



DOI: 10.36023/ujrs.2020.24.167

УДК 528.88:504.064.3:(551:551.351):622.323](262.54)

## Геодинамічне районування шельфу Азовського моря та екологічні проблеми при нафтогазовидобувних роботах

С. М. Єсипович, З. М. Товстюк, О. В. Титаренко, Т. А. Єфіменко\*, М. О. Свіденюк, О. А. Рибак, А. Д. Бондаренко, О. П. Головащук, І. В. Лазаренко

ДУ “Науковий центр аерокосмічних досліджень Землі ІГН НАН України”, вул. О. Гончара 55 Б, м. Київ, 01054, Україна

Алгоритм виділення геодинамічних зон базувався на аналізі геолого-геофізичних та тектонічних карт Азовського моря, батиметричній карті морського дна, даних перспектив нафтогазоносності, структурних карт за відбивними горизонтами у крейді, майкопі, сарматі та інших геологічних горизонтах, карт інженерно-геологічного районування та карт потужностей відкладів, з урахуванням особливостей спектральних характеристик водної поверхні на космічних знімках. Отримано просторовий розподіл температури поверхні Азовського моря за допомогою знімальної апаратури MODIS AQUA за останні три роки (квітень, травень, вересень місяці).

З метою уточнення меж геодинамічних зон проведена інтелектуальна інтеграція геопросторових даних результатом якої стала схема розташування геодинамічних зон на шельфі Азовського моря. Обґрунтовано створення моделі формування корисного сигналу на космічних знімках морської поверхні з метою оцінки їх екологічної безпеки при нафтогазовидобувних роботах.

За результатами обробки всієї наявної інформації було встановлено наступне: найбільші екологічні проблеми можуть виникнути при експлуатації покладів в південній геодинамічній зоні, більш безпечною в екологічному відношенні при нафтогазовидобувних роботах є геодинамічна зона в центральній частині моря. До найбільш безпечних зон слід віднести північну прибережну зону шельфу.

**Ключові слова:** тектоніка, корисний сигнал, Індоло-Кубанський прогин, Азовський вал, екологічна безпека, структурні карти по відбивних горизонтах, майкопська товща, грязьовий вулканізм, теплове поле, інтелектуальна інтеграція, геодинамічна зона, космічні знімки

© С. М. Єсипович, З. М. Товстюк, О. В. Титаренко, Т. А. Єфіменко, М. О. Свіденюк, О. П. Рибак, А. Д. Бондаренко, О. П. Головащук, І. В. Лазаренко. 2020

### 1. Вступ

Азовське море — унікальний природний об’єкт, який, на жаль, відноситься до найбільш забруднених морів. Головні риси екологічної кризи у Азовському морі є забруднення морського середовища токсичними речовинами. Найбільшу екологічну небезпеку на шельфі Азовського моря являють наступні фактори: ендегенний, техногенний та екзогенний. Порушення загальних норм природокористування на морському шельфі при виконанні промислових робіт по видобутку вуглеводнів (ВВ) може привести до екологічної катастрофи на Азовському морі.

### 2. Актуальність досліджень

У 2001 р. парламент України схвалив закон про Загальну державну програму охорони та відтворення довкілля Азовського та Чорного морів. Протягом декількох десятиріч років Український науковий центр екології моря (“УкрНЦЕМ”) здійснює моніторингові спостереження в Чорному та Азовському морях у рамках Національної програми “Державного екологічного моніторингу Чорного і Азовського морів” та міжнародної програми “Black Sea Environment Programme” (BSEP) (Екологічний стан довкілля..., 2008).

\* E-mail: [yefimenko1751@gmail.com](mailto:yefimenko1751@gmail.com)

Техногенним фактором є забруднення побутово-промисловими стоками, діяльність портів та рейдових перевалок вантажів (підприємства і порти м. Маріуполь: металургійний комбінат “АЗОВСТАЛЬ”, концерн “АЗОВМАШ”), діяльність нафтогазопромислів на шельфі (будівництво платформ, трубопроводів, викиди газу, нафти, бурового шламу та нафтопродуктів при експлуатації та аваріях свердловин).

Природним фактором є руйнування берегів (абразія, зсуви), згінно-нагінні явища, які викликають хвильове переміщення водних мас до самого дна, обумовлюють вторинне замулення, знищення піщаних кіс. При цьому піднімається до водної поверхні каламуть жовто-бурого кольору (пелітова фракція), що призводить до зменшення прозорості води, порушення кисневого обміну між водою та атмосферою. Аналогічні процеси відбуваються і при будівництві платформ, трубопроводів. Гинуть нерестовища, створюються некротні зони, відбувається зміна структури ґрунтів. Окрім цього, наведені явища можуть бути небезпечними для функціонування трубопроводів. Особливо це небезпечно в межах Керченсько-Таманського поясу грязьового вулканізму. Інтенсивна абразія, зсуви можуть бути екологічно небезпечними при експлуатації прибережних родовищ ВВ (Приморське, Стрілкове та ін.) Рівень забрудненості донних відкладів Азовського моря нафтопродуктами можна віднести до високого рівня — 7–8 балів.

Ендегенний фактор забруднення при нафтогазовидобув-

них роботах відноситься до головних ризиків виникнення екологічних катастроф на шельфі Азовського моря. Це сейсмічність регіону, грязьовий вулканізм, глибини залягання та літологічний склад продуктивних горизонтів.

Актуальність проведених досліджень полягає у встановленні величин факторів ризику виникнення екологічних катастроф при виконанні бурових робіт по видобутку вуглеводнів (ВВ) на шельфі.

### 3. Основна мета та задачі дослідження

Основною метою досліджень було вивчення геодинамічних процесів, що відбуваються в різних частинах шельфу Азовського моря, які можуть впливати на екологічну безпеку акваторії. Дослідження виконувалися на базі аналізу тектонічної будови, особливостей розповсюдження та залягання різновікових осадових товщ і продуктивних нафтогазових горизонтів, сейсмічності регіону, особливостей грязьового вулканізму, та аналізу оптичних характеристик морської поверхні, які можуть відрізнятися в різних геодинамічних зонах. При цьому вирішувалося основне завдання досліджень — визначення меж геодинамічних зон шельфу Азовського моря, де найбільш безпечно проводити видобуток вуглеводнів (ВВ).

За даними космічної зйомки (КЗ) Українського центру моніторингу Землі і ресурсів на початку XXI ст. у басейні Чорного та Азовського морів щороку фіксують 20–30 випадків розливу нафти, в тому числі і при аваріях на бурових платформах і трубопроводах. Одна тонна нафти розтікається по воді тонкою плівкою на площі 12 км<sup>2</sup> і повністю блокує обмін речовин між атмосферою та водою. Під час експлуа-

тації тільки однієї свердловини в межах мілководного Азовського шельфу в море потрапляє від 30 до 120 т нафти та інших нафтопродуктів, 150–400 т бурового шламу і 200–1 000 т інших бурових відходів, у тому числі пластових вод, що містять важкі метали, радіоактивні матеріали з родовищ. Концентрація нафтопродуктів в Азовському морі перевищує гранично допустиму концентрацію в 10 разів.

Нафтові забруднення водного середовища навіть у незначній кількості (92 мг/дм<sup>3</sup>) смертельні для фітопланктону. 1 кг нафти на поверхні води вбиває близько 100 млн мальків риби. При ліквідації платформ гине до 5 тис. екземплярів осетра, 1 млн одиниць судака, камбали, 1 000 дельфінів Забруднені пляжі непридатні для експлуатації кілька років.

Джерелами утворення шкідливих речовин на родовищі газових свердловин та пункти очищення газу. Забруднення середовища відбувається в усті свердловини при її продувці, капремонті, дослідженні та освоєнні свердловини, при прориві труб газопроводів При горінні газових факелів повітря забруднюється оксидами азоту, вуглецю, метану. При приготуванні бурового розчину в повітря відбувається викид пилу. Під час експлуатації свердловин об'єм бурового шламу на морському дні досягає 400 т.; що призводить до руйнації біоценозів.

Під час капітального ремонту на буровій свердловині № 82 (родовище газу Стрілкове) 29. 08. 2011 р. відбувся викид газу. Робітники були евакуйовані. Аварія швидко ліквідована, вплив на довкілля незначний (Звіт з оцінки..., 2018). Дані про екологічний стан повітря та донних відкладів наведені в Таблиці 1 і Таблиці 2.

При проектуванні бурових установок значну увагу слід приділити палеогеографічним умовам та літологічному скла-

Таблиця 1.

Сумарні викиди забруднюючих речовин в атмосферне повітря (Звіт з оцінки впливу..., 2018)

№№ з/п	Найменування забруднюючої речовини	Код	ГДК мг/м <sup>3</sup>	ОБРД мг/м <sup>3</sup>	Клас безпеки	Обсяг утворення викидів/рік
1	Заліза оксид	123	0.4		3	0.001
2	Марганець і його сполуки	143	0.01		2	1.2E-04
3	Азоту діоксид	301	0.2		2	0.5713
4	Вуглецю оксид	337	5.0		4	0.7561
5	Ксилол	616	0.2		3	0.0012
6	Сольвент нафта	2750	0.2			0.0011
7	Уайт-спірит	2752	1.0			0.0014
8	Метан	410	50.0			3.030
9	Пил неорганічний. з вмістом діоксиду кремнію в %: — вище 70 (динас та ін.)	2 907	0.15		3	0.005
10	Азоту оксид	304	0.4		5	0.0305
11	Сажа	328	0.15		3	0.0027
12	Ангідрид сірчистий	330	0.5		3	0.0068
13	Формальдегід	1 325	0.035		2	0.00068
14	Бензопірен	703	1.0		1	7.4E-08
15	Вуглеводні насичені C12–C19	2 754	1.0		4	0.0162
16	Ентаніол (етилмеркаптан)	1 728	0.003		—	0.002
Загалом:						4.426

Забруднюючі речовини. для яких не встановлені ГДК (ОБРД) в атмосферному повітрі населених міст (парникові гази)

1 1	Вуглецю діоксид	—	—	—		15.548
Загалом:						15.548

Таблиця 2.

Статистичні характеристики вмісту важких металів (мг/кг сухої ваги) у донних відкладах району газового родовища, серпень 2018 р. (Звіт з оцінки впливу..., 2018)

Інгредієнт	Мінімум	Максимум	Середнє
Cd, мг/кг	0.12	0.06	0.09
Cr, мг/кг	41.30	17.40	28.52
Cu, мг/кг	6.51	3.94	5.44
As, мг/кг	6.01	4.46	5.00
Hg, мг/кг	0.04	0.02	0.03
Pb, мг/кг	13.00	6.87	10.23
Zn, мг/кг	29.10	8.90	18.70
Fe, г/кг	11.10	4.10	7.90
знаходиться	12.30	4.15	8.09
Co, мг/кг	4.48	3.04	3.79

ду четвертинних і голоценових відкладів. Згідно зі схематичною картою інженерно-геологічного районування значна частина Азовського валу, Азово-Тимашівського уступу та Індоло-Кубанського прогину за інженерно-геологічним районуванням зайнята долинами палеорічок — Дону, Кубані, та їх вододілами.

Палеодолини характеризуються збільшенням потужностей водонасичених мулистих та черепашково-мулистих голоценових відкладів, що мають властивості стискуватися. На вододілах ґрунти щільні, консолідовані. Згідно з інженерно-геологічними розрізами це — морські відклади новосєвкїнсько-караганського горизонтів, алювіально-морські відклади древньоєвкїнського та новочорноморського горизонтів. Ці донні ґрунти моря відносяться до III категорії, за сейсмічною активністю. Вологість цих ґрунтів коливається від 17% до 43%, число пластичності — від 22 до 32, коефіцієнт супротиву здвигу — 0.12–0.15, коефіцієнт пористості — 0.76–1.19. Ці показники характерні для голоценових відкладів річок Дон і Кубань. При будівництві бурових платформ, трубопроводів в зоні сейсмічності в 6 балів (південна частина Індоло-Кубанського прогину) і ґрунтах III категорії (донні ґрунти Азовського моря відносяться до III категорії за сейсмічними властивостями слід враховувати сейсмічність в 7 балів. Особливо це стосується Керченсько-Таманського поясу грязьового вулканізму, де продуктивним матеріалом є майкопські глини з регіональною покришкою глин — “пливунів”. З 1951 р. фіксуються щорічні підводні виверження.

Властивість майкопських глин до стиснення, сейсмічна активність, грязьовий вулканізм відноситься до ендегенного фактору екологічних катастроф на шельфі. За картою сейсмічного районування СРСР (1983 р.) ([http://neotec.ginras.ru/neomaps/M240\\_Union\\_1983\\_Seism-region\\_Kartaseismicheskogo-rayonirovaniya-i-vulkanov-sssr.html](http://neotec.ginras.ru/neomaps/M240_Union_1983_Seism-region_Kartaseismicheskogo-rayonirovaniya-i-vulkanov-sssr.html)) більша частина узбережжя Азовського моря відноситься до п'ятибальної зони. Підвищена сейсмічність характерна для південної частини Азовського моря в межах Індоло-Кубанського прогину — разом з ділянками прилеглої суші і відноситься до шестибальної зони.

З техногенним фактором пов'язаний порив труб під час буріння, внаслідок стиснення глин, пливунів, нестійкість бурових свердловин, пошкодження донного субстрату зі знищенням донних біоценозів, виливи нафти та викиди газу. Слід брати до уваги рух льоду, з яким пов'язаний техногенний фактор (в кінці 90-х років в центрі Азовського моря крига зрізала бурову установку).

В районах розвитку екзогенних геологічних процесів та

інтенсивної техногенної дії можливе приращення сейсмічності. Так, на “Карті районування території України за ступенню інженерно-геологічного ризику” сейсмічність з техногенною складовою для більшої частини узбережжя Азовського моря складає 6–7 балів, а для південної — 7–8 балів (Грязевые вулканы Керченско-Таманской области. Атлас, 1986).

Сучасні тектонічні рухи в прибережній зоні Азовського моря досить значні за амплітудою і складають від 2.1 мм/рік до 2.6 мм/рік (Экологическая геология Украины, 1993).

#### 4. Методи дослідження та вихідні дані

Методика геодинамічного районування шельфу Азовського моря базувалася на інтерпретації результатів геолого-геофізичних досліджень на шельфі, аналізі морських ландшафтів, дешифруванні часових рядів космічних знімків та інтелектуальній інтеграції. Одним із головних завдань була розробка та обґрунтування алгоритму виділення геодинамічних зон шельфу та створення моделі формування корисного сигналу на космічних знімках морської поверхні з метою визначення меж геодинамічних зон шельфу та оцінки їх екологічної безпеки при нафтогазовидобувних роботах.

Алгоритм виділення геодинамічних зон (Рис. 1) базувався на аналізі гравіметричної карти Азовського моря, бати-

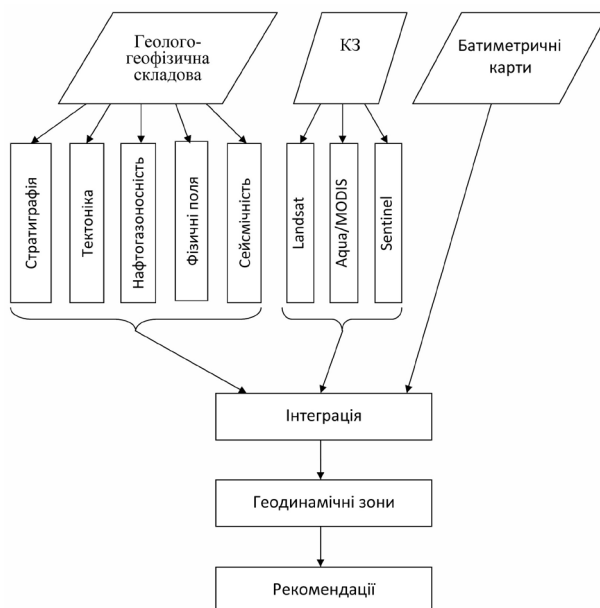
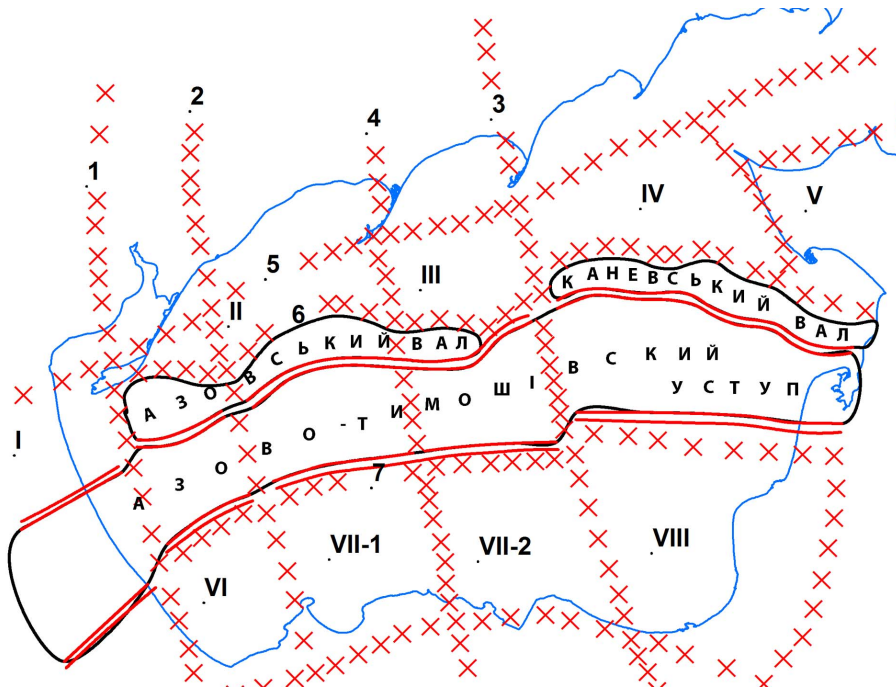


Рис. 1. Алгоритм виділення геодинамічних зон з різними ступенями загрози екологічних катастроф при нафтогазовидобуванні в межах Азовського моря

метричної карти морського дна, даних про перспективи нафтогазоносності, схеми тектонічної будови (Рис. 2) структурних карт по відбивних горизонтах у крейді, майкопі, сарматі та ін., карти інженерно-геологічного районування та картах потужностей по відкладах мезокайнозоя (Рис. 3), особливостях спектральних характеристик водної поверхні на космічних знімках, отриманих з різних космічних апаратів та інтеграції цих складових.

Азовське море в субмеридіальному напрямку перетинають три чітко виражені тектонічні шви та три субширотні шовно-розломні зони.

Аналіз потужностей осадових відкладів та структурних



**Рис. 2.** Схема тектоніки шельфу Азовського моря

Шовні рифтогенні зони: 1 — Бірючо-Південносиваська; 2 — Мелітопольсько-Казантипська; 3 — Бердянсько-Кубанська; 4 — Обіточно-Тарханська; 5 — Північна ШРЗ області зчленування Східно-Європейської платформи (СЄП) та Скіфської плити (СП); 6 — Південна ШРЗ області зчленування Східно-Європейської платформи (СЄП) та Скіфської плити (СП); 7 — Ачувсько-Південносиваська.

Серединні масиви та уламки серединних масивів: I — Джанкойський, II — Бірючий, III — Обіточний, IV — Бердянський, V — Сійський, VI — Західно-Індоло-Кубанський, VII-1 — Центрально (західно)-Індоло-Кубанський, VII-2 — Центрально (східно)-Індоло-Кубанський, VIII — Східно-Індоло-Кубанський, IX — Керченсько-Таманський, X — Східно-Чорноморський

карт за відбивними горизонтами осадових відкладів, починаючи з нижньої крейди до голоцену дозволив виділити геодинамічні зони, які в тій чи іншій мірі узгоджуються з тектонічною будовою шельфу (див. Рис. 2, 3). Аналіз потужностей відкладів нижньої крейди (апт-альб) та структурної карти по покрівлі нижньої крейди показав, що максимальні товщі цих відкладів розміщені в межах шовних зон та прогинів (епоха розширення та подальшого стиснення). В межах Азовського валу відклади крейди відсутні.

Під час верхнього міоцену-нижнього майкопу відбувалося стиснення планети (6 млн р.) з двома короткими розширеннями. В нижньому майкопі (4 млн р.) почалася епоха розширення, на початку середнього майкопу (2 млн р.) — епоха стиснення. У верхньому майкопі спостерігався підйом блоків. Саме з цим періодом пов'язують появу в товщі майкопу грубозернисту піщано-алевритисту фракцію.

На півдні Індоло-Кубанського прогину (ІКП) була сформована глиниста субформація потужністю 1 500–2 000 м. В межах південної зони ІКП в товщі середнього майкопу присутні дельтові та підводноканьонні відклади, конуси виносу.

Відклади верхнього майкопу представлені переважно глинистим складом. Глини пластичні, часто текучі, здатні стискуватися.

Аналіз карти потужностей відкладів майкопу показав, що Азовський та Канівський вали продовжують підніматися, утворюючи палеопідняття (обширна геодинамічна зона, де товща майкопу не перевищує 300 м). В межах західної частини шельфу спостерігається зона опускання, а в межах ІКП продовжується опускання і в межах цієї геодинамічної зони товща майкопу зростає від 1 100 до 4 500 м. Спостерігається значна успадкованість в розвитку геодинамічних зон, але в межах опущеної в крейді частини Північно-Азовського про-

гину формується підняття. Стабільне опускання в сарматі спостерігається в межах ІКП, а в межах Азовського валу — підняття. В нижньо-четвертинний період положення геодинамічних зон міняється: виділяються три практично ізолювані динамічні області опускання, розділені палеопідняттям північно-східного напрямку (Рис. 4).

Товща верхньочетвертинних відкладів чітко фіксує геодинамічні зони, що виділяють Азовський та Канівський вали, ІКП та Північно-Азовський прогин (ПАП). Така ж тенденція зберігається і в голоцені.

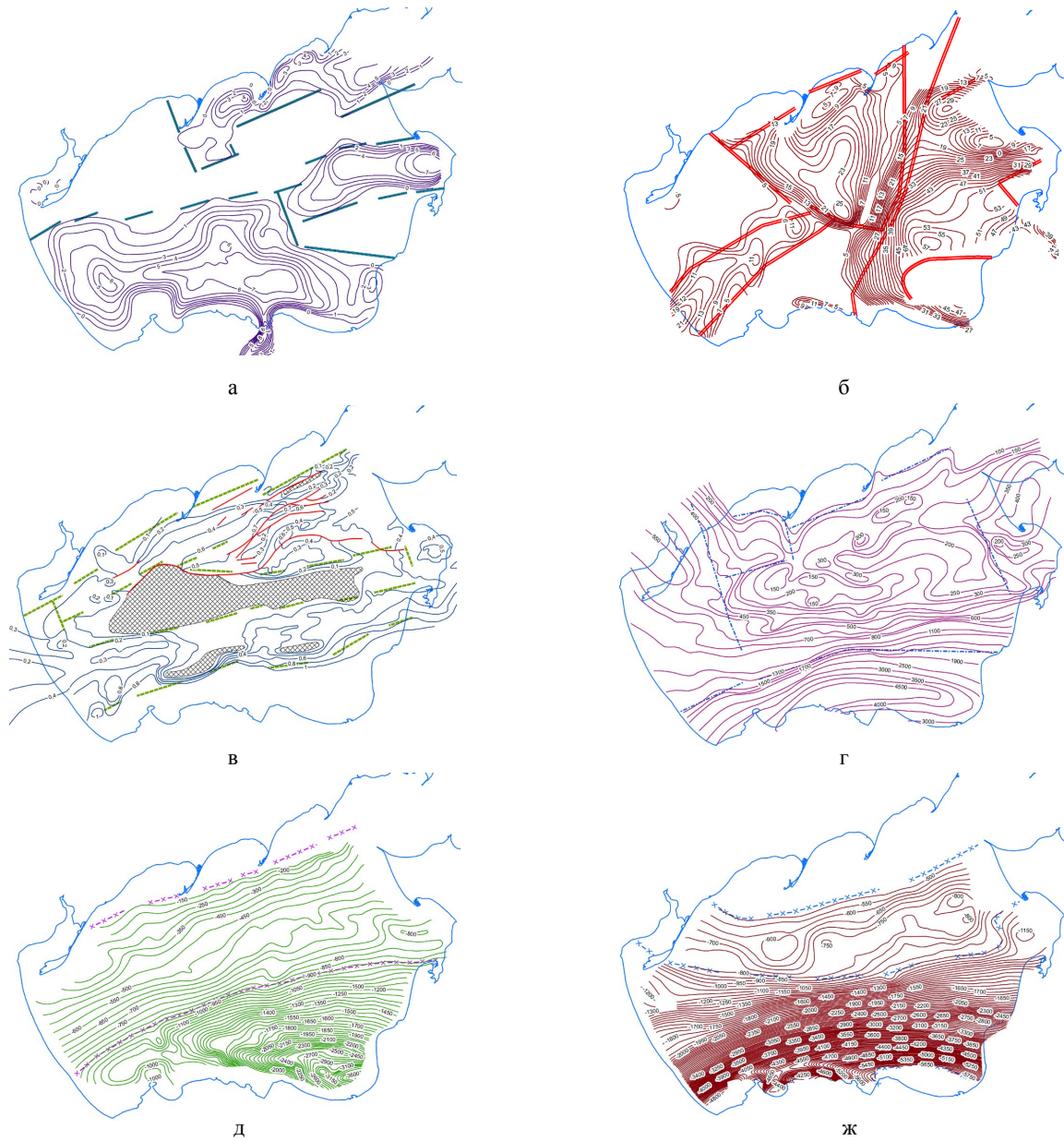
Таким чином, від початку нижньої крейди та до голоцену в акваторії Азовського моря відбувалися стійкі поперемінні тектонічні рухи, які сформували серію геодинамічних зон. Спостерігається стійке занурення Індоло-Кубанського прогину з формуванням потужних продуктивних майкопських відкладів, підняття Азовського валу та Азово-Тимашівського уступу в межах яких різко зменшується товща відкладів майкопу.

На основі аналізу геолого-геофізичної інформації, автори встановили, що область Індоло-Кубанського прогину є перспективним місцем Азовського моря для пошуку ВВ у відкладах майкопу, але в цій зоні розвинена регіональна майкопська субпокришка з явними властивостями “пливуна”. Останнє являє собою загрозу при виконанні бурових робіт.

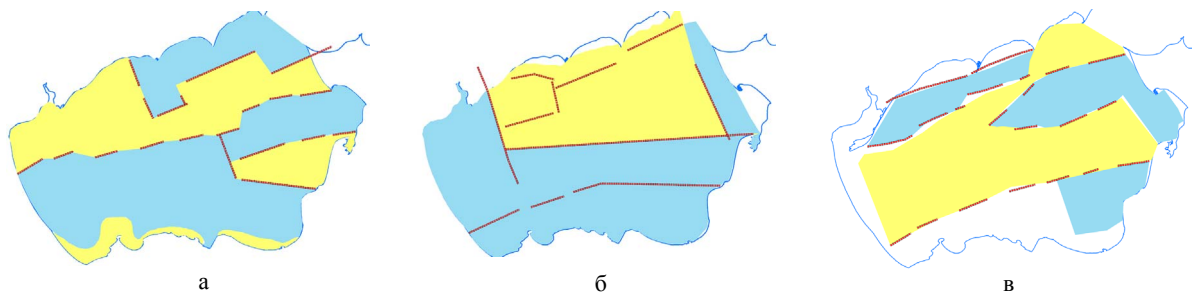
Саме з цим “пливуном” пов'язаний грязьовий вулканізм Керченсько-Таманського поясу (Рис. 5).

Тектонічна будова зони та генетична єдність локальних антиклиналей Каменського (Канівського) валу свідчить про єдине грязьовулканічне джерело та геодинамічний зв'язок окремих жерлових апаратів.

Широко відомо, що грязьовий вулканізм зосереджений лише у нафтогазоносних зонах світу (Грязевые вулкани Кер-



**Рис. 3.** Структурні карти потужностей голоцену (а), нижньо-четвертинних (б); палеоцен-еоценових (в); майкопських (г), структурна карта по покрівлі майкопу (д); та структурна карта підосви майкопу (ж) з виділеними геодинамічними зонами



**Рис. 4.** Схеми зон підняття та опускань в: а — голоцені, б — майкопі, в — нижній крейді (жовтий колір — зони підняття, голубий — зони опускань)

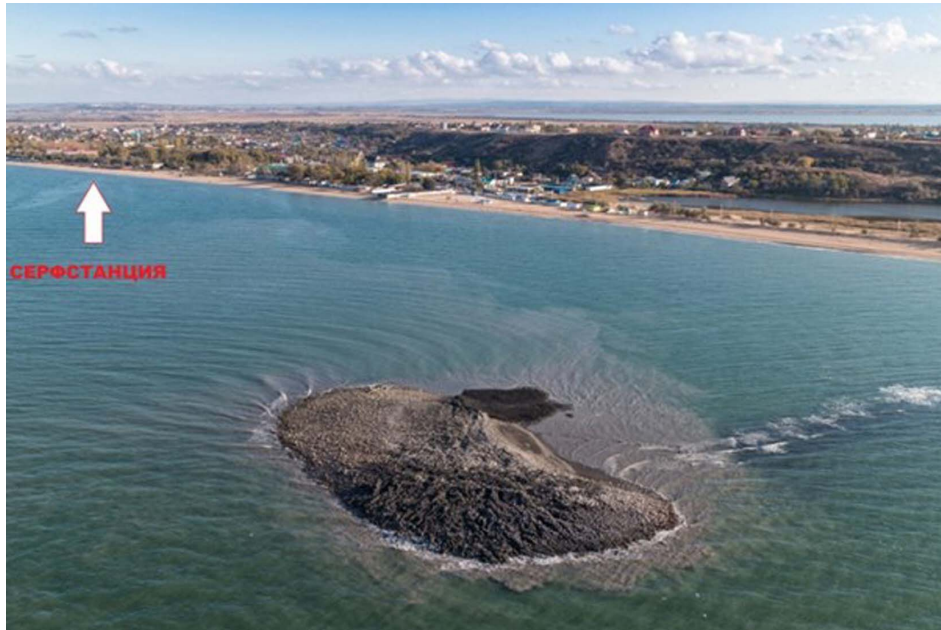


Рис. 5. Грязьовий вулкан Керченсько-Таманського поясу грязьового вулканізму

ченско-Таманської області. Атлас, 1986; Геология Азовського моря, 1974). Викид в атмосферу одного грязьового вулкана за час його існування може складати до 25.0 трлн куб. метрів газу, що більше, ніж первинні сумарні запаси таких родовищ, як Уренгойське, Медвеже та Ямбурське.

Крім низьких дебітів (20–60 л нафти на добу), що зростають в низах майкопу, в цій зоні гостро стоїть проблема технологічного характеру — нестійкість свердловин та забивання фільтрів глиною (нафтові родовища — в найбільш верхній частині розрізу над майкопською товщею, або в її верхній частині).

Ті ж самі проблеми стоять при видобутку нафти із відкладів середнього та верхнього майкопу. Донні ґрунти Азовського моря за сейсмічними властивостями відносяться до III категорії — жирні глини, суглинки, гравій, суглинки зі щабнем та галькою. Через нестійке положення свердловин та забивання глиною (пливуном, що здатен стискатися) фільтрів не змогли надійно випробувати продуктивний інтервал на морському родовищі Східно-Казантипському, де фактичний дебіт 25–35 тис. м<sup>3</sup>/добу.

Аналіз фактичних дебітів та положень продуктивних горизонтів в розрізі підтверджує те, що майкопський комплекс поріде регіональною субпокришкою з явними ознаками “пливуна”, який є перешкодою для існування суцільного каналу підводу ВВ від ШРЗ до поверхні моря. А низи майкопу знаходяться на технічно неможливих глибинах, тобто: проблеми інженерної геології (нестійкість свердловин, замулення фільтрів, великі глибини, зона грязьового вулканізму), висока сейсмічність (до 7–8 балів); геоекології — виливи нафти та викидів газу при аварійних ситуаціях на бурових платформах, пошкодження донних ґрунтів і донних біоценозів при побудові бурових платформ ставить видобуток ВВ в геодинамічній зоні Індоло-Кубансько-го прогину під сумнів.

Допоміжна інформація при виділенні геодинамічних зон була отримана при дешифруванні космічних знімків морської поверхні, де корисний сигнал включає геолого-геофізичну, сумарну радіаційну та ландшафтну складові. На жаль, отримати чітку інформацію по розташуванню меж геодинамічних зон не вдалось (Рис. 6).

З метою уточнення меж геодинамічних зон на шельфі Азовського моря була виконана інтелектуальна інтеграція геопросторових даних (товщі майкопських, верхньоміоценових та верхньочетвертинних відкладів).

Надійне та достовірне розв’язання реальних природо-ресурсних задач потребує аналізу великої кількості геопросторових даних, які необхідні для створення та уточнення геологічних моделей та тематичної інтерпретації отриманих результатів. Загальною практикою постає комбінування та спільна обробка багатьох шарів різноманітних геопросторових даних з різноманітних джерел. При цьому має проводитися комплексний аналіз всієї наявної сукупності геопросторових даних на територію, що вивчається; дистанційних (оптичних та мікрохвильових зображень, авіаційних і супутникових вимірювань), польових (геофізичних, геохімічних, фітометричних), раніше накопичених (геологічних та інших тематичних карт тощо) (Станкевич, 2012).

Зазвичай розділяють підготовчі процедури, що забезпечують можливість проведення спільного аналізу геопросторових даних — перетворення форматів, узгодження просторових екстенсів і датумів, просторова регуляризація, вибір методів обробки даних різної фізичної природи (інтеграція у вузькому сенсі) та власне семантико-орієнтовні процедури, спрямовані на отримання прикінцевих результатів геопросторового аналізу (цільова інтеграція) (Flowerdew, 1991; Giuliani, 2012).

Для просторового узгодження регулярних і нерегулярних растрових та векторних геоприв’язаних даних сучасні геоінформаційні технології забезпечують потужний арсенал методів — від простої сплайн-інтерполяції до фізичного моделювання (Решение задач..., 2012). Очевидно, що перед обробкою кількісні поля даних різної фізичної природи мають перетворюватися на певну єдину вимірювальну форму, наприклад, шляхом різного роду масштабування, нормування або фільтрування. Доцільно використати власні масштабні перетворення для кожного типу даних, щоб в результаті привести усі виміри до єдиного масштабу (Steed, 2013) (Рис. 7).

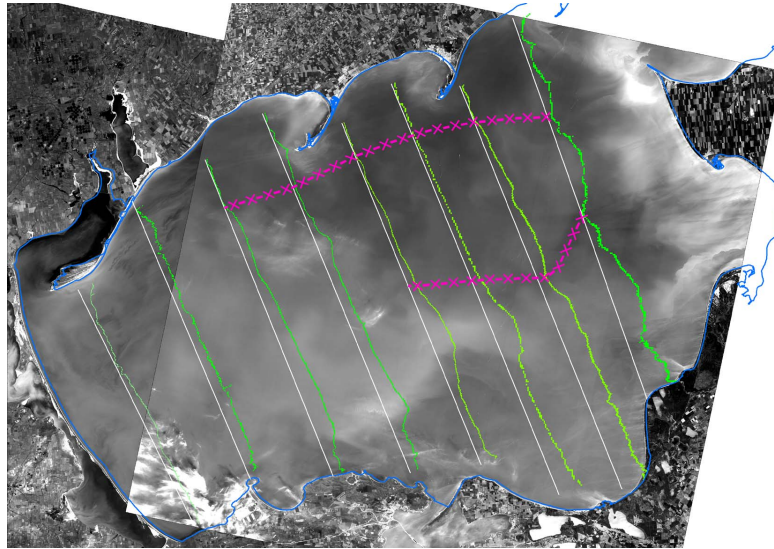


Рис. 6. Виділення меж геодинамічних зон за графіками змін оптичних характеристик морської поверхні на КЗ Landsat-8 — 2 канал: за 16 05 2019 та 24 08 2018

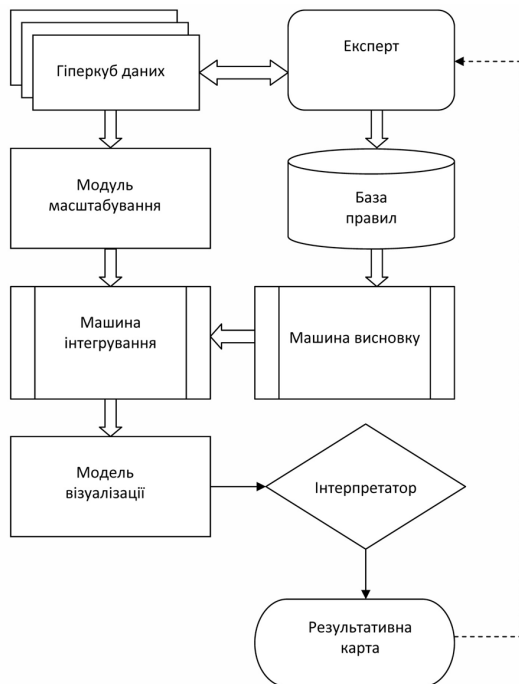


Рис. 7. Схема інтелектуальної інтеграції геопросторових даних

## 5. Результати досліджень

В результаті інтелектуальної інтеграції геопросторових даних була побудована схема розташування геодинамічних зон на шельфі Азовського моря (Рис. 8) (Станкевич, 2012; Du et al., 2011).

Геодинамічна зона I (Індоло-Кубанський прогин з потужною, глибокозалагаючою товщею майкопських продуктивних відкладів, які мають регіональну “субпокришку” з явними властивостями “пливуна”, що має здатність стискуватися і пережимати бурові труби та призводити до їх пориву, “пливуни в дельтових відкладах”), зона Керченсько-Таманського

поясу грязьового вулканізму, з високою сейсмічністю (7 балів) — це зона, в межах якої є найбільші проблеми виникнення екологічних катастроф.

Зона II (Азовський, Канівський вали, Азово-Тимашівський уступ) відноситься до території шельфу, де можливий середній рівень ризику виникнення екологічних катастроф, так як сейсмічність в цій зоні не перевищує 5 балів, тут значно менші глибини залягання майкопських відкладів, зменшена їх потужність та менша потужність регіональної покришки з “пливунами”.

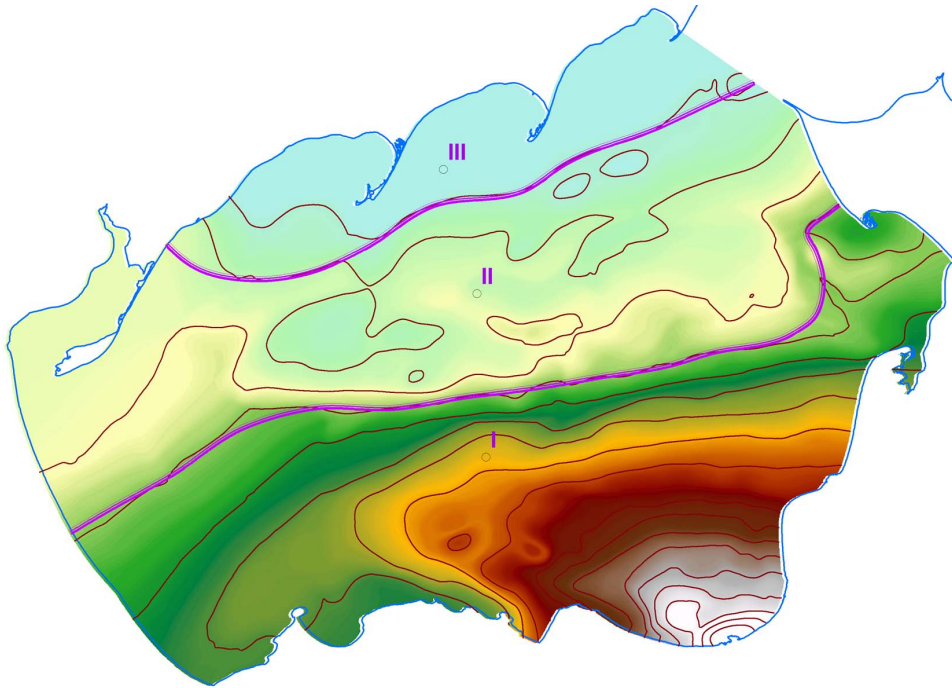
Зона III — незначний рівень виникнення екологічних катастроф. Потужність майкопських відкладів — 100–300 м, а в Чингульській зоні — товща майкопу коливається від 500 м на півночі геодинамічної зони до 3 500 м — на півдні. Невеликі глибини їх залягання, відсутність на значній площі дельтових пливунів, значне віддалення від поясу грязьового вулканізму, де сейсмічність не перевищує 5 балів, дає можливість віднести цю зону до перспективних з невеликими екологічними проблемами.

Аналіз теплового поля морської поверхні з метою встановлення меж геодинамічних зон виконувався за матеріалами КЗ.

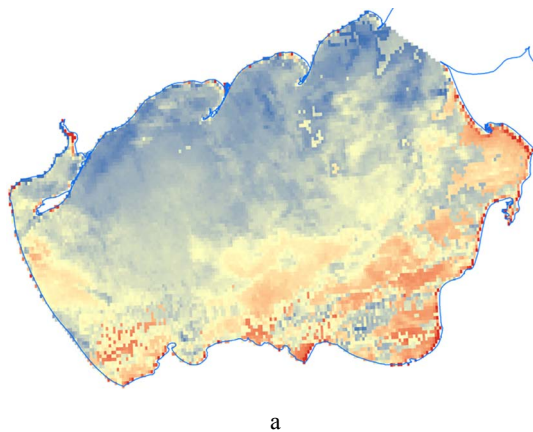
Сучасна знімальна апаратура MODIS AQUA дозволяє оперативно отримувати дані у тепловому ІЧ діапазоні. Характерною особливістю даного сенсора є зйомка одразу в трьох спектральних каналах ІЧ-С, що відповідає вікну прозорості атмосфери 4 мкм. В рамках дослідження було завантажено масив супутникових зображень SST-4, що надають інформацію про температуру поверхні моря в нічний час доби. Відібрані дані з урахуванням сезону зйомки, хмарності зображення та траси супутника було усереднено з використанням оператора у програмному середовищі SNAP. В результаті, отримано просторовий розподіл температури поверхні Азовського моря (Рис. 9 а)

Аналіз теплового поля за КЗ не дав допоміжної інформації щодо уточнення меж геодинамічних зон. На КЗ (див. Рис. 9 а) зафіксовані зони апвелінгу (темно-синій тон), обумовлені переважанням північно-східним та східним напрямком вітрів (Рис. 9 б).

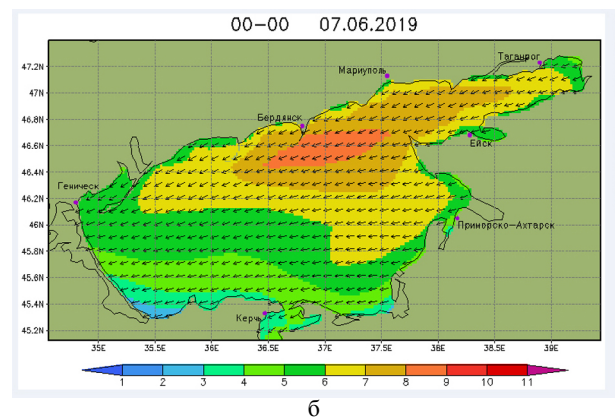
Середні значення теплового поля за останні три роки



**Рис. 8.** Схематична карта розташування геодинамічних зон на шельфі Азовського моря. Геодинамічні зони (I–III), виділені на базі схеми інтеграції геопросторових даних (товщі майкопських, верхньоміоцен–пліоценових та верхньочетверинних відкладів).



а



б

**Рис. 9.** Азовське море: а — КЗ SST MODIS (середнє значення за 2016–2018 рр.); б — схема швидкості та напрямку вітру

(квітень, травень, вересень) відображають згінно-нагінні явища водної поверхні Азовського моря. При переважаючих північно-східних та східних вітрах зі швидкістю 10 м/с і більше шар теплих вод товщею 1–1.5 м, рідше 4–5 м зміщується до західного та південного узбережжя Азовського моря.

На даному прикладі неможливо встановити зв'язок теплового поля з геодинамічними зонами.

## 6. Висновки

Виділені в межах шельфу Азовського моря геодинамічні зони на базі аналізу геолого-геофізичних матеріалів (геотектоніки, геологічної будови, карт потужностей осадових відкладів від нижньої крейди до голоцену) та їх інтеграції, характеризуються різною динамікою, різною геологічною будовою та сейсмічністю. Саме ці фактори можуть спричи-

нити виникнення екологічних катастроф при виконанні нафтогазовидобувних робіт на шельфі Азовського моря.

1. Найбільші екологічні проблеми можуть виникнути при експлуатації покладів в південній геодинамічній зоні I (Індоло-Кубанський прогин) в межах Керченсько-Таманського поясу грязьового вулканізму, який генетично пов'язаний з “пливунами” в майкопі. Згідно розрахунків, викид в атмосферу одного грязьового вулкану за час його існування може складати до 25.0 трлн м<sup>3</sup> газу, що більше ніж первинні сумарні запаси таких родовищ як Уренгойське, Медвеже та Ямбурське. Висока сейсмічна активність цієї зони (7–8 балів), наявність пливунів у відкладах палеодельт річок Кубань та Дон, де вологість ґрунтів III категорії збільшується від 40% до 90%, великі глибини залягання продуктивних горизонтів майкопи, підводний грязьовий вулканізм можуть привести до техногенних катастроф на бурових платформах (порив бурових труб,



нестійке положення свердловин, порив трубопроводів). Все це призводить до виливів нафтопродуктів в морське середовище. Це Літологічна (структура Літологічна) та Мисово-Північно-Керченська перспективна зона концентрації родовищ (структури: Західно-Булганацька, Мисова-1, родовища: Північно-Керченське, Східно-Казантипське, Північно-Казантипське і Північно-Булганацьке).

Аналіз теплового поля за космічними знімками показав, що в разі забруднення морської поверхні в північній частині шельфу Азовського моря вся маса техногенного бруду при переважаючих північно-східних і східних вітрах значної швидкості (10 м/с і більше) буде віднесена в південну та південно-західну частину шельфу — в геодинамічну зону в межах Індоло-Кубанського прогину (див. рис. 8). При аварії на буровій установці все це разом призведе до значної за розміром екологічної катастрофи.

- Більш безпечною в екологічному відношенні при нафтогазовидобувних роботах є геодинамічна зона II, що з півночі прилягає до Ачуєвсько-Південно-Сиваської (АП) ШРЗ (Азовський, Канівський вали, Азово-Тимашівський уступ). Східна частина цієї зони (Октябрсько-Морське-Обручівська) відноситься до перспективних зон концентрації родовищ ВВ (Октябрське, Морське-1, Невелике та має два нафтогазоперспективні (НГПО) об'єкти: Обручева-2 і Обручева-3); і Південно-Бердянсько-Олімпійську, де встановлено шість НГПО—Південно-Бердянська, Білосарайська, Ударна, Олімпійська, Блокова-3 та Геофізична структури.
- До найбільш безпечних зон слід віднести північну прибережну зону шельфу (геодинамічна зона III). Це Чингульська зона концентрації родовищ ВВ (Північно-Азовський перспективний газоносний район). Тут немає жодного родовища, але встановлено 5 нафтогазоперспективних об'єктів: Обіточна-1, Північно-Бірюча, Східно-Бірюча, Обіточна-2, Центральна структури. Північна прибережна зона шельфу опускалася і в гололені (Стрілкова перспективна зона). Тут розташовано Стрілкове родовище газу, де є досить потужна товща майкопських відкладів (100–300 м), а в Чингульській зоні — товща майкопу коливається від 500 м на півночі геодинамічної зони до 3 500 м — на півдні. Невеликі глибини їх залягання, відсутність на значній площі дельтових пливунів, значне віддалення від поясу грязьового вулканізму та сейсмічність не більше 5 балів дає можливість віднести цю зону до перспективної з невеликими екологічними проблемами. Перспективними на поклади газу тут можуть бути, крім відкладів майкопу, і відклади сармату, підосва яких в цій зоні залягає на глибинах від 100 м (прибережна зона) до—500 м біля АП ШРЗ. На північному узбережжі біля цієї зони розташоване Приазовське родовище газу, поклади якого пов'язані з відкладами нижнього сармату.

## Література

- Грязевые вулканы Керченско-Таманской области. Атлас / Гнатенко Г. И. и др. К.: Наукова думка, 1986. 152 с.
- Геология Азовского моря / Шнюков Е. Ф. и др. К.: Наукова думка, 1974. 247 с.
- Екологічний стан довкілля. Причорноморський екологічний бюлетень / Лосева І. Д. та ін. Розділ II. 2008. № 4 (30). ІНВАЦ, Одеса, 2008. С. 26–37.
- Звіт з оцінки впливу на довкілля планованої діяльності щодо продовження промислового видобування природного газу на Стрілковому газовому родовищі Акціонерним товариством “Державне акціонерне товариство “Чорноморнафтогаз” / Орлова І. Г.: НДУ Український науковий центр екології моря (Укр-НЦЕМ). Одеса, 2018. 19 с. URL; <http://www.eia.menr.gov.ua/uploads/documents/1022/reports/05a219bcb9e31cb374cf0b4e619fb738.pdf>.
- Решение задач поиска нефти и газа с использованием гетерогенной пространственной информации. Труды XV Всероссийской объединенной конференции “Интернет и современное общество” (IMS-2012) / Попов М. А. и др. СПб: Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, 2012. С. 94–101.
- Станкевич С. А., Попов М. О., Зайцев О. В., Марков С. Ю., Кудашев Е. Б., Дишлик О. П. Интегрування гетерогенної просторової інформації при вирішенні нафтогазоперспективних задач. Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва. 2012. Вип. 2 (24). С. 105–110.
- Экологическая геология Украины. Справочное пособие / Шнюков Е. Ф. и др. К.: Наукова думка, 1993. С. 314–315.
- Big data visual analytics for exploratory Earth system simulation analysis / C. A. Steed et al. *Computers & Geosciences*, 2013. Vol. 61. No. 12. P. 71–82.
- Flowerdew R. Spatial data. *Geographic Information Systems: Principles and Applications* / D. J. Maguire, M. F. Goodchild, D. W. Rhind (Eds). London: Longman, 1991. P. 375–387.
- Giuliani G. S., Nativi A., Lehmann N. Ray WPS mediation: An approach to process geospatial data on different computing backends. *Computers & Geosciences*, 2012. Vol.47.No. 10. P. 20–33.
- Ontology-based approach for geospatial data integration. *Proceedings of the 25th International Cartographic Conference (ICC 2011)* / Du H. et al. Paris: International Cartographic Association, 2011. P. 119–128.

## References

- Du, H., Jiang, W., Anand, S., Morley, J., Hart, G., Jackson, J. (2011). Ontology-based approach for geospatial data integration. *Proceedings of the 25th International Cartographic Conference (ICC 2011)*. Paris: International Cartographic Association. P. 119–128.
- Flowerdew, R., Maguire, D. J., Goodchild, M. F., Rhind, D. W. (Eds). (1991). *Spatial data integration. Geographic Information Systems: Principles and Applications* / London: Longman,. P. 375–387.
- Giuliani, G., Nativi, S., Lehmann, A., Ray, N. (2012). WPS mediation: An approach to process geospatial data on different computing backends. *Computers & Geosciences*, 47 (10). 20–33.
- Gnatenko, G. I., Kutniy, V. A., Naumenko, P. I., Sobolevsky, Yu. V., Shnyukov, E. F. (1986). *Mud volcanoes of the Kerch-Taman region*. Atlas. Kiev. Naukova dumka. (in Russian).
- Loeva, I. D., Orlova, I. G., Pavlenko, M. Yu., Ukrainian, V. V., Popov, Yu. I., Denga, Yu. M. (2008). Section II. Ecological state of the environment. *Black Sea Ecological Bulletin*, December 2008, 4 (30). INVAC.Odessa. P. 26–37. (in Ukrainian).
- Orlova, I. G. (2018). Report on the Environmental Impact Assessment of the Planned Activity for Continued Industrial Production of Natural Gas at the Strelkovy Gas Field by the Joint Stock Company Chornomornaftogaz. NDU Ukrainian Center for Marine Ecology (UkrNTSEM). Odessa. (in Ukrainian). Retrieved from <http://www.eia.menr.gov.ua/uploads/documents/1022/reports/05a219bcb9e31cb374cf0b4e619fb738.pdf>.
- Popov, M. A., Stankevich, S. A., Markov, S. Yu., Zaitsev, A. V., Kudashov, E. B. (2012). Solution of oil and gas search problems using heterogeneous spatial information. *Proceedings of the XV All-Russian Joint Conference Internet and Modern Society (IMS-2012)*. St. Petersburg: St. Petersburg National Research University of Information Technologies, Mechanics and Optics. P. 94–101. (in Russian).
- Shnyukov, E. F., Orlovsky, G. N., Usenko, V. P., Grigorjev, A. V., Gordijevich, V. A. (1974). *Geology of the Sea of Azov*. Kiev. Naukova Dumka.

- Shnyukov, E. F., Shestopalov, V. M., Yakovlev, E. A., Babichenko, V. N., Bajer, R. A., Barshchevski, N., E. ... Yzvin, L. S. (1993). Methods of marine geological research. Ecological geology of Ukraine. Reference manual. Kiev. Naukova Dumka., P. 314–315. (in Russian).
- Stankevich, S. A., Popov, M. O., Zaitsev, O.V., Markov, S. Yu., Kudashev, E. B., Dyshlik, O. P. (2012). Integration of heterogeneous spatial information in the solution of oil and gas exploration problems. Modern achievements of geodetic science and production, 2 (24). 105–110. (in Ukrainian).
- Steed, C. A. Ricciuto, D. M., Shipman, G., Smith, B., Thornton, P. E., Wang, D., Shi, X., Williams, D. N. (2013). Big data visual analytics for exploratory Earth system simulation analysis. Computers & Geosciences, 61 (12). 71–82.

#### ГЕОДИНАМИЧЕСКОЕ РАЙОНИРОВАНИЕ ШЕЛЬФА АЗОВСКОГО МОРЯ И ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ПРИ НЕФТЕГАЗОДОБЫВАЮЩИХ РАБОТАХ

С. М. Єсіпович, З. М. Товстюк, О. В. Титаренко, Т. А. Єфіменко, М. О. Свиденюк, Е. А. Рыбак, А. Д. Бондаренко, Е. П. Головашук, І. В. Лазаренко

ГУ“Научный центр аэрокосмических исследований Земли ИГН НАН Украины”. 01054, г. Киев, ул. О. Гончара, 55-б, Украина

Алгоритм выделения геодинамических зон базировался на анализе геолого-геофизических и тектонических карт Азовского моря, батиметрической карты и данных перспективности нефтегазоносности, структурных картах по отражающим горизонтам в мелу, майкопе, сармате и др., карт инженерно-геологического районирования и карт мощностей, с учетом особенностей спектральных характеристик водной поверхности на космических снимках.

Получено пространственное распределение температуры поверхности Азовского моря с помощью съемочной аппаратуры MODIS AQUA за последние три года (апрель, май, сентябрь месяцы).

С целью уточнения границ геодинамических зон была выполнена интеллектуальная интеграция геопро пространственных данных, результатом которой стала схема расположения геодинамических зон на шельфе Азовского моря. Обосновано создание модели формирования полезного сигнала на космических снимках морской поверхности с целью оценки их экологической безопасности при нефтегазодобывающих работах.

По результатам обработки всей имеющейся информации было установлено следующее: наибольшие экологические проблемы могут возникнуть при эксплуатации залежей в южной геодинамической зоне, более безопасна, в экологическом отношении при нефтегазодобывающих работах является геодинамическая зона в центральной части моря. К наиболее безопасным зонам следует отнести северную прибрежную зону шельфа.

**Ключевые слова:** шельф, тектоника, полезный сигнал, Индоло-Кубанский прогиб, Азовский вал, экологическая безопасность, структурные карты по отражающим горизонтам, майкопская толща, грязевой вулканизм, тепловое поле, интеллектуальная интеграция, геодинамическая зона, космические снимки

#### GEODYNAMIC ZONING OF THE SEA OF AZOV SHELF AND ENVIRONMENTAL PROBLEMS IN OIL AND GAS PRODUCTION

S. M. Yesipovich, Z. M. Tovstuk, O. V. Titarenko, T. A. Yefimenko, M. O. Svideniuk, O. A. Rybak., A. D. Bondarenko, O. P. Golovashchuk, I. V. Lazarenko

Scientific Centre for Aerospace Research of the Earth, National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine. 0105455-B O. Gonchar st., 01054 Kyiv, Ukraine

The algorithm for identifying geodynamic zones was based on an analysis of geological, geophysical, and tectonic maps of the Sea of Azov, a bathymetric map and oil and gas prospectivity data, structural maps for reflecting horizons in the Cretaceous, Maykop, Sarmatia, etc., geotechnical zoning maps, and power maps, taking into account the features spectral characteristics of the water surface in satellite images.

The spatial distribution of the surface temperature of the Sea of Azov was obtained using the MODIS AQUA survey equipment for the last three years (months — April, May, September).

In order to clarify the boundaries of geodynamic zones, intellectual integration of geospatial data was carried out, the result of which was the location scheme of geodynamic zones on the shelf of the Sea of Azov. The creation of a model for generating a useful signal on satellite images of the sea surface with the aim of assessing their environmental safety during oil and gas production is justified.

Based on the results of processing all the available information, the following was established: the greatest environmental risks may arise during the exploitation of deposits in the southern geodynamic zone, it is safer, and in the environmental respect, oil and gas exploration is the geodynamic zone in the central part of the sea. The safest zones include the northern coastal shelf zone.

**Keywords:** shelf, tectonics, useful signal, Indolo-Kuban trough, Azov shaft, environmental safety, structural maps along reflecting horizons, Maykop stratum, mud volcanism, thermal field, intellectual integration, geodynamic zone, satellite imagery

*Рукопис статті отримано 19.02.2020*