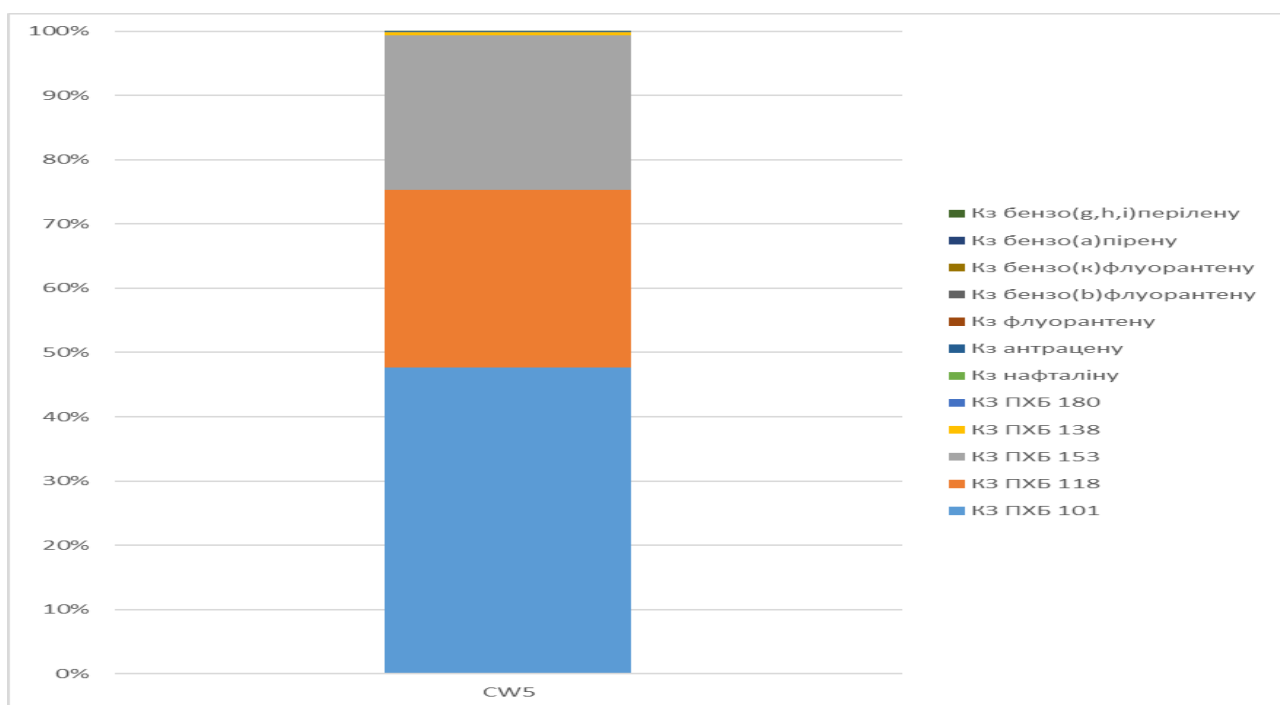


Рисунок 2.8 – Вклад Кз індивідуальних ОЗПП в загальну суму забруднення морської води ОЗПП прибережних водних масивів ПЗЧМ в 2021 році

2.3 Оцінка вмісту нафтових вуглеводнів в морській воді в районі CW 5

Оскільки в Чорному морі суттєво на екологічний стан впливає проведення бойових дій викликаних агресією російської федерації, для оцінки наслідків війни потребується проведення додаткових досліджень специфічних забруднюючих речовин та суми нафтових вуглеводнів (НВ). В таблиці 2.7 наведені результати досліджень суми НВ в районі CW 5 по місяцях. Гранично допустимі концентрації (ГДК) для НВ взяті з національного законодавства та дорівнюють 0,05 мг/дм³.

Таблиця 2.7 – Концентрація НВ в водному масиві CW 5 ПЗШ ЧМ в поверхневому шарі морської води у 2022 році

Водний масив	13.07.2022	27.07.2022	17.08.2022	25.08.2022	07.09.2022	14.10.2022	16.11.2022	14.12.2022
НВ, мг/дм ³	0,07	0,05	≤0,03	0,04	0,08	0,06	0,04	0,04

Як видно з таблиці 2.7 в водному масиві CW 5 ПЗШ ЧМ в поверхневому шарі морської води концентрації НВ знаходяться на помірному рівні перевищення ГДК помічені в липні, вересні та жовтні місяцях.

Також опрацьовано алгоритм [16] для спостереження за можливим забрудненням НВ морської води використовуючи супутникові знімки, який наведено у Додатку А.

3. ЕКОЛОГІЧНИЙ СТАН ДОННИХ ВІДКЛАДЕНЬ ПО РАЙОНАМ ЗА ВМІСТОМ ЗАБРУДНЮЮЧИХ РЕЧОВИН

Стан донних відкладень оцінюється за такими забруднюючими речовинами як: токсичні метали (ТМ), хлорорганічні пестициди (ХОП) та поліароматичні вуглеводні (ПАВ).

Шкала оцінки екологічного стану донних відкладень в прибережних водних масивах за коефіцієнтом забруднення Кз відповідно «Морської природоохоронної стратегії України» підрозділяється для ТМ та органічних сполук на п'ять класів (таблиця 3.1).

Таблиця 3.1 – Стан якості прибережних водних масивів за вмістом забруднюючих речовин донних відкладень

Стан якості донних відкладень	Показник Кз		Стан якості у колірному позначенні
	Токсичні метали	Органічні речовини	
Відмінний	$\leq 0,5$	$\leq 0,2$	
Добрий	$>0,5$ та $\leq 1,0$	$>0,2$ та $\leq 1,0$	
Задовільний	$>1,0$ та $\leq 1,25$	$>1,0$ та $\leq 5,0$	
Посередній	$>1,25$ та $\leq 2,5$	$>5,0$ та ≤ 25	
Поганий	$>2,5$	>25	

Шкала екологічної оцінки стану донних відкладень в шельфових водних масивах та водних масивах відкритого моря за показником коефіцієнту забруднення Кз підрозділяється на два класи, при яких донні відклади відповідають доброму екологічному стану (ДЕС) та не відповідають ДЕС (таблиця 3.2).

Таблиця 3.2 – Стан якості донних відкладів шельфових водних масивів та водних масивів відкритого моря за вмістом забруднюючих речовин

Стан якості водних масивів	Показник Кз		Стан якості у колірному позначенні
	Токсичні метали	Органічні речовини	
Добрий стан, ДЕС	≤1,0	≤1,0	
Недобрий стан, не ДЕС	>1,0	>1,0	

Оскільки проведенню моніторингових досліджень в Чорному морі суттєво перешкоджало проведення бойових дій викликаних агресією російської федерації, дослідження донних відкладень в 2022 році не проводилось.

4 ЕКОЛОГІЧНИЙ СТАН БІОЛОГІЧНИХ ОБ'ЄКТІВ ЗА ВМІСТОМ ЗАБРУДНЮЮЧИХ РЕЧОВИН

Відповідно до дескриптору D9 Рішення Комісії (ЄС) 2017/848 та «Морської природоохоронної стратегії України» виконувалась оцінка наявності вмісту токсичних речовин у водних біоресурсах. Якість біологічних об'єктів оцінювалась за ступенем вмісту токсичних металів (ТМ), хлорорганічних пестицидів (ХОП) та поліароматичних вуглеводнів (ПАВ).

Шкала оцінки екологічного стану водних біоресурсів в прибережних водних масивах за коефіцієнтом забруднення Кз відповідно «Морської природоохоронної стратегії України» підрозділяється на п'ять класів відповідно до токсичних металів і органічних забруднюючих речовин (таблиця 4.1).

Таблиця 4.1 – Стан якості біоресурсів прибережних водних масивів за вмістом забруднюючих речовин

Стан якості водних біоресурсів	Показник Кз		Стан якості у колірному позначенні
	Токсичні метали	Органічні речовини	
Відмінний	$\leq 0,5$	$\leq 0,2$	
Добрий	$>0,5$ та $\leq 1,0$	$>0,2$ та $\leq 1,0$	
Задовільний	$>1,0$ та $\leq 1,25$	$>1,0$ та $\leq 5,0$	
Посередній	$>1,25$ та $\leq 2,5$	$>5,0$ та ≤ 25	
Поганий	$>2,5$	>25	

Шкала екологічної оцінки стану водних біоресурсів в шельфових водних масивах та водних масивах відкритого моря за показником коефіцієнту забруднення Кз підрозділяється на два класи, при яких біоресурси характеризуються «добрим» і «недобрим» станом (таблиця 4.2)

Таблиця 4.2 – Стан якості біоресурсів шельфових водних масивів та водних масивів відкритого моря за вмістом забруднюючих речовин

Стан якості водних біоресурсів	Показник Кз		Стан якості у колірному позначенні
	Токсичні метали	Органічні речовини	
Добрий стан, ДЕС	≤1,0	≤1,0	
Недобрий стан, не ДЕС	>1,0	>1,0	

Оскільки проведенню моніторингових досліджень в Чорному морі суттєво перешкоджало проведення бойових дій викликаних агресією російської федерації, дослідження біологічних об'єктів в 2022 році не проводилось.

ВИСНОВКИ

Вміст групи токсичних металів ТМ в водах в районі СW 5 в 2022 р. відповідав «високому» екологічному стану.

Органічні забруднюючі речовини сільськогосподарського походження в районі СW 5 в 2022 р. відповідали «дуже поганому» стану переважно за вмістом гептахлору.

В районі СW 5 водних масивах за коефіцієнтом забруднення Кз органічні забруднювачі промислового походження ОЗПП в 2022 р., в поверхневому шарі води відповідає «дуже поганому» екологічному стану. Найбільше на екологічний стан водного масиву впливали концентрації індивідуальних ПХБ 101, 118, 153.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. РД 52.10.243-92. Руководство по химическому анализу морских вод. Санкт-Петербург: Гидрометеиздат, 1993. – 263 с.
2. МВВ № 13/09-09 Морські води. Методика виконання вимірювань масової концентрації кадмію, кобальту, нікелю, міді, миш'яку, свинцю та цинку методом атомно-абсорбційної полум'яної та неполум'яної спектрофотометрії. Одеса: УкрНЦЕМ, 2009. – 15 с.
3. МВВ № 12/09-09 Морські води. Методика виконання вимірювань масової концентрації залізу, марганцю та хрому методом неполум'яної атомно-абсорбційної спектрофотометрії. Одеса: УкрНЦЕМ, 2009. – 15 с.
4. МВВ № 11/09-09 Морські води. Методика виконання вимірювань масової концентрації ртуті методом неполум'яної атомно-абсорбційної спектрофотометрії (методом хлорного пару). Одеса: УкрНЦЕМ, 2009. – 14 с.
5. МВВ № 18/09-09 Донні відкладення. Методика виконання вимірювань масової частки алюмінію, кадмію, кобальту, марганцю, міді, миш'яку, нікелю, свинцю, хрому, заліза та цинку методом атомно-абсорбційної спектрофотометрії. Одеса: УкрНЦЕМ, 2009. – 14 с.
6. ММВ № 10/09-09 Морські води. Методика виконання вимірювань масової концентрації хлорорганічних пестицидів (ХОП) і поліхлорованих біфенілів (ПХБ) методом капілярної газорідинної хроматографії. Одеса: УкрНЦЕМ, 2009. – 15 с.
7. EPA METHOD 8270C SEMIVOLATILE ORGANIC COMPOUNDS BY GAS CHROMATOGRAPHY/MASS SPECTROMETRY (GC/MS). USA, 1986
8. ММВ № 19/09-09 Донні відкладення. Методика виконання вимірювань масової концентрації хлорорганічних пестицидів (ХОП) і поліхлорованих біфенілів (ПХБ) методом газорідинної хроматографії. Одеса: УкрНЦЕМ, 2009. – 15 с.
9. EPA METHOD 8275A SEMIVOLATILE ORGANIC COMPOUNDS (PAHs)

AND PCBs) IN SOILS/SLUDGES AND SOLID WASTES USING THERMAL EXTRACTION/GAS CHROMATOGRAPHY/MASS SPECTROMETRY (TE/GC/MS). USA, 1996

10. Екологічні нормативи якості морського середовища. Одеса: УкрНЦЕМ, 2008. – 15 с.
11. Гідрологічні та гідрохімічні показники стану північно-західного шельфу Чорного моря: довідковий посібник [Текст] / І.Г. Орлова, М.Ю. Павленко, В.В. Український [та ін.]; відповід. ред. І.Д. Лоева. – К.: КНТ, 2008. – 616 С.
12. Iarochevitch Alexei Proposal. For Delineation of Transitional and Coastal Water Bodies in the Ukrainian and Georgian part of the Black Sea and related maps (Draft). [Text] / Developed by: Alexei Iarochevitch/ This report has been produced with the assistance of the European Union. May 2017. – 28 p.
13. Хаустов А.П. Полициклические ароматические углеводороды как геохимические маркеры нефтяного загрязнения окружающей среды / А.П. Хаустов, М.М. Редина // Экология. –2014. – №2. – С. 92 – 96
14. Larsen J.C., Larsen P.B. Chemical carcinogens. In: Hester R.E., Harrison R.M., editors. Air Pollution and Health. The Royal Society of Chemistry; Cambridge, UK: 1998. – P. 33–56.
15. Traven L. CYP1A Induction potencial and the focus of pollutants in morske sediment simples – In vitro evaluation using the PLH - 1 fish hepatoma cell line / L.Traven, R. Zaja, J. Loncar // Toxicology in vitro. – 2008. – Т. 22 – N 6. – P. 1648 – 1656
16. Oil spill mapping with Sentinel-1, august 2017, Kuwait. Training kit – OCEA03. – Електронний ресурс, назва з екрана. – Режим доступу: https://rus-copernicus.eu/portal/wp-content/uploads/library/education/training/OCEA03_OilSpill_Kuwait_Tutorial.pdf

ДОДАТОК А

Забруднення океану через розливи нафти залишається серйозною екологічною небезпекою. Хоча аварії з нафтовими танкерами добре відомі, вони не є основною причиною таких подій. Незаконні скидання з суден чи морських платформ, бурових установок, аварії на трубопроводах чи природні витіки серед іншого об'єднують більшість джерел забруднення океану нафтою.

10 серпня 2017 року повідомлялося про розлив нафти на півдні Кувейту, неподалік району Аль-Хіран, де розташоване морське нафтове родовище Аль-Хафджі. Хоча причина інциденту не ясна (танкер у морі, пошкодження трубопроводу), за консервативними оцінками SkyTruth, некомерційної організації, що базується в Сполучених Штатах, стався витік майже 132500 літрів.

Для опрацювання алгоритму [16] виявлення забруднення нафтовими вуглеводнями використовувалися наступні дані: одне зображення Sentinel-1A IW GRD, отримане 08.10.2017 (доступне для завантаження на <https://scihub.copernicus.eu/>)

S1A_IW_GRDH_1SDV_20170810T024714_20170810T024738_017855_01DEF7_F48C

Перейдемо на сайт <https://scihub.copernicus.eu/> і завантажимо образ Sentinel-1A рівня 1A із Copernicus Open Access Hub, використовуючи онлайн-інтерфейс.

Переходимо до Open HUB (рис. А.1). Якщо у вас немає облікового запису, зареєструйтесь у верхньому правому кутку, заповніть дані та натисніть «Зареєструватися».

Ви отримаєте електронний лист з підтвердженням у вказаному вами обліковому записі: відкрийте електронний лист і натисніть на посилання, щоб завершити реєстрацію.

Як тільки ваш обліковий запис буде активовано – або якщо у вас вже є обліковий запис – увійдіть в систему.



Рисунок А.1 – Онлайн-інтерфейс сайту <https://scihub.copernicus.eu/>

Перемкніть режим малювання прямокутника в режим панорамування, клацнувши значок у лівому нижньому куті карти (зелена стрілка) та перейдіть до Кувейту (приблизна площа – синій прямокутник), зображено на рисунку А.2.

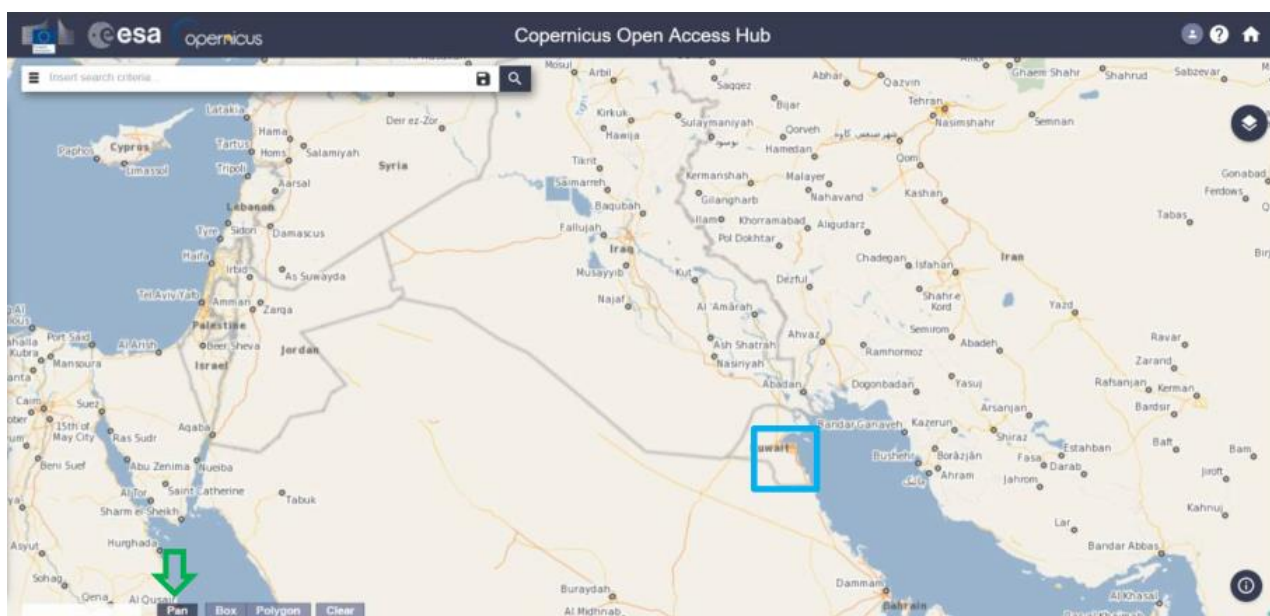


Рисунок А.2 – Виділення області пошуку даних

Перейдіть до режиму малювання і намалюйте прямокутник пошуку приблизно так, як показано нижче (рис. А.3). Відкрийте меню пошуку,

кляцнувши в лівій частині рядка пошуку (☰), та вкажіть параметри нижче. Після цього натисніть кнопку пошуку (🔍).

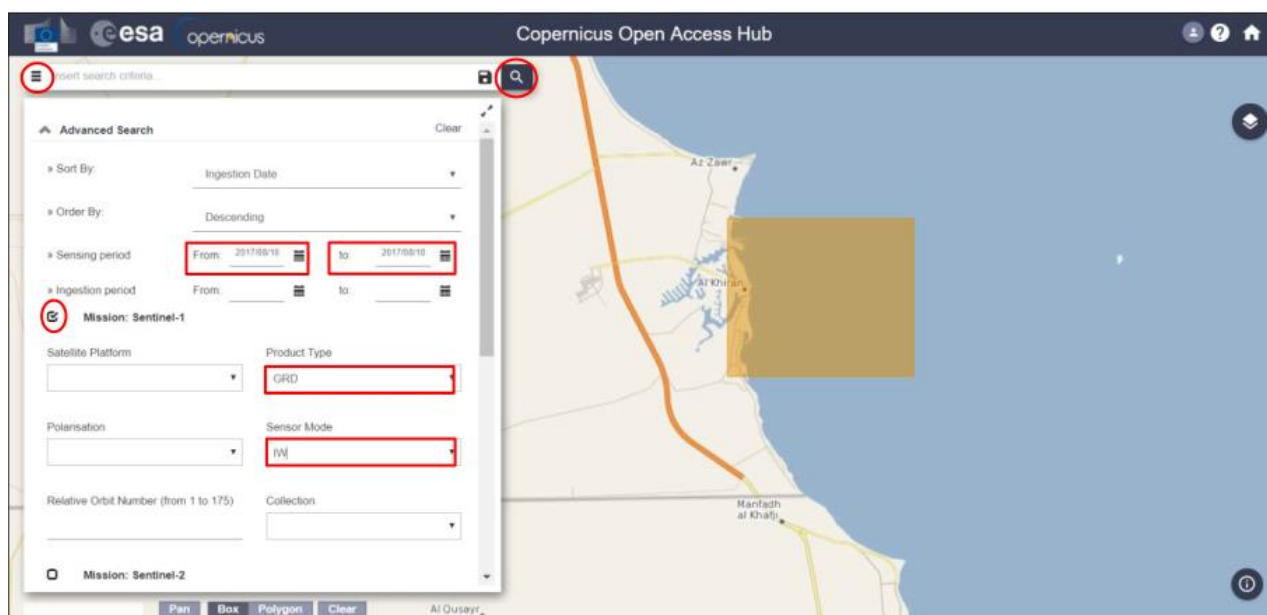


Рисунок А.3 – Пошук необхідного зображення (сцени)

Пошук повертає один результат. Завантажте наступну сцену, натиснувши на значок завантаження (рис. А.4). Ідентифікатор зображення:

S1A_IW_GRDH_1SDV_20170810T024714_20170810T024738_017855_01DEF7_F48C

Оберіть наступні налаштування:

- Sensing period: From 2017/08/10 to 2017/08/10 (Період спостереження)
- Check Mission: Sentinel-1 (Перевірити місію)
- Product type: GRD (Тип продукту)
- Sensor Mode: IW (Режим датчика)

Далі можна перемістити завантажені сцени в необхідну папку для подальшої роботи, завантажений файл можна розпакувати.

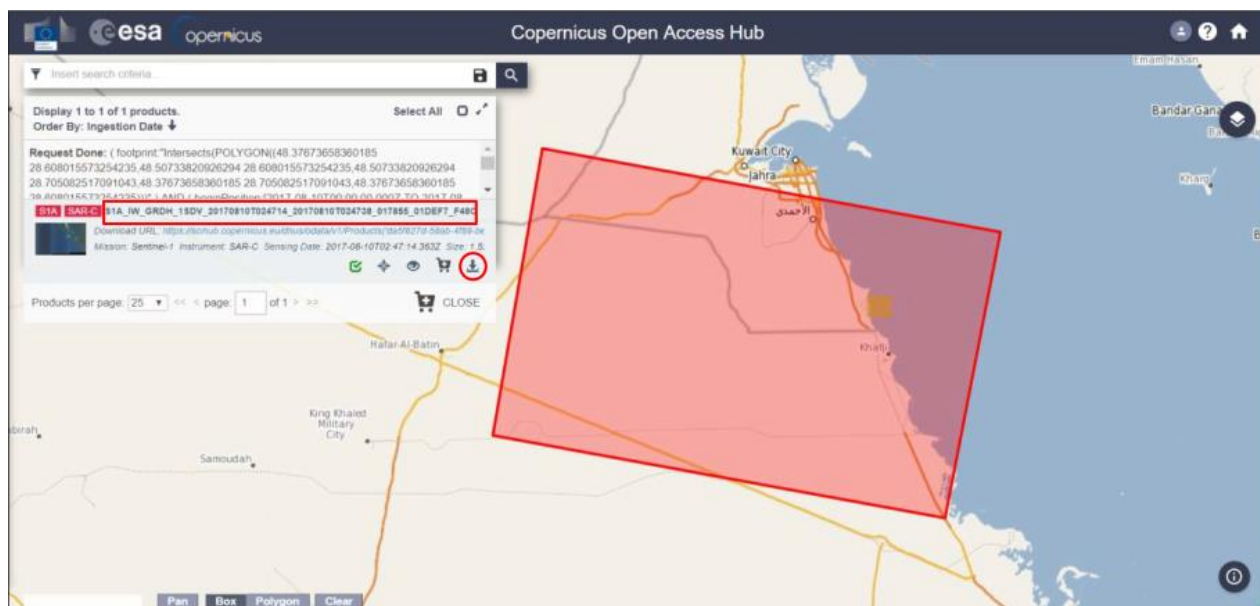


Рисунок А.4 – Результат пошуку необхідного зображення (сцени)

Відкрийте SNAP. Щоб імпортувати образ Sentinel-1, натисніть «File» -> «Open product», перейдіть по шляху до папки з файлом та відкрийте продукт, двічі клацнувши його.

Відкритий продукт з'явиться у «Product Explorer». Натисніть «+», щоб розгорнути вміст файлу, потім розгорніть папку «Bands» і двічі клацніть «Amplitude_VV», щоб візуалізувати його (рис. А.5).

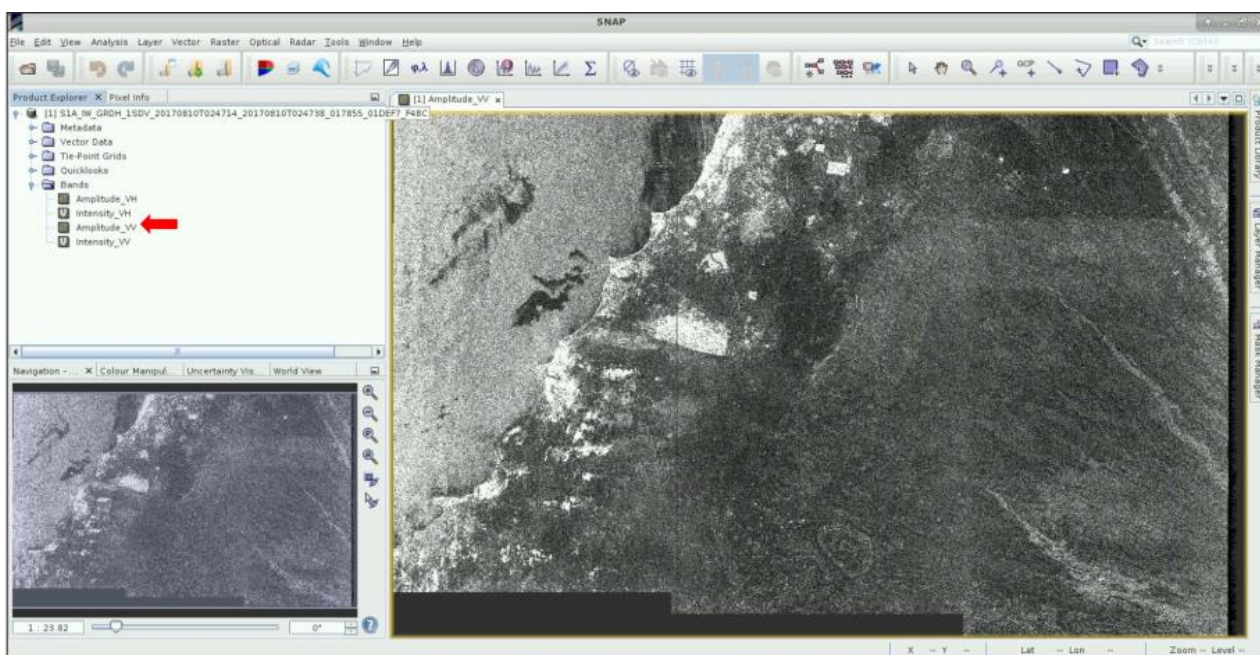


Рисунок А.5 – Результат візуалізації завантаженого файлу

Щоб скоротити час обробки алгоритму, ми підмножуємо зображення в область, що цікавить нас. Натисніть «Raster» -> «Subset» (Растр -> Підмножина). На вкладці «Spatial Subset» (Просторова підмножина) вкажіть наступні параметри на вкладці «Pixel Coordinates» (Координати пікселів) і натисніть кнопку «ОК» (рис. А.6):

- Початок сцени X: 3065;
- Початок сцени Y: 3659;
- Кінець сцени X: 8861;
- Кінець сцени Y: 7208.

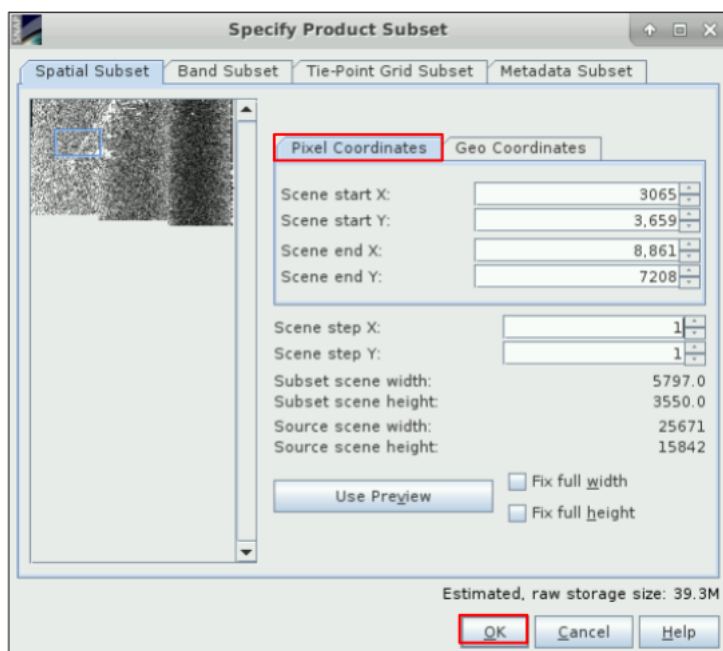


Рисунок А.6 – Параметри на вкладці «Pixel Coordinates»

Підмножина продуктів буде відразу створена, але не буде збережена на жорсткому диску. Клацніть правою кнопкою миші продукт підмножини (індекс [2]) і виберіть пункт Зберегти продукт. Задайте шлях до робочої папки та натисніть «Зберегти». Якщо з'явиться спливаюче вікно, натисніть «Yes». Потім натисніть «+», щоб розгорнути вміст файлу, розгорніть папку «Bands» і двічі клацніть «Amplitude_VV», щоб візуалізувати його.

Для покращення зображення необхідно скористуватися спекл-фільтром (Speckle filter). Ефект спекл-шуму є звичайним явищем у системах SAR. Це надає зображенням SAR деталізований вигляд та випадкові просторові варіації. Джерело цього шуму пояснюється випадковими перешкодами між відбитими когерентними сигналами. Принцип спекл-фільтрації полягає у зменшенні дисперсії складного крапчастого розсіювання та покращенні оцінки коефіцієнта неспекл-розсіювання. Щоб зменшити звичайний ефект текстурування зображень SAR, потрібен спекл-фільтр. Натисніть «Radar» -> «Speckle Filtering» -> «Single Product Speckle Filter».

На вкладці «I/O Parameters» виберіть в якості вхідних даних продукт підмножини, створений раніше (індекс [2]), і встановіть вихідну папку наступним шляхом. На вкладці «Processing Parameters» всі параметри залишаються за замовчуванням. Натисніть «Run» та відобразіть результат після цього (рис. А.7). Натисніть «+», щоб розгорнути вміст файлу (індекс [3]), потім розгорніть папку «Bands» і двічі клацніть «Amplitude_VV», щоб візуалізувати його (рис. А.8).

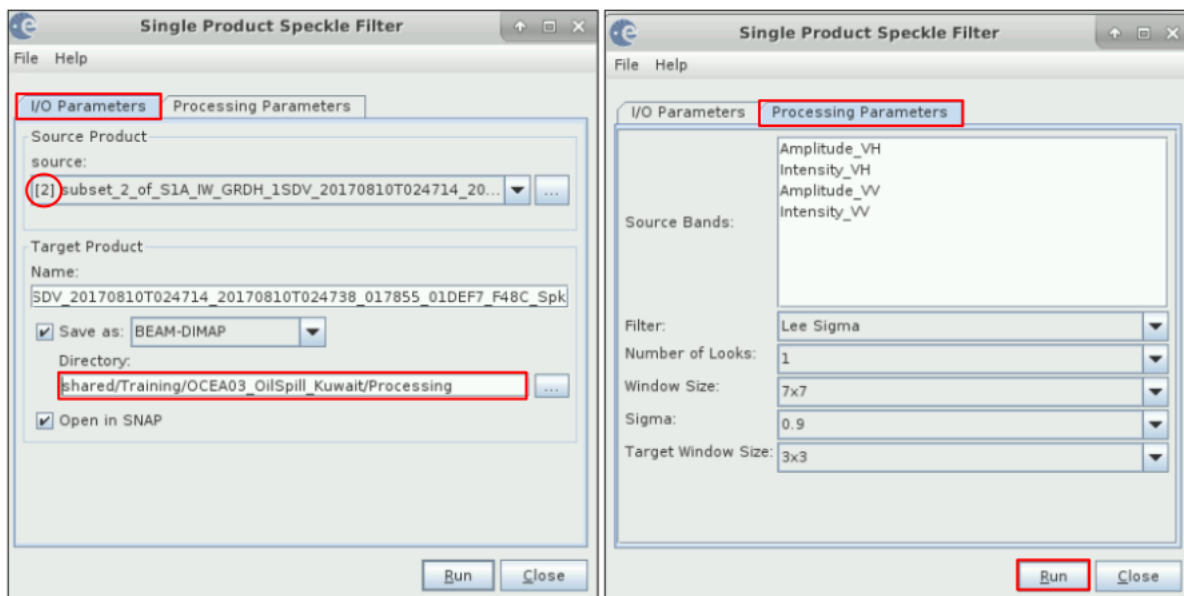


Рисунок А.7 – Налаштування для спекл-фільтрації

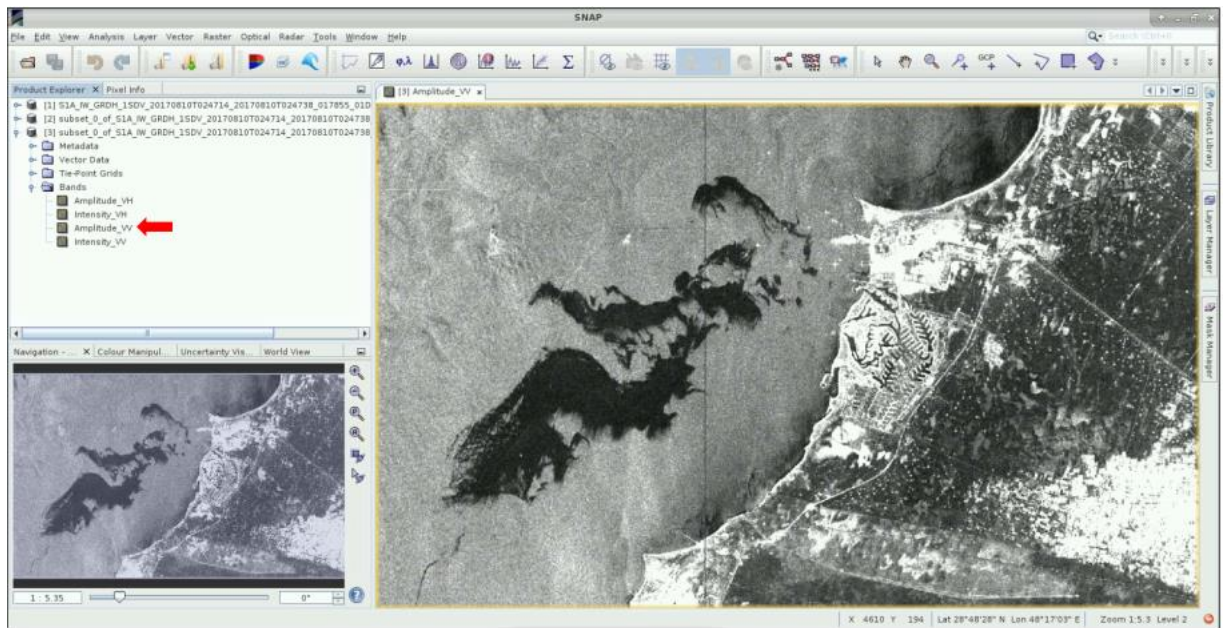



Рисунок А.8 – Результат після застосування спекл-фільтру

Щоб візуалізувати, як розлив нафти впливає коефіцієнт відображення сигналу SAR, ми можемо відобразити профіль значення сигма-нуль (σ^0) у режимі поляризації VV. Клацніть значок інструмента малювання лінії  та проведіть лінію через розлив нафти, яка починається та закінчується в зоні, не пов'язаної із розливом нафти (рис. А.9).

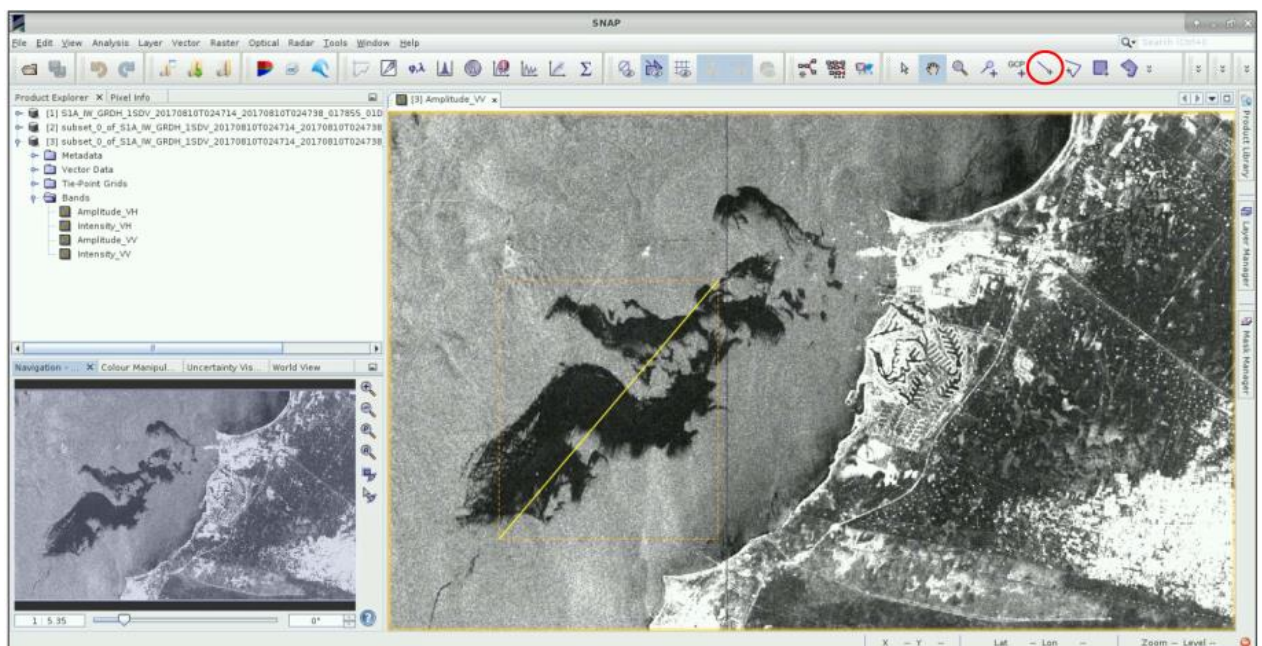


Рисунок А.9 – Лінія через розлив нафти

Натисніть «Analysis» -> «Profile Plot». Змініть параметр «Box size», щоб налаштувати графік та проаналізувати його (рис. А.10).

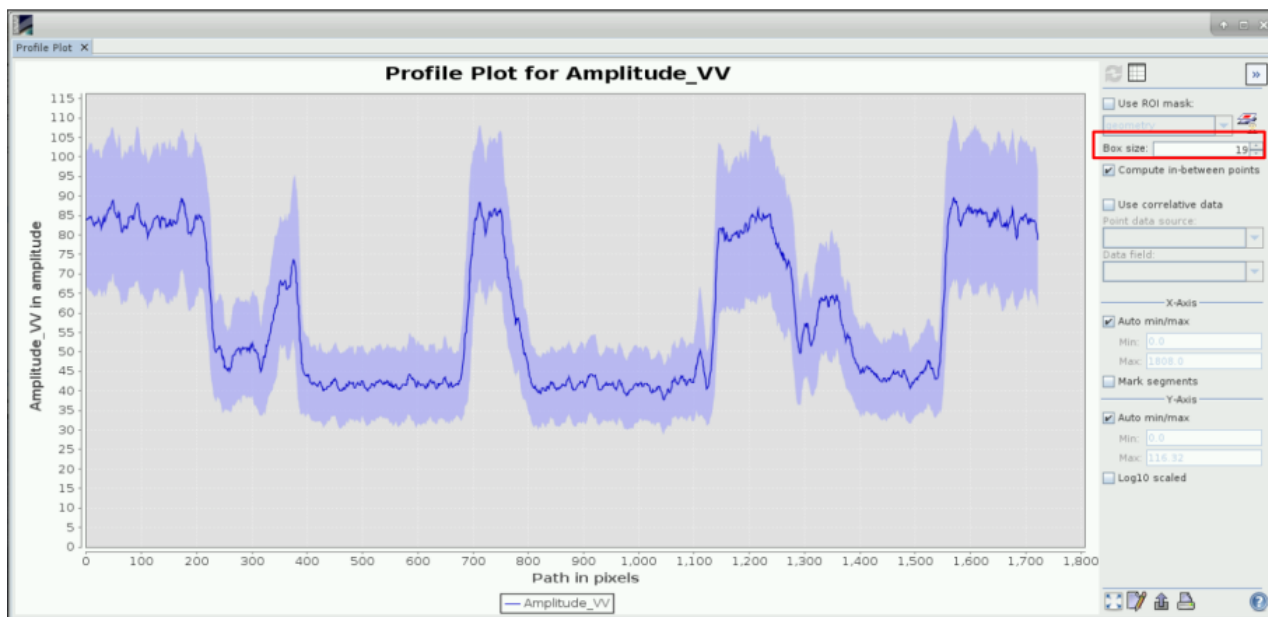


Рисунок А.10 – Графік профілю значення σ^0 у режимі поляризації VV

Для виявлення розливів нафти в океані ми будемо використовувати дані Sentinel-1 та спеціальний інструмент, який пропонує для цього SNAP. Проте слід наголосити, що виявляються лише «можливі розливи нафти», оскільки деякі специфічні океанічні умови можуть генерувати візуальні образи, аналогічні розливу нафти.

Можливості всепогодного та цілодобового зондування, просторове охоплення, час повторного відвідування та розсіювання сигналу SAR – ось деякі з особливостей, які дозволяють використовувати Sentinel-1 як джерело інформації для програми спостереження за розливами нафти. Зворотне розсіювання сигналу SAR над океаном переважно є результатом хвилювання моря (тобто коротких гравітаційно-капілярних хвиль). Нафтові плівки зменшують шорсткість морської поверхні і, отже, зворотне розсіювання. Це призводить до того, що плями виглядають темнішими на зображеннях SAR, ніж області без плям. Однак контраст між забрудненими та незабрудненими ділянками залежить від різних параметрів, таких як висота хвилі, швидкість

вітру, тип нафти та характеристики датчика (довжина хвилі, поляризація, кут падіння).

Зображення SAR над океанами зазвичай містять океанічні та атмосферні явища, які називаються двійниками, які можуть викликати помилкові спрацьовування сигналізації. Вони гасять короткі хвилі та створюють темні плями на поверхні, через що їх важко відрізнити від розливів нафти. Двійники включають природні плівки/сліки, жирний лід, області з певною швидкістю вітру, дощові осередки, внутрішні хвилі і т.д.

Натисніть «Radar» -> «SAR Applications» -> «Ocean Applications» -> «Oil Spill Detection». Інструмент включає деякі етапи попередньої обробки, такі як маскуванню місцевості і калібрування, а також необхідний алгоритм для виявлення можливих розливів нафти. Виконайте вказівки, щоб заповнити параметри кожної вкладки (рис. А.11):

- Read → вибрати продукт з спекл-фільтром (індекс [3]).
- Land-Sea-Mask та Calibration → усі параметри залишаються за замовчуванням.
- Calibration → Виберіть як вихідний діапазон лише Sigma0_VV. Встановіть розмір фонового вікна на 1400 і зсув порога (дБ) на 3,5.
- Oil-spill-clustering → параметр залишається за замовчуванням
- Write → встановіть ім'я виводу «Oil_Spill_detection_spk_1400_3_5» та виберіть шлях для збереження.

Інструмент виявлення розливів нафти включає два етапи попередньої обробки: маскуванню внутрішніх областей і радіометричне калібрування, щоб значення пікселів дійсно відображали зворотне розсіювання радара поверхнею, що відбиває. Після цих кроків попередньої обробки темні плями виявляються з використанням алгоритму адаптивного порога, в якому середній рівень локального зворотного розсіювання оцінюється з використанням пікселів у великому вікні. Потім поріг встановлюється на «к» децибел нижче за локальне середнє значення, розраховане раніше. Пікселі в межах вікна зі значеннями нижче за поріг виявляються як темна пляма. Нарешті, виявлені пікселі

грубуються в один кластер, а ті, розміри яких менше попередньо визначеного розміру, обраного користувачем, видаляються.

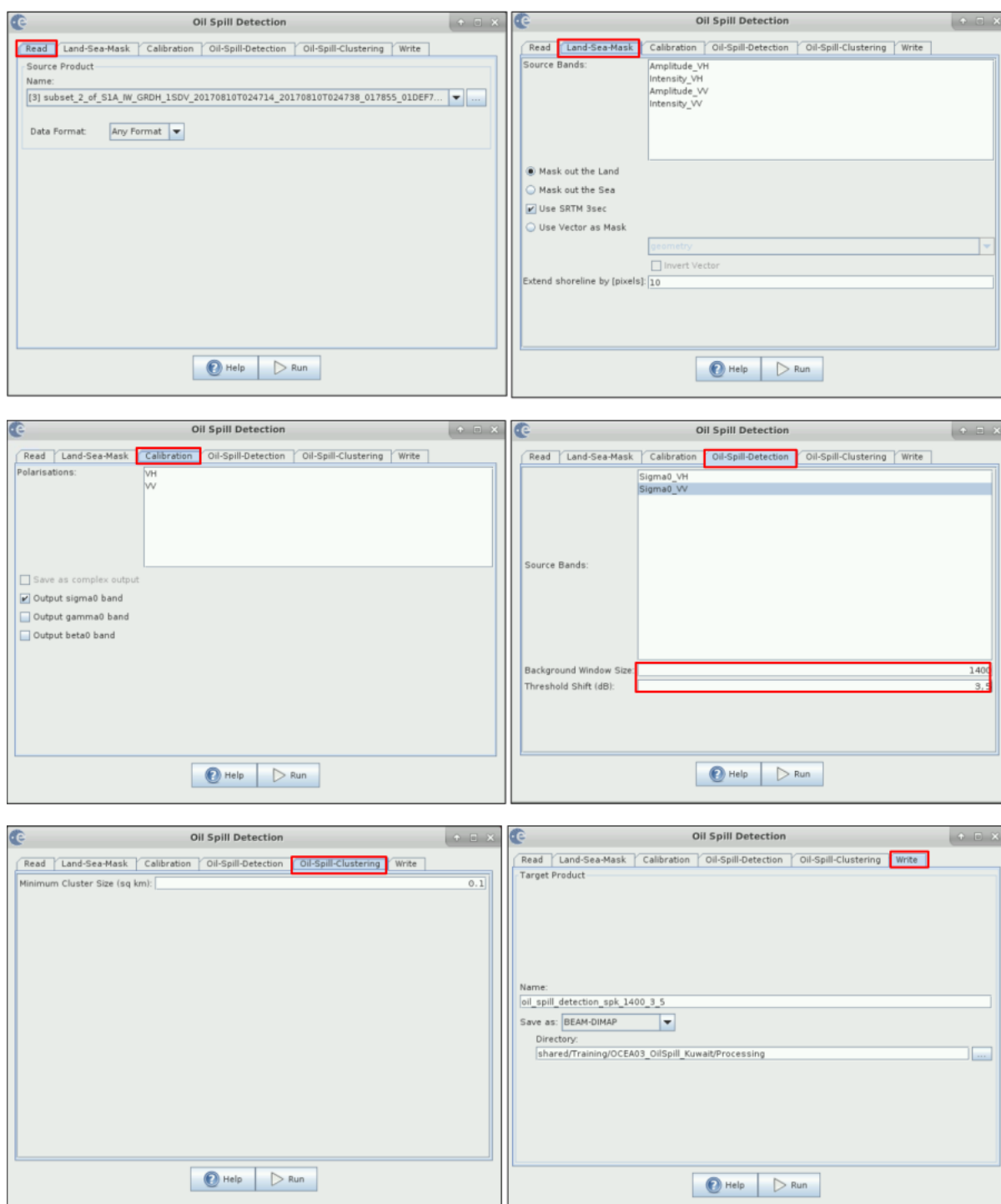


Рисунок А.11 – Вказівки для заповнення параметрів кожної вкладки

Вихідний продукт створюється у вигляді бінарної маски, яку можна знайти у папках «Bands» або «Masks» продукту [4]. Розгорніть папку «Bands» і

відкрийте групу «Sigma0_VV». Щоб покращити візуалізацію та контрастність, ми можемо перетворити значення пікселів, використовуючи шкалу децибел. Для цього клацніть правою кнопкою миші смугу «Sigma0_VV» і виберіть «Linear to/from dB». У спливаючому вікні натисніть «Yes». Зображення буде створене та збережене як віртуальна група. Щоб зберегти його, клацніть правою кнопкою миші смугу «Sigma0_VV_db» та виберіть «Convert band» (Перетворити смугу). Потім двічі клацніть на ньому, щоб візуалізувати його.

Щоб краще візуалізувати маску розливу нафти, відобразіть поверх SAR-зображення. Для цього відкрийте «Layer Manager» («Layer» -> «Layer Manager»), розкрийте папку «Mask» та позначте групу «Sigma0_VV_oil_spill_bit_msk_detection» (рис. А.12).

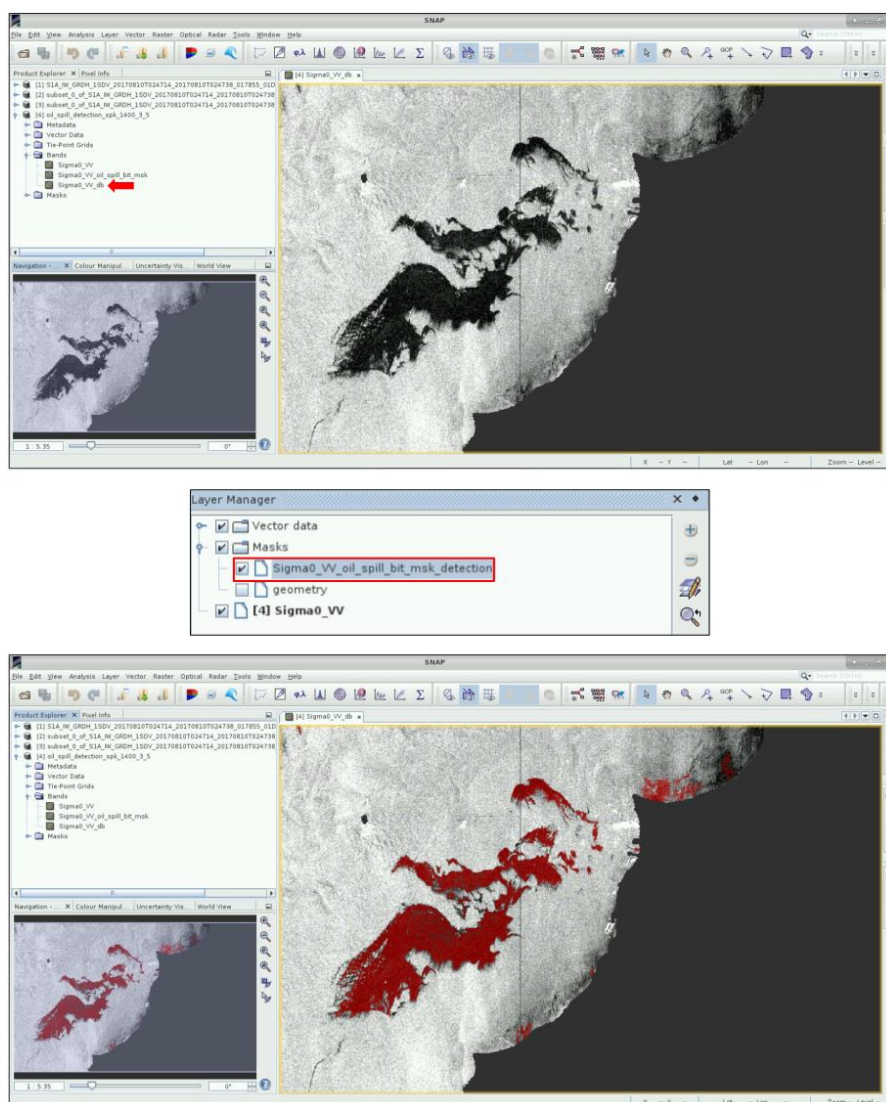


Рисунок А.12 – Етапи візуалізації маски розливу нафти

Після завершення виявлення розливу нафти ми можемо перепроєктувати наші дані в певну систему координат. Щоб виконати цей крок, ми будемо використовувати корекцію еліпсоїда.

Серед різних варіантів виконання геометричних поправок у SNAP ми використовуємо у разі поправки на еліпсоїд, а чи не поправку на дальність доплерівського рельєфу місцевості. Оскільки область нашого дослідження знаходиться над океаном, немає топографічних варіацій, які можуть призвести до геометричних спотворень зворотного розсіювання SAR.

Натисніть «Radar» -> «Geometric» -> «Ellipsoid Correction» -> «Geolocation Grid».

На вкладці «I/O Parameter» виберіть продукт для виявлення розливів нафти (індекс [4]) і переконайтеся, що вибрано правильний вихідний шлях. Потім натисніть вкладку «Processing Parameters», виберіть проєкцію «UTM/WGS 84 (Automatic)» та натисніть «Run» (рис. А.13).

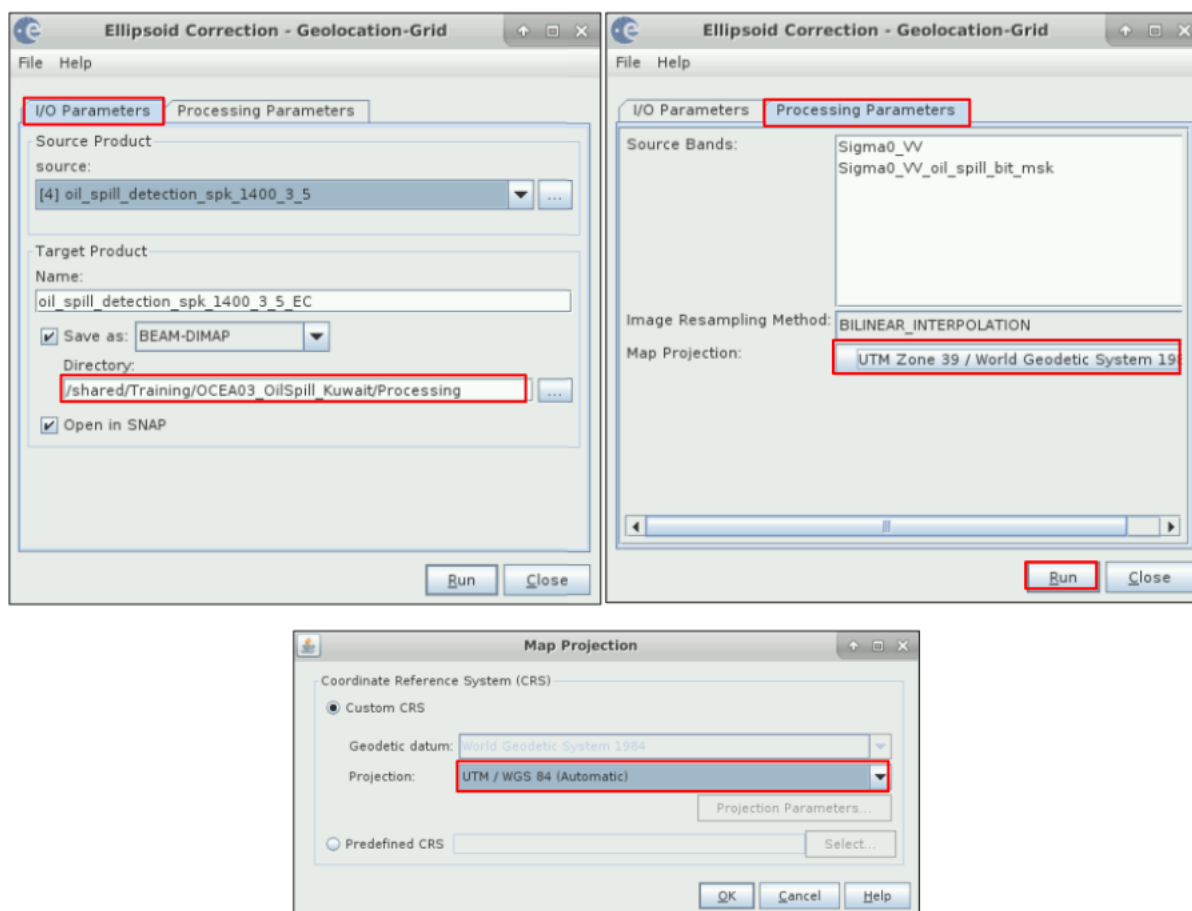


Рисунок А.13 – Перепроєктування зображення в певну систему координат

Дотримуйтесь тієї ж процедури, що й раніше, щоб зробити остаточну візуалізацію (рис. А.14).

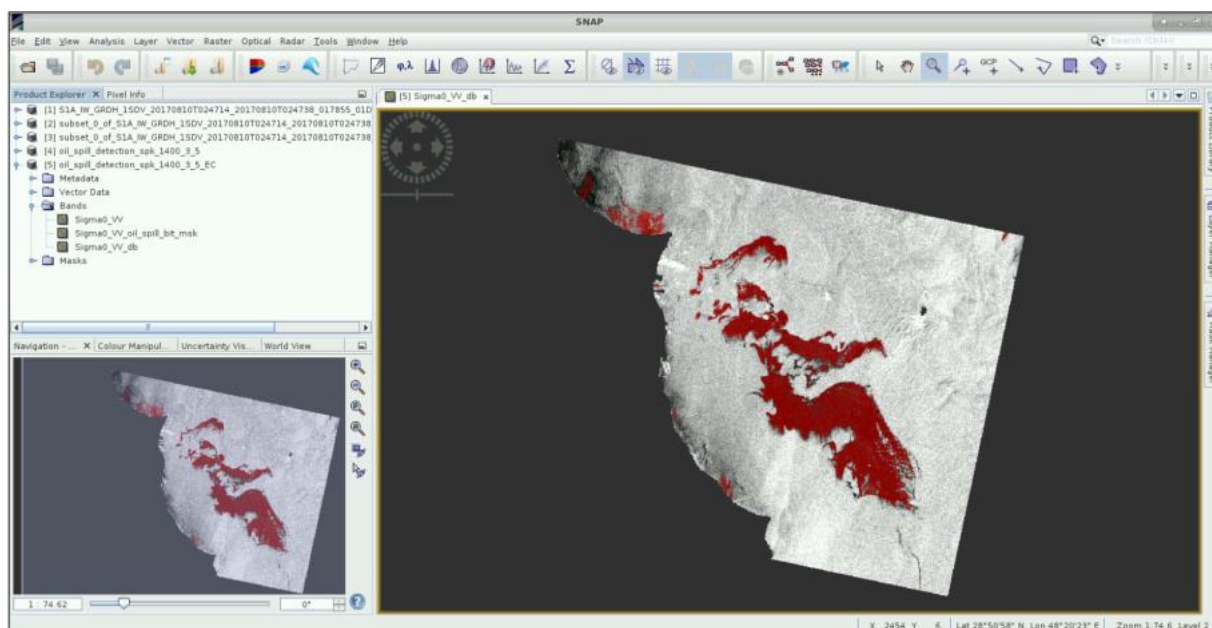


Рисунок А.14 – Результат перепроєктування зображення

Щоб експортувати результат у QGIS або GS Surfer, ми спочатку змінимо колір маски розливу нафти. Розгорніть перепроєктований продукт (індекс [5]), відкрийте папку «Bands» та відкрийте файл Sigma0_VV_oil_spill_bit_msk. Клацніть на вкладці «Color Manipulation» (нижній лівий кут) (або «View» -> «Tool Windows» -> «Color Manipulation»), виберіть редактор таблиці та встановіть для всіх кольорів червоний колір.

Як тільки колір зміниться, клацніть правою кнопкою миші зображення. Виберіть «Export View as Image». Виберіть необхідний шлях для збереження продукту, виберіть «Full Scene» у розділі області зображення та напишіть «Oil_Spill_Detection» як ім'я. Потім натисніть «Save» (рис. А.15).

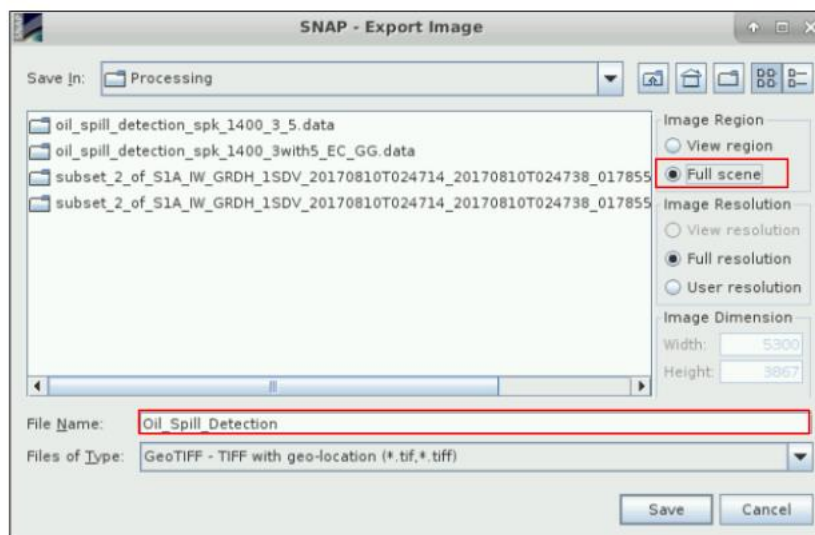
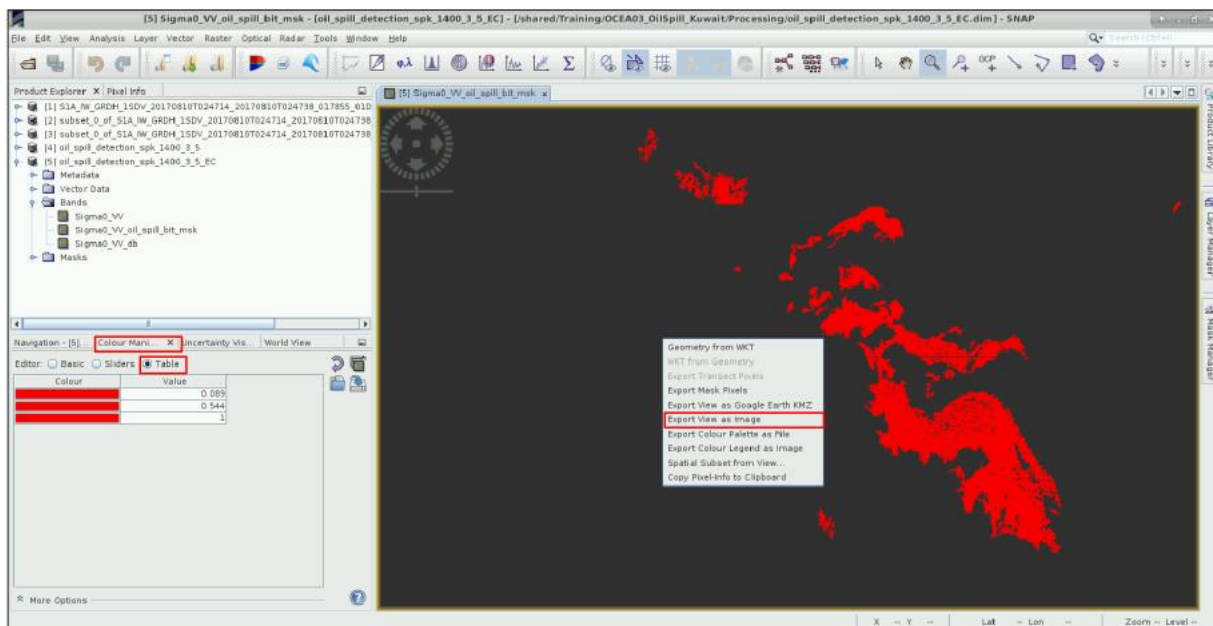
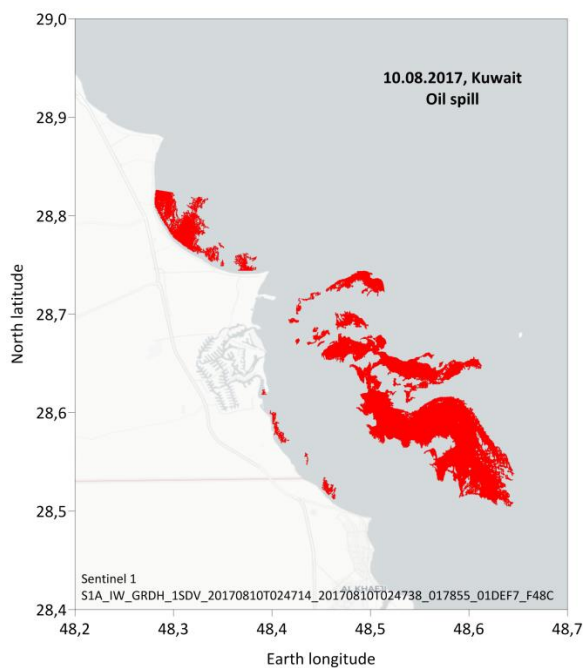


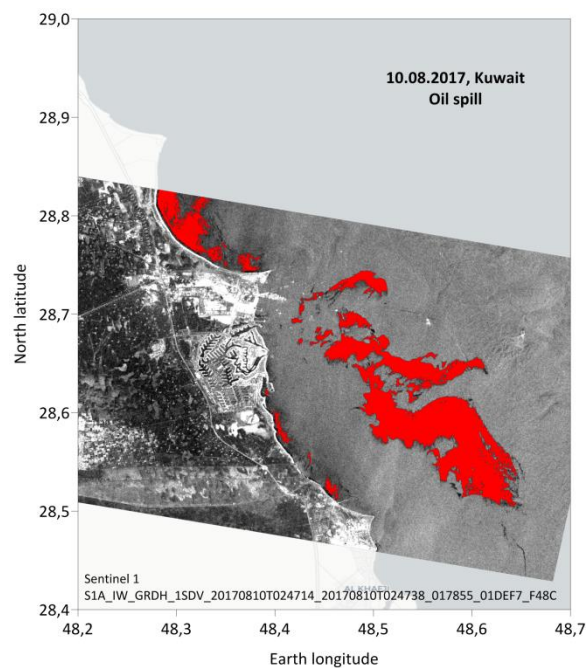
Рисунок А.15 – Збереження отриманого зображення

Для отримання остаточної карти розливу нафти ми скористуємося можливостями програмного забезпечення GS Surfer. Результат наведено на рисунку А.16.

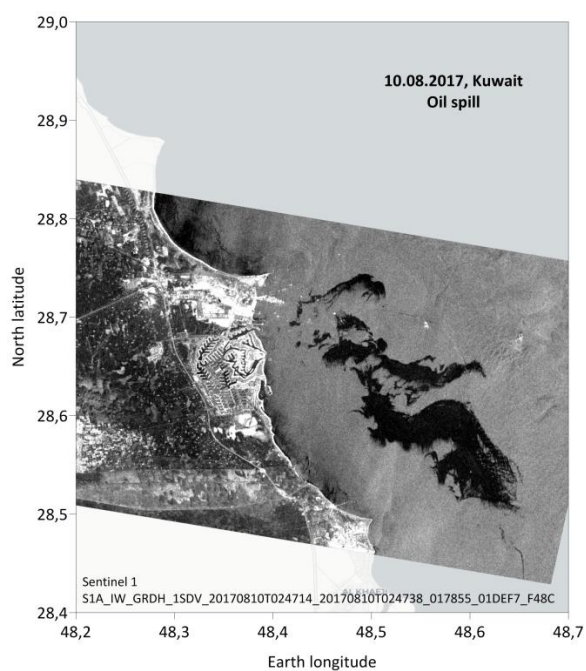
Подальша робота може бути направлена на опрацювання методик і алгоритмів з оцінки площ розповсюдження та товщин плівок розливів нафтопродуктів, а також виявлення розливів від затонулих кораблів, літаків, тощо, в північно-західній частині Чорного моря в результаті збройної агресії російської федерації.



а



б



в

Рисунок А.16 – Деякі можливі варіанти остаточних зображень нафтових розливів: а) маска; б) маска з картою розливу; в) карта розливу