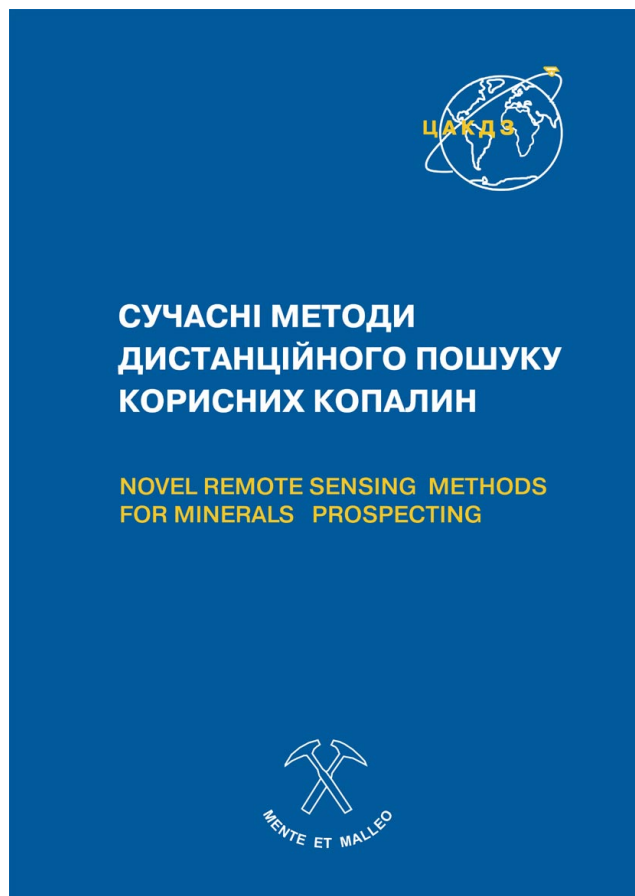




УКРАЇНСЬКИЙ ЖУРНАЛ ДИСТАНЦІЙНОГО ЗОНДУВАННЯ ЗЕМЛІ

ONLINE
ISSN 2313-2132

18' 2018



Продовжуємо публікувати (по розділах) монографію “Сучасні методи дистанційного пошуку корисних копалин”, створеної колективом авторів Наукового центру аерокосмічних досліджень Землі Інституту геологічних наук НАН України під редакцією В. І. Лялька та М. О. Попова (Київ: ДУ “Науковий центр аерокосмічних досліджень Землі ІГН НАН України”, 2017. — 1 електронний опт. диск CD-ROM).

У монографії наведено і детально описано теоретико-методичні основи інформаційного інтегрування даних багатоспектрального аерокосмічного знімання, польової спектрометрії і геолого-геофізичних даних при вирішенні завдань дистанційного пошуку покладів корисних копалин на суходолі і мор-

ському шельфі, а також нові ефективні методи дистанційного пошуку покладів вуглеводнів та виявлення родовищ рудної і нерудної сировини.

Більшість з розроблених методів дистанційного пошуку покладів вуглеводнів пройшла апробацію на території Дніпровсько-Донецької западини і в акваторії Чорного моря. Розроблені методи було застосовано також при прогнозуванні покладів поліметалічних руд, гіпсу та гіпсоангідритів в різних регіонах України.

Розроблені методи дистанційного пошуку покладів корисних копалин на суходолі і шельфі можуть слугувати науковою основою при обґрунтуванні заходів раціонального природокористування та прийнятті інформаційних і управлінських рішень.

Автори сподіваються, що матеріали монографії будуть корисними для вчених і спеціалістів, які працюють над вирішенням різноманітних природоресурсних завдань і впровадженням нових перспективних геологічних і геоінформаційних технологій.

НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ
Інститут геологічних наук
Науковий центр аерокосмічних досліджень Землі

УКРАЇНСЬКИЙ ЖУРНАЛ ДИСТАНЦІЙНОГО ЗОНДУВАННЯ ЗЕМЛІ

Ukrainian Journal of Remote Sensing

№ 18 • 2018

Засновник:	Електронний
Національна Академія наук України	науковий фаховий журнал.
Науковий центр аерокосмічних досліджень Землі	Заснований у березні 2014 року.
Інституту геологічних наук	Виходить щоквартально.
НАН України	Домашня сторінка: www.ujrs.org.ua
	E-mail: o.kudriashov@ujrs.org.ua

Головний редактор

академік НАН України В. І. Лялько



Рекомендовано до видання
Вченою радою Наукового центру аерокосмічних досліджень Землі
Інституту геологічних наук НАН України та рішенням Відділення наук про Землю
Національної Академії наук України

Наказом МОН України від 7 жовтня 2015 року №1021 журнал включено до
Переліку електронних наукових фахових видань України у галузях технічних і
геологічних наук

РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ

В. І. ЛЯЛЬКО	головний редактор доктор геолого-мінералогічних наук, академік НАН України
М. О. ПОПОВ	заступник головного редактора доктор технічних наук, член-кореспондент НАН України
О. Т. АЗІМОВ	доктор геологічних наук
С. О. БАРТАЛЬОВ	доктор технічних наук (Росія, Москва)
В. Г. ВЕРХОВЦЕВ	доктор геологічних наук
Л. Д. ГРЕКОВ	доктор технічних наук
М. Д. ГРОДЗИНСЬКИЙ	доктор географічних наук, член-кореспондент НАН України
О. ДУБОВИК	доктор наук, математично-природничі науки, (Німеччина, Бонн)
Л. В. КАТКОВСЬКИЙ	доктор фізико-математичних наук (Білорусь, Мінськ)
Ю. В. КОСТЮЧЕНКО	доктор технічних наук
С. С. КОХАН	доктор технічних наук
Н. М. КУССУЛЬ	доктор технічних наук
СТ. ЛЕВІНСЬКИЙ	доктор технічних наук (Польща, Варшава)
В. В. ЛУКІН	доктор технічних наук
С. А. СТАНКЕВИЧ	доктор технічних наук
А. А. ТРОНІН	доктор геолого-мінералогічних наук (Росія, Санкт-Петербург)
О. Д. ФЕДОРОВСЬКИЙ	доктор фізико-математичних наук, член- кореспондент НАН України
М. М. ШАТАЛОВ	доктор геологічних наук

Секретар редакції О. В. Седлєрова / тел. + 380 44 486 84 21 / sedlerovaolga@gmail.com

Верстка, коректура О. І. Кудряшов / тел. + 380 44 482 03 72 / o.kudriashov@ujrs.org.ua

Редактор сайту А. Ю. Порошків / a.porushkevych@ujrs.org.ua

Матеріали друкуються в авторській редакції.
Редакція залишає за собою право виправлення статей. Зроблені зміни узгоджуються з автором.
Якість ілюстрацій відповідає якості наданих авторами вихідних матеріалів.

Адреса редакції: Україна, 01054, м. Київ, вул. Олеса Гончара, 55-Б
тел. +380 44 486 94 05, 482 01 66; факс: +380 44 482 01 06, 486 14 30 / www.ujrs.org.ua

ЗМІСТ

До 100-річчя Національної Академії наук України

СТАН І ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ АЕРОКОСМІЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ЗЕМЛІ В ДЕРЖАВНІЙ УСТАНОВІ “НАУКОВИЙ ЦЕНТР АЕРОКОСМІЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ЗЕМЛІ ІНСТИТУТУ ГЕОЛОГІЧНИХ НАУК НАЦІОНАЛЬНОЇ АКАДЕМІЇ НАУК УКРАЇНИ”

В. І. Лялько, М. О. Попов, О. В. Седлєрова, М. М. Шаталов 4

ІСТОРІЯ НАУКОВОГО ЦЕНТРУ АЕРОКОСМІЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ЗЕМЛІ ІГН НАН УКРАЇНИ. РОЗВИТОК ДЗЗ У КИЇВСЬКОМУ ВІДДІЛІ ІНСТИТУТУ ГЕОЛОГІЇ І РОЗРОБКИ ГОРЮЧИХ КОПАЛИН (КВ ІГ І РГК) МІНІСТЕРСТВА НАФТОВОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ СРСР ТА АКАДЕМІЇ НАУК СРСР, ЯКИЙ БУВ ОДНІЄЮ ЗІ СТРУКТУР, НА ОСНОВІ ЯКИХ БУЛО СТВОРЕНО ЦАКДЗ ІГН НАН УКРАЇНИ

А. Г. Мичак 20

Проблеми використання інформації дистанційного дослідження Землі

ПРО МОЖЛИВІСТЬ ЗАЛУЧЕННЯ КОСМІЧНИХ ЗНІМКІВ SENTINEL-2 ДЛЯ АНАЛІЗУ ІМОВІРНИХ ПРИЧИН ХІМІЧНОГО ВИКИДУ НА ЗАВОДІ “КРИМСЬКИЙ ТИТАН”

М. О. Попов, С. А. Станкевич, О. В. Седлєрова, О. В. Титаренко, А. О. Козлова, І. О. Пестова, М. С. Лубський, М. О. Свіденюк 29

АНАЛІЗ ДИНАМІКИ 15-ТИ ВЕГЕТАЦІЙНИХ ІНДЕКСІВ, ОБЧИСЛЕНИХ ЗА ДАНИМИ СУПУТНИКА SENTINEL-2А ДЛЯ ДВОХ ВІДМІННИХ ЗА СТАНОМ ТЕСТ-ДІЛЯНОК ПОСІВІВ ОЗИМОЇ ПШЕНИЦІ ЛІСОСТЕПОВОЇ ЗОНИ УКРАЇНИ

Г. М. Жолобак, О. М. Сибірцева, М. В. Ваколюк, І. Ф. Романчук 32

ТЕКТОНОЛИНЕАМЕНТНЫЕ ЗОНЫ ВОСТОК-СЕВЕРО-ВОСТОЧНОГО ПРОСТИРАНИЯ КАК СОСТАВНОЙ ЭЛЕМЕНТ РЕГМАТОГЕННОГО РАЗЛОМНОГО КАРКАСА БАЛКАНО-ЧЕРНОМОРСКОГО РЕГИОНА

В. В. Покалюк, И. Э. Ломакин, И. Н. Шураев 40

ПЕРЕДУМОВИ ЗМЕНШЕННЯ ОЗОНОВОЇ ДІРИ У 2017 РОЦІ

В. О. Кравченко, О. М. Євтушевський, А. В. Грицай, Г. П. Міліневський, А. Р. Клекочук 53

Правила та рекомендації для авторів (ua, ru)..... 59

Анонси. Нова монографія Центру

СУЧАСНІ МЕТОДИ ДИСТАНЦІЙНОГО ПОШУКУ КОРИСНИХ КОПАЛИН

РОЗДІЛ 2. МЕТОДИ ДИСТАНЦІЙНОГО ПОШУКУ ПОКЛАДІВ ВУГЛЕВОДНІВ

Підрозділ 2.16 (С. 125–152)..... 63

УДК (55:528.8):061.6(477)

Стан і перспективи розвитку аерокосмічних досліджень Землі в Державній установі “Науковий центр аерокосмічних досліджень Землі Інституту геологічних наук Національної академії наук України”

В. І. Лялько *, М. О. Попов, О. В. Седлєрова, М. М. Шаталов

ДУ “Науковий центр аерокосмічних досліджень Землі ІГН НАН України”, Київ, Україна

У стислому огляді досягнень у галузі аерокосмічних досліджень Землі, які проводив ІГН НАН України з 1974 по 2018 р., показано внесок вчених інституту у цьому напрямі. Розглянуто заходи створення у Відділенні наук про Землю АН УРСР за ініціативою академіка Б. Є. Патона Наукової ради з проблеми “Вивчення природних ресурсів дистанційними методами” (1987 р.) та Державної установи “Науковий центр аерокосмічних досліджень Землі ІГН НАН України” (1992 р.). Наведено дані про структуру Центру. Зроблено аналіз внеску співробітників Центру у розвиток аерокосмічних досліджень в Україні. Показано, що перспективи розвитку наукових досліджень Центру пов’язані зі створенням єдиної теорії дистанційного зондування Землі, в основу якої покладені сучасні уявлення наук про Землю, теорія енергомасообміну в геосистемах, досягнення в теорії систем, сучасні моделі фізичних процесів, що відбуваються на суходолі та шельфі. Концептуально стратегія розвитку досліджень в ЦАКДЗ ІГН НАН України в перспективі полягатиме в реалізації основних положень розвитку світового суспільства, визначених рішеннями ООН зі сталого безконфліктного розвитку людства шляхом забезпечення його продовольством, питною водою та енергоресурсами.

Ключові слова: дистанційне зондування Землі та перспективи його розвитку

© В. І. Лялько, М. О. Попов, О. В. Седлєрова, М. М. Шаталов. 2018

Вступ

Космічна ера в історії людства розпочалася 4 жовтня 1957 р. поблизу м. Байконур, коли радянська ракета вивела на орбіту перший штучний супутник Землі. Наступні роки ознаменувалися польотом у космічний простір першого космонавта, першим кроком людини на поверхні Місяця та ін. Завдяки цьому і подальшому розвитку космонавтики, в цілому, людство отримало вражаючий інноваційний прорив. По-перше, з космосу нашу планету видно в усій її красі та вразливості, що раніше вважалося неможливим. По-друге, урядам та населенню планети Земля стало зрозуміло, що космос є найбільшим джерелом інновацій, які у багатьох аспектах перетинаються з діяльністю суспільства та поліпшують добробут і життя людей.

Тому цілком зрозуміло, що дистанційне зондування Землі (ДЗЗ) з космічних апаратів є одним з пріоритетних напрямів сучасної науки протягом понад 60 років. Воно дозволяє досліджувати глобальні процеси та явища: наприклад, зміни земної магнітосфери та електромагнітного середовища Землі, спостереження явищ полярних сьйв, взаємодії магнітного поля Землі із сонячним магнітним полем і сонячним вітром, тектонічні, геодинамічні та геоморфологічні процеси в геологічному середовищі Землі,

глобальні зміни клімату та екологічного стану геосистем Землі, землетруси, виверження вулканів, цунамі, повені, зсуви тощо. ДЗЗ дає змогу також вирішувати актуальні практичні завдання “життя” планети, зокрема:

- проводити дослідження земної поверхні, морів та океанів з космосу в різних спектральних діапазонах з метою пошуків та видобування корисних копалин, оцінки екологічного стану довкілля, метеорологічного прогнозування та визначення стану сільськогосподарських і лісових угідь;
- суттєво збільшити об’єктивну інформацію про стан екосистеми Землі і негативний вплив діяльності людства на цю екосистему;
- виконувати широкий спектр завдань, пов’язаних з розвитком міських агломерацій, інвентаризацією та оцінюванням якості земель, виявленням біопродуктивності нових районів промислу в океанах і морях.
- використовувати космічні технології у різних сферах — від наукових досліджень до комерційного впровадження — з метою економічного зростання та конкурентоспроможності;
- впливати на прийняття обґрунтованих рішень урядами та промисловістю, щодо забруднення навколишнього середовища, керування видобуванням мінеральних ресурсів, ліквідації наслідків глобальних змін клімату та екологічно-природних катастроф.

* E-mail: Lyalko@nas.gov.ua

Розвиток ДЗЗ в Інституті геологічних наук НАН України

На 1970-ті–кінець 1990-х років припадає активне та плідне використання аерокосмометодів у геології в Інституті геологічних наук (ІГН) АН УРСР. На початку цього періоду застосовувались дистанційні матеріали континентального і регіонального рівнів генералізації, пізніше — більш детальних масштабів. Це дало змогу дослідникам ІГН проводити аналіз глибинної будови регіонів України і на його основі створювати відповідні схеми та космогеологічні карти різного рівня генералізації [Лялько, Митник, 1975; Лялько, 1979; Быстревская, Шаталов, 1980, 1981, 1985; Лялько, Митник, Вульфсон, 1981; Шнюков и др., 1981; Шаталов, 1982; Шаталов, Верховцев, Русаков, 1987; Шаталов, Веремьев, 1987; Лялько, Шаталов, 1988; Борисенко, Чебаненко, Шаталов, 1988; Чебаненко, Шаталов, Борисенко, 1988; Чебаненко и др., 1989; Верховцев, Веремьев, Шаталов, 1989; Николаенко и др., 1989; Верховцев, 1989, 2008].

У відділі тепломасопереносу в земній корі ІГН АН УРСР починаючи з 1974 р. започатковано роботи з впровадження фізико-математичних методів в аерокосмічні дослідження Землі при вирішенні теоретичних і прикладних геолого-геофізичних завдань. Про це свідчать як публікації, так і виступи на союзних та зарубіжних наукових форумах співробітників цього відділу — В. І. Лялька, М. М. Митника, Л. Д. Вульфсона, З. М. Шпортюк, О. М. Сибірцевої, А. Й. Недошовенка та ін. [Лялько, Митник, 1975; Лялько, 1979; Лялько, Митник, Вульфсон, 1981; Лялько, Шаталов, 1988; Лялько, Вульфсон, Жарый, 1992].

У 1975–1979 рр. фахівцями відділу тепломасопереносу ІГН успішно виконані дослідження з обґрунтування теорії і методики спеціальних видів дистанційних зйомок, зокрема теплової зйомки [Лялько, Митник, 1975; Лялько, 1979; Лялько, Митник, Вульфсон, 1981]. Дослідниками створені фізико-математичні моделі тепломасопереносу процесів формування пошукового геотермічного сигналу при наявності в надрах покладів корисних копалин, що формують в земній корі температурну аномалію, яка може бути зафіксована в приповерхневих товщах і на земній поверхні. Досвід та результати використання матеріалів теплової зйомки в геології узагальнені в роботах [Лялько, Митник, 1975; Лялько, 1979; Лялько, Митник, Вульфсон, 1981].

У 1980 р. на основі дешифрування космічних знімків, отриманих з пілотованих орбітальних станцій “Салют 4”, “Салют 6” і американського космічного апарата Landsat 2, в результаті комплексної інтерпретації регіональних космічних фотозображень і матеріалів геолого-геофізичного дослідження С. С. Быстревською і М. М. Шаталовим [Быстревская, Шаталов, 1980] у східній частині Приазовського регіону була виділена велика за розміром кільцева структура. Вони також склали Структурно-

геологічну карту території Східного Приазов'я. Її автори відмічали, що до систем кільцевих і дугоподібних розломів і особливо до ділянок їх перетину з лінійними розломними зонами різних напрямків простягання приурочені форми, що виникли внаслідок магматизму (штоки, дайки).

Значний науково-теоретичний та практичний внесок у геологічну інтерпретацію результатів дешифрування матеріалів аерокосмічних зйомок у 1980–2000-ті роки зробили вчені відділу геотектоніки ІГН АН УРСР — І. І. Чебаненко, А. Я. Радзівілл, В. Я. Радзівілл, В. С. Токовенко, М. М. Шаталов, В. Г. Верховцев, І. С. Потапчук, Ю. А. Куделя та ін.

У 1981 р. за матеріалами дешифрування космічних знімків Є. Ф. Шнюков із співавторами [Шнюков и др., 1981] запропонували нові дані про структуру та історію геологічного розвитку акваторії Азовського моря.

В 1982–1989 рр. фахівцями відділу геотектоніки ІГН АН УРСР (І. І. Чебаненко, М. М. Шаталов, В. Г. Верховцев та ін.) виділені кільцеві структури та проведені дослідження глибинної будови інших докембрійських тектонічних структур і великих прадавніх розломів трансрегіонального рангу Приазовського мегаблоку Українського щита і Криму за комплексом геолого-геофізичних та дистанційних зйомок [Шаталов, 1982; Быстревская, Шаталов, 1985; Шаталов, Верховцев, Русаков, 1987; Шаталов, Веремьев, 1987; Лялько, Шаталов, 1988; Борисенко, Чебаненко, Шаталов, 1988; Чебаненко, Шаталов, Борисенко, 1988; Чебаненко и др., 1989; Верховцев, Веремьев, Шаталов, 1989]. Зокрема, матеріали дешифрування різномасштабних космо- та аерофотознімків дозволили з великою впевненістю й обґрунтованістю одержати нові дані про розломно-блокову будову території південно-східної частини України, що важливо не тільки для аналізу геодинамічних подій у регіоні, але й для металогенічного оцінювання території.

У 1987 р. значною подією для узагальнення результатів дешифрування стало складання за редакцією О. І. Зарицького першої карти (автори Б. О. Николаенко, С. С. Быстревська, В. Т. Воловик, В. К. Гавриш) лінеаментів і кільцевих структур колишньої Української РСР за космічними даними. Це дало змогу по-новому підійти до прогнозування пошуків корисних копалин з позицій розломно-блокової тектоніки.

У 1982–1990-ті роки в ІГН з'являється більше робіт зі створення геологічних та тектонічних карт детальних масштабів різних геологічних регіонів на базі дешифрування космічних знімків. Як приклад, можна навести праці М. М. Шаталова, І. І. Чебаненка, Л. С. Борисенка, В. Г. Верховцева, М. Ф. Русакова, П. С. Веремьева [Шаталов, 1982; Быстревская, Шаталов, 1985; Шаталов, Верховцев, Русаков, 1987; Шаталов, Веремьев, 1987; Лялько, Шаталов, 1988; Борисенко, Чебаненко, Шаталов, 1988; Чебаненко, Шата-

лов, Борисенко, 1988; Чебаненко и др., 1989; Верховцев, Веремьев, Шаталов, 1989].

Пізніше у відділі геотектоніки ІГН НАН України в цьому напрямі дослідження були продовжені. Наприклад, у першому десятилітті 2000-х років В. Г. Верховцевим на основі структурно-геоморфологічних і аерокосмічних методів з використанням традиційних геолого-геофізичних даних було здійснено узагальнення активних на новітньому етапі розвитку платформних геоструктур України.

Піонерські роботи з впровадження в практику геологічних досліджень спеціальних космічних інтерферометричних зйомок на території України та Антарктиди виконано Р. Х. Греку.

Геологічні дослідження з використанням матеріалів аерокосмічних зйомок проводились в колишньому Міністерстві геології УРСР Б. О. Ніколаєнком, О. О. Янцевичем та ін.

Розвиток ДЗЗ у Київському відділі Інституту геології і розробки горючих копалин Міннафтопрому СРСР та Академії наук СРСР

Лабораторія аерогеологічних методів була створена при інституті “УкрДІПронДІнафта” Міннафтопрому СРСР у 1972 р.

Очоловав лабораторію к. г.-м. н. Віталій Іванович Грідин. Саме завдяки високому геологічному професіоналізму Грідина В. І., вже відомого фахівця з використання дистанційних методів при нафтогазопошукових роботах, його енергії та таланту організатора була проведена робота по створенню Київського відділу ІГ і РГК. Він же і очолив відділ ІГ і РГК з дня його заснування (1976 р.) і до початку 1981 р. Науково-методичні засади та технології дистанційних досліджень Землі, започатковані В. І. Гридіним, стали визначальними на багато років в подальших дослідженнях відділу. Перерва Володимир Михайлович, к. г.-м. н. керівник Київського відділу ІГ і РГК з 1988 по 1991 рр. Завідувач сектору методики і дослідно-методичних робіт з вивчення Закавказзя та Мангішлака (1986–1988 рр.). завідувач лабораторією методики і дослідно-методичних досліджень з вивчення нафтогазоносних Південно-Каспійських провінцій і Чорноморської області (1988–1991 рр.). В подальшому керівник Київського науково-дослідного інституту космоаерометодів (1991–1992 рр.), завідувач відділу аерокосмічних досліджень в геології ЦАКДЗ та заступник директора Центру з наукової роботи з травня 1992 р. по березень 2004 р.

З травня 1992 р. лідером науково-методичних і практичних розробок з використання супутникових даних для вирішення геолого-пошукових завдань стає Науковий Центр аерокосмічних досліджень Землі інституту геологічних наук національної академії наук України (ЦАКДЗ, або Центр).

Науковці Центру за роки незалежності України плідно працюють над застосуванням космічної інформації при пошуках рудних, нерудних та горючих корисних копалин як на суші, так і на шельфі, вивчають зв'язки між геофізичними полями, прогнозують сейсмічні явища, уточнюють будову “шовних” зон та інших тектонічних структур тощо. НАН України та Державне космічне агентство України визначили ЦАКДЗ головною організацією з науково-методичного керівництва дослідженнями з ДЗЗ, які виконуються установами НАН України.

Наведені нами публікації (див. список літератури) не вичерпують всіх робіт з тематики використання аерокосмічних даних в ІГН НАН України для пошуків корисних копалин, але вони свідчать про широкий спектр досліджень і значні досягнення в цій царині. З повним переліком наукових публікацій з даних напрямів досліджень останніх років можна ознайомитися на сайтах ЦАКДЗ (<http://www.casre.kiev.ua/uk/publications>) та електронного Українського журналу дистанційного зондування Землі (<http://ujrs.org.ua/ujrs>).

Історія створення Центру аерокосмічних досліджень Землі ІГН НАН України

У 1987 р. за ініціативою Б. Є. Патона при Відділенні наук про Землю АН УРСР було створено Наукову раду з проблеми “Вивчення природних ресурсів дистанційними методами” (Постанова Президії АН УРСР № 186 від 29.05.1987 р.), яка працює до сьогодні (голова ради академік НАН України В. І. Лялька).

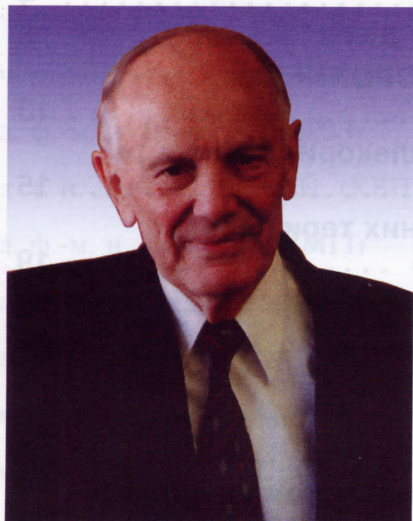
У 1992 р. було засновано Державну установу (ДУ) “Науковий центр аерокосмічних досліджень Землі ІГН НАН України” як самостійну юридичну установу (Постанова Президії АН України № 150 від 20.05.1992 р.).

Слід зауважити, що діяльність ЦАКДЗ ІГН НАН України (з 1992 до 2017 р.) п'ять разів розглядалась на Президії НАН України, незмінно одержуючи позитивні оцінки. Роботи науковців Центру були відзначені Державними преміями у галузі науки і техніки у 2004, 2005 та 2011 рр.

Ми щиро вдячні Борису Євгеновичу Патону за постійну увагу та підтримку ДЗЗ як одного з найперспективніших напрямів сучасних космічних досліджень. Б. Є. Патон особисто брав участь в популяризації сучасних досліджень Землі з космосу, написавши передмови до ряду монографій українських дослідників по вказаній тематиці, зокрема:

- Передмова Президента НАН України академіка НАН України Б. Є. Патона та Генерального директора Національного космічного агентства України О. О. Негоди до “Атласу тематично дешифрованих космознімків території України “КОСМОС — УКРАЇНА” за редакцією членів-кореспондентів НАН України В. І. Лялька та О. Д. Федоровського (К.: 2001. — 106 с.) (рис. 1).

ПЕРЕДМОВА



Суттєве збільшення впливу діяльності людства на екосистему Землі значно підвищило потребу в об'єктивній інформації про стан цієї системи при прийнятті урядами і промисловістю обґрунтованих рішень, зв'язаних з проблемами забруднення навколишнього середовища, керування природними ресурсами і глобальної зміни



клімату. Для вирішення цих загальнолюдських потреб у 1995 році здійснений запуск першого космічного апарата національної космічної системи спостереження "Січ-1". У 1999 році відповідно до спільної заяви Президентів України та Російської Федерації від 31 травня 1997 р., здійснено запуск багатофункціонального природоресурсного космічного апарата "Океан-О".

Несприятливий екологічний стан геосистем України стимулює проведення робіт для розвитку космічних методів та вдосконалення технічних засобів отримання і обробки матеріалів дистанційного зондування Землі. У зв'язку з цим, Національне космічне агентство та Національна академія наук України приділяють велику увагу щодо впровадження результатів космічної діяльності в різні галузі економіки. Цей науково-методичний атлас може бути посібником, що ілюструє на реальних космічних знімках деякі можливості практичного використання космічної інформації для вирішення різноманітних проблем природокористування і охорони довкілля.

Сподіваємося, що результати, одержані під час першого року виконання програми польоту КА "Океан-О", які представлені в цьому атласі, збагатять світовий досвід дослідження Землі і будуть корисними при вирішенні актуальних для України природоресурсних та природоохоронних задач.

**Президент
Національної академії наук України**

Б. Є. Патон

**Генеральний директор
Національного космічного агентства
України**

О. О. Negroda

Рис. 1. Передмова президента НАН України академіка Б. Є. Патона та генерального директора Національного космічного агентства України О. О. Negroди до Атласу тематично дешифрованих космоснімків території України "КОСМОС — УКРАЇНА" за редакцією членів-кореспондентів НАН України В. І. Лялька та О. Д. Федоровського. Київ, 2001. 106 с.

- Передмова президента НАН України, академіка НАН України Б. Є. Патона до монографії “Изменение земных систем в Восточной Европе”: Лялько В. И. (отв. ред.) (К.: 2010. — 586 с. (рис. 2)).

Приязне, дружнє, товариське ставлення Бориса Євгеновича до співробітників Центру, зокрема, можна проілюструвати двома фотографіями з особистого архіву В. І. Лялька (рис. 3, 4).

Структура Центру

Центр було створено в 1992 р. на базі відділу тепломасопереносу в земній корі ІГН НАН України та Київського науково-дослідного інституту космоаерометодів колишнього Міністерства нафтової і газової промисловості СРСР та АН СРСР. Упродовж майже 25 років директором ЦАКДЗ був нині академік НАН України В. І. Лялько. Сьогодні він є Почесним директором Центру.

У грудні 2016 р. директором Центру затверджено доктора технічних наук, професора, заслуженого діяча науки і техніки М. О. Попова. У 2018 р. його було обрано членом-кореспондентом НАН України.

Заступники директора — кандидат геологічних наук О. В. Седлєрова та кандидат технічних наук В. А. Мацько. Вчений секретар — кандидат технічних наук О. В. Томченко.

У Центрі працює понад 90 співробітників, з них дві третини науковці, серед яких — академік НАН України, два члени-кореспонденти НАН України, 10 докторів наук, 24 кандидати (геологічних, географічних, фізико-математичних, технічних і біологічних наук), навчаються шість аспірантів (рис. 5).

Організаційно ЦАКДЗ складається з п'яти відділів:

1. Енергомасообміну у геосистемах (завідувач — академік НАН України В. І. Лялько).

2. Геоінформаційних технологій у ДЗЗ (завідувач — член-кореспондент НАН України М. О. Попов).

3. Аерокосмічних досліджень у геології (завідувач — доктор геологічних наук С. М. Єсіпович).

4. Системного аналізу (завідувач — член-кореспондент НАН України О. Д. Федоровський).

5. Аерокосмічних досліджень в геоекології (завідувач — кандидат геологічних наук В. Є. Філіпович).

При ЦАКДЗ ІГН НАН України працює Центр колективного користування спектрометричною апаратурою, для якого централізовано було закуплено спектрометричну апаратуру (спектрорадіометр польовий FieldSpec® 3FR виробництва США, 2007 р.). На сьогодні приладовий парк доповнено системою реєстрації змін CO₂ на основі газометричної апаратури Qubit Systems 150, системою дистанційної реєстрації мінливості спектрометричних па-

раметрів земної поверхні DJI STS-VIS (дрон), обладнанням для визначення температурних показників TemPro-1200, TROTEC TP-10, тепловізором FLUKE Ti110.

У 2014 р. засновано наукове фахове електронне видання “Український журнал дистанційного зондування Землі” (<http://ujrs.org.ua/ujrs>).

Наукові та науково-методичні питання Центру вирішує вчена рада. У ЦАКДЗ ІГН НАН України створена спеціалізована вчена рада Д 26.162.03 із захисту дисертацій на здобуття наукового ступеня доктора (кандидата) наук за спеціальністю 05.07.12 — дистанційні аерокосмічні дослідження (технічні, геологічні науки) (Наказ МОН України № 1714 від 28.12.2017 р.).

У Центрі розвивається наукова школа “Енергомасообмін у геосистемах”. Досліджуються процеси енергомасообміну в геосистемах та їх вплив на фізико-хімічні та біологічні механізми, які відповідають за формування спектрального відгуку природних об'єктів. Дослідження мають фундаментальний та прикладний характер. Сформовані і плідно працюють наукові групи системного аналізу і геоінформаційних технологій в ДЗЗ.

Наукові завдання Центру

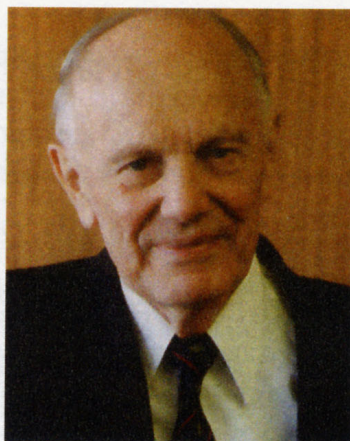
Головне завдання — проведення фундаментальних та прикладних наукових досліджень Землі дистанційними методами з метою одержання нових наукових знань і практичного впровадження цих знань в інтересах інноваційного розвитку України та задоволення економічних, соціальних та оборонних потреб.

Основні напрями наукових досліджень Центру

Удосконалення теоретико-методичних основ аерокосмічного моніторингу довкілля, створення і дослідження фізико-математичних моделей генерування, відбиття та розсіювання електромагнітного випромінювання земними утвореннями (рослинність, ґрунт, вода) та антропогенними об'єктами.

Розроблення методів і технологій аерокосмічного моніторингу екологічного стану природного середовища, дистанційного вирішення природо-ресурсних завдань, а також завдань подвійного призначення, спостереження за глобальними змінами у геосфері (пошуки корисних копалин, кліматичні зміни, стан та зміни лісів, опустелювання тощо).

Розроблення методів і технологій аерокосмічного агромоніторингу з оцінюванням стану сільськогосподарських культур та прогнозуванням урожайності, дистанційного спостереження за поновлюваними природними ресурсами (ґрунти, ліси, водойми).



Существенное увеличение влияния деятельности человечества на экосистему Земли значительно повысило потребность в объективной информации о состоянии этой системы при принятии правительствами и промышленностью обоснованных решений, связанных с проблемами загрязнения окружающей среды, управления природными ресурсами и глобального изменения климата.

Неблагоприятное экологическое состояние геосистем Восточной Европы и, в частности, Украины стимулирует проведение работ по развитию космических и компьютерных технологий для получения и обработки материалов дистанционного зондирования Земли с целью выявления и прогнозирования изменений земных систем. В связи с этим Национальная академия наук Украины и Международный институт прикладного системного анализа уделяют большое внимание внедрению результатов космической деятельности в разные области экономики.

Эта монография может быть пособием, которое иллюстрирует на реальных примерах возможности практического использования космической и компьютерной информации для решения разных проблем природопользования и охраны окружающей среды, в частности уменьшения загрязнения окружающей среды, в том числе концентрации CO_2 и других парниковых газов в атмосфере, защиты видов и биоразнообразия.

Надеюсь, что результаты, представленные в этой монографии, обогатят мировой опыт исследования Земли и будут полезными при решении актуальных для Украины и других стран Восточной Европы не только природоресурсных и природоохранных задач, но и могут быть использованы при решении пищевой и энергетической проблем, а также содействовать наведению мостов взаимопонимания между наукой и исполнительной властью.

Президент Национальной академии

наук Украины, академик НАН Украины

A handwritten signature in dark ink, appearing to read 'Патон' (Paton).

Б.Е. Патон

Рис. 2. Передмова Президента НАН України академіка НАН України Б.Є. Патона до монографії «Изменение земных систем в Восточной Европе»: Лялько В.И. (отв. ред.). Киев, 2010. 586 с.



Рис. 3. Президент НАН України академік НАН України Б. Є. Патон вручає Диплом лауреата Державної премії України в галузі науки і техніки директору ЦАКДЗ ІГН НАН України В. І. Лялька (2004 р.)



Рис. 4. Президент НАН України академік НАН України Б. Є. Патон поздоровляє академіка НАН України В. І. Лялька з нагородженням його орденом "За заслуги" II ступеня (2017 р.)

Обґрунтування вимог до технічних засобів ДЗЗ, розроблення методів калібрування бортових сенсорів і валідації супутникових даних і технологій; створення вітчизняної нормативно-понятійної бази ДЗЗ з гармонізацією її до відповідних міжнародних норм і стандартів.

Міжнародна кооперація досліджень з ДЗЗ з метою залучення передового зарубіжного досвіду, апаратури і технологій для потреб економіки та охорони навколишнього середовища в Україні.

Основні завдання наукових досліджень Центру

1. Оцінювання та менеджмент природних ресурсів: деталізація геологічної структури, територій (вивчення активних екзогенних процесів, виявлення та локалізація активних розломних зон, похованих плікативних структур тощо); оцінювання територій і шельфової зони з метою пошуку родовищ нафти та газу; оцінювання екологічного стану та космічний моніторинг територій видобування корисних копалин (бурштину, ільменіту, вуглеводнів та ін.); визначення вологості ґрунтів та рівня ґрунтових вод, пошук підземних водних резервуарів; оцінювання стану та картування лісових угідь, розробка дистанційної основи та складання на її підґрунті тематичних карт за Державною програмою "ГДП-200".
2. Екологічний моніторинг навколишнього середовища: оцінювання та прогнозування кліматичних змін і парникового ефекту на підставі даних ДЗЗ та полігонних досліджень; оцінювання морських акваторій і внутрішніх водойм — оперативне виявлення розливів нафти і нафтопродуктів на водній поверхні, аналіз еколого-санітарного стану та якості води водойм, виявлення промислових забруднень, контроль розподілу суспендованих речовин, зелених водоростей та ін.; оперативний

моніторинг паводків, підтоплень, заболочування, пожеж на торфовищах, лісових пожеж та інших природних катаклізмів; оцінювання територій, забруднених важкими металами, радіонуклідами, пестицидами та іншими токсичними речовинами; вивчення міських агломерацій — динаміка розвитку і забудови міста, антропогенний вплив промисловості на довкілля, оцінювання розвитку "теплових островів" та їх вплив на якість життя.

3. Застосування даних ДЗЗ у сільському господарстві: інвентаризація посівів; оцінювання стану сільськогосподарських угідь — фенологічні спостереження, забезпеченість посівів добривом, вологою, визначення біомаси та продуктивності; прогнозування врожаю; аналіз параметрів стану ґрунтів.
4. Обґрунтування складу і характеристик бортових засобів ДЗЗ, оцінювання ефективності технологій ДЗЗ на основі методів системного аналізу: обґрунтування складу бортового навантаження супутників ДЗЗ; оцінювання ефективності бортових видів технічних засобів ДЗЗ; розроблення методів калібрування бортових сенсорів і валідації супутникових даних і технологій; системний аналіз ефективності функціонування системи ДЗЗ (з урахуванням космічних апаратів і наземної інфраструктури).
5. Розроблення алгоритмів і програмного забезпечення для створення технологій подвійного використання.

У Центрі розроблені нові ефективні космічні методи й технології для вирішення ряду актуальних для України завдань раціонального природокористування, зокрема пошуків нафтогазових покладів на суходолі та шельфі, що дозволило майже вдвічі підвищити результативність відповідних робіт. Цю технологію практично апробовано не лише в Україні, але й у колишніх республіках СРСР, Об'єднаних Арабських Еміратах, Марокко та Мав-



Рис.5. Співробітники ЦАКДЗ ІГН НАН України, (2016)

ританії; оцінювання стану та врожайності агрокультур; аналізу екологічного стану територій і акваторій у режимі моніторингу; космічного моніторингу тепловтрат на урбанізованих територіях; космічного моніторингу (аудиту) балансу парникових газів та ін.

Розвиток методів ДЗЗ у відділах Центру

Створення та розвиток у ЦАКДЗ наукових шкіл та груп стало продовженням наукової діяльності фахівців чотирьох основних колективів, на базі яких було створено Центр, а саме:

- відділу тепломасопереносу в земній корі ІГН НАН України та партії дистанційних методів дослідження Дослідного підприємства цього ж Інституту (нині відділ енергомасообміну в геосистемах);
- Київського науково-дослідного інституту космоаерометодів, що до 1992 р. називався Київським відділом Інституту геології і розробки горючих копалин Міннафтопрому СРСР (нині відділ аерокосмічних досліджень в геології та відділ аерокосмічних досліджень в геоекології);
- СКБ заводу “Арсенал” та Інституту гідромеханіки АН УРСР (нині відділ системного аналізу);
- фахівців науково-учбових підрозділів авіаційної розвідки Міністерства оборони СРСР та України (нині відділ геоінформаційних систем у ДЗЗ).

Відділ енергомасообміну в геосистемах

Завідувач відділу — академік НАН України В. І. Лялько. До 1992 р. відділ був підрозділом ІГН НАН України і мав назву “відділ тепломасопереносу в земній корі”.

За час існування у складі ІГН АН УРСР (до 1992 р.) у відділі виконано значний обсяг теоретико-методичних та практичних досліджень. Основні результати досліджень:

- Розробка методичних і експериментальних основ гідрогеотермії (1983 р., В. І. Лялько, М. М. Митник та ін.).
- Космічна інформація у вирішенні геологічних завдань (1983 р., В. І. Лялько, В. Г. Трифонов, А. В. Пейве, А. Л. Яншин та ін.).
- Обґрунтування процесів тепломасопереносу в літосфері (1985 р., В. І. Лялько).
- Дослідження водообміну в гідрогеологічних структурах України в природних умовах (1988–1989 рр., В. М. Шестопапов, В. І. Лялько, М. С. Огняник та ін.).
- Розробка методики вивчення глибинної геологічної будови та нафтогазоносності Дніпровсько-Донецької западини (1989 р., В. К. Гавриш, В. Б. Сокологуб, В. І. Лялько, А. Й. Недошовенко та ін.).

Певним визнанням розробок відділу, які не мали на той час світових аналогів, стало видання англійською мовою у 1981 р. на замовлення Національного наукового фонду США монографії В. І. Лялька “Розрахунок тепло- і масопереносу в земній корі”.

У 1985 р. Премією імені В.І Вернадського АН УРСР була відзначена монографія В. І. Лялька “Тепломасоперенос в літосфері”.

Відділ енергомасообміну в геосистемах у складі ІГН НАН України було створено з метою проведення науково-дослідних робіт з вивчення енергомасообміну в геосистемах на основі комп’ютерного моделювання, сучасних супутникових технологій; формування і реалізації єдиної наукової та науково-технічної політики Центру, вирішення актуаль-

них наукових проблем, підвищення його наукового потенціалу. У відділі виконано значний обсяг теоретико-методичних і практичних досліджень: створено моделі процесів формування ресурсів та гідрогеологічних умов охорони підземних вод; розроблено методи розрахунку тепло- і масопереносу в земній корі; обґрунтовано доцільність захоронення токсичних промислових стоків у надра; розроблено критерії геотермічних пошуків корисних копалин, у тому числі підземних вод та вуглеводневої сировини; узагальнено теоретико-методичні засади застосування матеріалів космічного знімання для вирішення актуальних завдань раціонального природокористування, наприклад: пошуків нафтогазових покладів на шельфі та суходолі (А. І. Воробйов, О. Т. Азімов, Ю. В. Костюченко, А. Я. Ходоровський), оцінювання фітосанітарного стану та пожежонебезпечності лісів (О. І. Сахацький, Ю. В. Костюченко, Г. М. Жолобак), прогнозування стану й урожайності зернових культур та екологічної ситуації в екосистемах (О. І. Сахацький, Г. М. Жолобак, Д. М. Мовчан, Л. О. Єлістратова, О. А. Апостолов, С. С. Дугін). Розроблено та застосовано нові ефективні методи й технології синергетичної інтерпретації матеріалів сучасних аерокосмічних гіперспектральних знімків (З. М. Шпортюк, О. І. Сахацький, О. М. Сибірцева). Уперше на основі матеріалів багатоспектральних космічних знімків експериментально визначено основні балансові складові формування парникового ефекту в межах території України з метою виявлення кількісних показників для обґрунтування виділених нашої державі квот парникових газів відповідно до Кіотського протоколу. Передбачено довготермінові сценарії кліматичних та екологічних змін на регіональному і локальному рівнях. Визначено стратегії адаптації, зокрема у зв'язку з прогнозованою ескалацією природних катастроф (Ю. В. Костюченко, О. І. Сахацький, Д. М. Мовчан, І. Г. Артеменко, Л. О. Єлістратова, Ю. В. Захарчук, С. С. Дугін). Ґрунтуючись на вказаних теоретико-методичних дослідженнях, відділ запровадив багато результатів у вигляді укладених договорів на виконання певних робіт із низкою виробничих організацій, Міністерством екології та природних ресурсів України, Державною службою України з надзвичайних ситуацій, Укргідрометцентром України, НАК «Нафтогаз України», з державними адміністраціями Києва, Херсона тощо, а також з космічними агентствами Німеччини, Франції, Європейського Союзу та Японії в рамках виграних міжнародних грантів.

Відділ геоінформаційних технологій у ДЗЗ

Завідувач відділу — член-кореспондент НАН України М. О. Попов. Доктор технічних наук, професор М. О. Попов у 2001 р. після закінчення служби у

збройних Силах України продовжив наукову діяльність у ЦАКДЗ. Йому належать декілька монографій з питань обробки та автоматизованного дешифрування аерокосмічних зображень, понад 40 патентів та авторських свідоцтв.

За час існування Центру з 1992 по 2004 р. його колектив поповнився колишніми кадровими військовими: підполковником запасу В. І. Кононовим, кандидатом технічних наук, доцентом, відомим фахівцем у галузі оцінювання ефективності іконічних систем дистанційного зондування; підполковником запасу С. А. Станкевичем, кандидатом технічних наук, доцентом (нині доктором технічних наук, професором) відомим фахівцем з методів обробки багато- та гіперспектральних зображень для задач природокористування та оборони.

Відділ геоінформаційних технологій у ДЗЗ створено у 2004 р. Основні напрями досліджень — інформаційно-методичне та алгоритмічне забезпечення робіт із ДЗЗ, а саме: методичне й алгоритмічне забезпечення інтерпретації аерокосмічних зображень; обґрунтування вимог щодо обліку перспективних бортових комплексів ДЗЗ; розроблення методів оцінювання якості та інформаційних властивостей цифрових багато- і гіперспектральних аерокосмічних зображень; опрацювання методології тестування супутникових технологій на основі геоінформаційних технологій і польових полігонних вимірювань; створення вітчизняної понятійно-нормативної бази у галузі ДЗЗ, її вдосконалення і гармонізація з відповідними міжнародними стандартами та нормами. Учені відділу розробляють теоретико-методичні основи оброблення та аналізу багато- і гіперспектральних аерокосмічних зображень для вирішення різноманітних тематичних завдань ДЗЗ, нові ефективні алгоритми автоматизованої інтерпретації аерокосмічних зображень. Результати проведених досліджень впроваджуються при вирішенні завдань реальної економіки та оборонної тематики.

Відділ аерокосмічних досліджень у геології

Завідувач відділу — доктор геологічних наук С. М. Єсіпович. У 1972 р. Міністерство нафтової і газової промисловості СРСР створює у своїх структурних підрозділах аерокосмогеологічні служби у вигляді груп (геофізичні трести) і лабораторій (регіональні науково-дослідні і проектні інститути нафти). Одна з таких лабораторій 25.12.1972 р. була створена в Українському науково-дослідному інституті проектування нафтогазовидобутку (УкрНДІПНВ). У 1976 р. ця лабораторія була реорганізована у Київський відділ Інституту геології і розробки горючих копалин Міннафтогазпрому та АН СРСР. На початку 1992 р. він трансформувався в

у Київський науково-дослідний інститут космоаеро-методів, який у травні 1992 р. увійшов до складу ЦАКДЗ.

Завданнями відділу були: розробка наукових основ і апробація методики аерокосмогеологічних досліджень при нафтогазопошукових роботах в усіх нафтогазоносних провінціях колишнього СРСР, які відрізняються ландшафтними умовами та геологічною будовою; навчання на курсах підвищення кваліфікації при відділі спеціалістів виробничих груп і лабораторій галузевих інститутів, що проводять аерокосмогеологічні дослідження; апробація і впровадження в галузі нової знімальної фотограмметричної апаратури; організація обміну закордонним і вітчизняним досвідом аерокосмогеологічних досліджень та ін.

У 1987 р. фахівцями відділу видаються “Временные методические рекомендации по аерокосмогеологическим исследованиям и использованию их результатов при нефтегазопроисловых работах”. До кінця 1987 р. методика аерокосмогеологічних досліджень була розроблена і запроваджена у виробничому режимі практично в усіх нафтогазоносних провінціях колишнього СРСР. У цьому році видається “Тектоническая карта нефтегазоносных областей юго-запада СССР” (с использованием материалов космических съемок), м-б 1:500 000 (гл. ред. Н. А. Крылов), яка відзначена Державною премією УРСР.

З 1988 р. фахівці відділу розпочали розробку методу прямого прогнозування покладів вуглеводнів на основі наземного і дистанційного вивчення спектрального поля ландшафтів, який отримав назву супутникової технології прогнозу покладів нафти і газу на суходолі. Піонери-розробники методу – кандидат технічних наук М. О. Тепляков, кандидат геолого-мінералогічних наук Г. Ф. Бусел. У подальшому великий внесок у розробку зробили кандидати геолого-мінералогічних наук В. М. Перерва, О. І. Архипов, кандидат біологічних наук О. І. Левчик та ін. Відділ розробив і виготовив фотометри ПФ-08, КФ-08 для виконання наземних спектрометричних досліджень.

Науковий напрям відділу — розроблення методологій вирішення геологічних завдань на базі широкого використання матеріалів аерокосмічних зйомок у комплексі з геолого-геофізичними, геохімічними та іншими даними. За допомогою матеріалів космічного знімання створено нові технології пошуку покладів вуглеводнів на суходолі та шельфі; апробовано супутникову технологію прогнозування покладів нафти і газу в межах Дніпровсько-Донецької западини, а на окремих її нафтогазопошукових площах оцінено перспективи нафтогазоносності. Результати апробації демонструють високу достовірність цієї технології і відкривають перспективи для прогнозування нових родовищ вуглеводнів, що дозволить значною мірою виріши-

ти паливно-енергетичну проблему України, використовуючи власну сировинну базу. Застосування зазначеної технології дає змогу підвищити геологічну й економічну ефективність геологорозвідувальних робіт щодо виявлення покладів нафти і газу, збільшити обсяг приросту запасів вуглеводневої сировини на фоні зниження фінансових витрат. За допомогою дистанційних методів розроблено методику аналізу нафтогазового потенціалу шельфу Чорного моря; здійснено рейтингове оцінювання нафтогазоперспективних об'єктів на шельфі, визначено структурно-геоморфологічні та геолого-геофізичні критерії для північно-західного шельфу Чорного та акваторії Азовського морів. Створено модернізований комплекс методів прогнозування нафтогазоперспективних об'єктів Дніпровсько-Донецької западини, який включає регіональний, зональний і детальний рівні, кореляцію поверхневих і глибинних аномалій. Рекомендації за результатами досліджень впроваджені у НАК “Нафтогаз України”, ПАТ “Укрнафта”, ПАТ “Укргазвидобування”.

Відділ системного аналізу

Завідувач відділу — член-кореспондент НАН України О. Д. Федоровський. Основний науковий потенціал відділу складають фахівці, які працювали у ЦКБ заводу “Арсенал”, де набули вагомий досвід у проектуванні та дослідженні авіаційних систем ДЗЗ.

У 1958 р. Державний оптичний інститут ім. С. І. Вавілова (м. Ленінград) передав заводу “Арсенал” результати досліджень експериментального макета скануючого тепловізора “Уржум” для створення на його базі авіаційних приладів ДЗЗ. Для забезпечення цих робіт у ЦКБ була організована лабораторія інфрачервоної техніки (1960 р). Керівником цих підрозділів і головним конструктором було призначено О. Д. Федоровського. У цей період були розроблені і виготовлені перші зразки авіаційних оптико-електронних скануючих тепловізорів: вертолїтний варіант “Сура”, а пізніше — літаковий тепловізор “Гаргара”. Апаратура призначалася для зондування морських акваторій, виявлення і розпізнавання в нічний час кораблів за їхнім власним випромінюванням в інфрачервоній області спектра.

У 1980-ті роки були створені більш досконалі універсальні авіаційні тепловізійні системи ДЗЗ — “Пінгвін”, “Спостерігач”, ІЧ-пеленгатор “Полюс”, спектрофотометр “Риф”, а також космічна інфрачервона скануюча система ДЗЗ для ШСЗ “Діамант”.

Відділ системного аналізу Центру створено у 2002 р. з метою проведення науково-дослідних робіт у рамках наукового обґрунтування і впровадження методів системного аналізу для вирішення геоекологічних і природоресурсних завдань на основі аерокосмічної інформації ДЗЗ. Основні напрями досліджень — виконання науково-дослідних робіт, передбачених державними і відомчими за-

мовленнями; проведення фундаментальних, пошукових та прикладних науково-дослідних робіт за такими спрямуваннями: розроблення наукових основ системного моделювання процесу одержання інформації космічними системами ДЗЗ, визначення їхньої оптимальної структури, параметрів та ефективності використання; опрацювання системної методології розвитку та підвищення ефективності космічного геомоніторингу для вирішення ресурсних і екологічних завдань природокористування. У відділі створено наукові основи для моделювання процесу одержання інформації космічними системами ДЗЗ, визначено їхню оптимальну структуру, параметри та ефективність використання. Сформовано системну методологію розвитку та підвищення ефективності аерокосмічного геомоніторингу для вирішення проблем природокористування в процесі збільшення обсягу виконуваних тематичних завдань (зростання ризику надзвичайних ситуацій, розширення пошуку корисних копалин, аграрний комплекс, сталий розвиток міських агломерацій, якість води та водопостачання, екологічний стан довкілля, оборонний комплекс) та вдосконалення аерокосмічних систем ДЗЗ.

Відділ аерокосмічних досліджень у геоєкології

Завідувач відділу — кандидат геологічних наук В. Є. Філіпович. Підрозділ було засновано у травні 1992 р. на базі колишнього Київського відділу Інституту геології і розробки горючих копалин Міністерства нафтової і газової промисловості СРСР (1976 р.), який на початку 1992 р. трансформувався в Київський науково-дослідний інститут космоаерометодів.

Відділ створено з метою організації і проведення науково-дослідних робіт у напрямі розроблення теорії та методів використання матеріалів багатоспектрального аеро- і космічного знімання для вирішення геоєкологічних проблем. Основними завданнями та функціями відділу є створення нових методів і технологій комп'ютерного оброблення та інтерпретації аерокосмічних зображень для вирішення природоохоронних геоєкологічних проблем, розроблення методології екологічного моніторингу в умовах сучасної трансформації урбанізованих територій на основі новітніх супутникових технологій ДЗЗ. У відділі опрацьовано методичні принципи і технології використання матеріалів дистанційної інформації під час виконання геолого-знімальних робіт в Україні; запропоновано на основі використання космічних даних модернізацію методики оцінювання шкоди державі внаслідок нелегального видобування бурштину. На підставі дистанційних даних побудовано просторово-часові моделі підтоплення територій ґрунтовими водами в умовах міських агломерацій; за допомогою назем-

ного спектрометрування та використання матеріалів ДЗЗ розроблено методичні прийоми виявлення техногенного забруднення урбанізованих територій важкими металами, а також джерел забруднень водного середовища. Створено методичні засади оцінювання геоєкологічного стану промислових центрів (для Нікополя, Борислава, Києва, Кривого Рога, Запоріжжя, Херсона, Миколаєва, Маріуполя). На основі розробленої геоінформаційної системи (ГІС), використання космічної інформації, аналізу цифрових моделей рельєфу та геолого-геоморфологічних даних дано обґрунтування прогнозу розвитку зсувонебезпечних процесів на окремих ділянках Придніпровської зсувної зони м. Київ. Розроблено методику аналізу теплового поля урбанізованих територій за даними космічної зйомки та наземних термометричних досліджень (на прикладі м. Київ). Розроблено методичні основи застосування космічних даних у тепловому діапазоні для оцінювання і прогнозування реакції міського середовища на зміни клімату. Створено просторово-часові ряди теплового поля м. Київ, що дозволяє у моніторинговому режимі аналізувати динаміку теплового навантаження на місто, визначати ділянки з підвищеним тепловим забрудненням; проведено районування території міста за ступенем комфортності проживання населення: дано рекомендації щодо прийняття управлінських рішень з метою поліпшення містобудівного планування. Розроблено методичні основи застосування космічних і наземних даних у тепловому діапазоні для оцінки тепловтрат у місті по лінії “місто–район–окремий будинок”. Результати проведених робіт стосовно Києва використовують природоохоронні та комунальні структури Київської міської держадміністрації. Розробки відділу з використання дистанційних даних для геології та геоєкології впродовж останніх 15 років регулярно впроваджуються у підприємства Державної геологічної служби України.

Впровадження розроблених у ЦАКДЗ новітніх супутникових технологій дозволило провести оцінку врожайності на полях Новобузького, Миколаївського та Новоодеського районів Миколаївської області під урожай 2012 р.; Фастівського району Київської області під урожай 2013 та 2014 рр.; південно-східних районів Київської області під урожай 2015 та 2016 рр. Матеріали передані ДУ “Держґрунтохорона” та ТОВ “Баришівська зернова компанія”.

На основі розроблених технологій космічного геомоніторингу створено комплект цифрових карт (ГІС-технологія) порушених територій Олевського району Житомирської області в результаті нелегального видобування бурштину. Передані матеріали будуть використані Центром екологічної освіти та інформації у проекті ПРООН/ГЕФ “Рекультивация земель, порушених внаслідок незаконного видобування корисних копалин на цінних природних те-

риторіях” для моніторингу екологічного стану та рекультивациі земель, що зазнали знищення ґрунтово-рослинного шару внаслідок нелегального видобування бурштину.

Казенному підприємству спеціального приладобудування “Арсенал” передано робоче програмне забезпечення для субпіксельної обробки зображень, що отримуються матричною знімальною камерою космічної системи “Січ” (2013 р.), та спеціалізований програмний модуль субпіксельної обробки кадрів поверхні Землі, які формуються сканером далекого інфрачервоного діапазону (СДІЧ), який буде використаний для розробки програмного забезпечення для наземної обробки супутникових зображень, що формуються бортовою знімальною апаратурою перспективної супутникової системи ДЗЗ “Січ-2М”.

До Департаменту житлово-комунальної інфраструктури Київської міської державної адміністрації передано базову ПС для супутникового моніторингу розвитку зсувонебезпечних процесів на Правобережжі Києва. За матеріалами космічних зйомок проведено моніторингові дослідження розвитку зсувів упродовж останнього десятиріччя (2005–2015 рр.). Результати досліджень можуть бути використані при плануванні протизсувних заходів у м. Київ, наповненні муніципальної ПС, коректуванні містобудівного планування та екологічної політики Київської держадміністрації.

Наукові досягнення Центру

ЦАКДЗ — перша в Україні наукова організація, яка свого часу була прийнята до Європейської асоціації лабораторій дистанційного зондування (EARSeL). Центр плідно співпрацює з Європейським космічним агентством (ESA), а також із космічними агентствами й установами США, Німеччини, Франції, Японії, Угорщини, Польщі, Білорусі, зокрема в межах програм GEOSS-GMES та ін.

У науковому доробку Центру — атласи “Україна з космосу” та “Космос — Україні”, комп’ютерно дешифровані космознімки українсько-російського космічного апарата “Океан-О”, українського супутника “Січ-1”, підготовлено аналогічні матеріали знімків супутника “Січ-2”, в яких показано можливість їх використання для вирішення актуальних для України природоресурсних і природоохоронних завдань. Разом із Міжнародним інститутом прикладного системного аналізу (IIASA) та в рамках Міжнародної програми “Партнерські ініціативи в галузі наук про Землю з вивчення Північної Євразії” (NEESPI) у 2010 та 2012 рр. опубліковано російський та англomовний варіант монографії “Изменения земных систем в Восточной Европе”, передмову до яких написав Президент НАН України академік НАН України Б. Є. Патон. Центр неодноразово посідав перші місця у Відділенні наук про Землю НАН України за кількістю одержаних патентів.

Результати дослідницької діяльності Центру високо поціновані в Україні. Вченим ЦАКДЗ присуджено Державні премії України в галузі науки і техніки: у 2004 р. — В. І. Ляльку (як співавторові) за цикл робіт “Наукові основи формування ресурсів підземних вод як джерела якісного водопостачання та раціонального господарського водокористування”; у 2005 р. — О. Д. Федоровському, М. О. Попову та О. І. Сахацькому (як співавторам) за цикл робіт “Розв’язання проблем раціонального природокористування методами аерокосмічного зондування Землі та моделювання геодинамічних процесів”; у 2011 р. — С. А. Станкевичу (як співавтору) за цикл наукових праць, присвячених технології дешифрування космознімків. Академік НАН України В. І. Лялько, члени-кореспонденти НАН України О. Д. Федоровський і М. О. Попов відзначені почесним званням “Заслужений діяч науки і техніки України”.

Результати досліджень Центру відображені майже в 800 публікаціях у вітчизняних і зарубіжних виданнях, насамперед у 18 монографіях. Найбільш значущі з них такі: “Аэрокосмические методы в геоэкологии”, “Україна з космосу”, “Космос — Україні: Атлас дешифрованих знімків території України з КА “Океан” та інших космічних апаратів”, “Інформатизація аерокосмічного землезнавства”, “Багатоспектральні методи дистанційного зондування Землі в задачах природокористування”, “Изменения земных систем в Восточной Европе”, “Earth Systems Change over Eastern Europe”, “Спутниковые методы поиска полезных ископаемых”, “Сучасні методи дистанційного пошуку корисних копалин”, “Парниковий ефект і зміни клімату в Україні: оцінки та наслідки”, навчальний посібник “Аерокосмічні знімальні системи” та науково-методичний посібник “Аерокосмічні дослідження геологічного середовища”.

23 травня 2017 р. у конференц-залі ІГН НАН України відбулось урочисте засідання вченої ради ДУ “Науковий центр аерокосмічних досліджень Землі Інституту геологічних наук Національної академії наук України” з нагоди 25-річного ювілею Центру. Було проаналізовано основні етапи розвитку ДЗЗ в Україні і Центрі, окреслено перспективи розвитку подальших досліджень. Було оприлюднено Указ Президента України “Про відзначення державними нагородами України з нагоди Дня науки” № 135 від 18.05.2017 р., згідно якого академіка В. І. Лялька нагороджено орденом “За заслуги” II ступеня. Науковці установи отримали вітання від Президента НАН України академіка Б. Є. Патона, Відділення наук про Землю НАН України, а також багатьох виробничих та наукових установ.

Перспективи розвитку наукових досліджень Центру

Нині Науковий центр аерокосмічних досліджень Землі динамічно розвивається, вирішує актуальні наукові та прикладні проблеми, сприяючи тому, щоб

наукові здобутки його співробітників посіли гідне місце у вітчизняній та світовій науці та зробили вагомий внесок у вирішення актуальних для України задач реальної економіки та оборони.

Перспективи розвитку наукових досліджень Центру пов'язані зі створенням єдиної теорії ДЗЗ, в основу покладені сучасні уявлення наук про Землю, теорія енергомасообміну в геосистемах, досягнення в теорії систем; удосконалення моделей фізичних процесів, що відбуваються на суходолі та шельфі, у контексті досліджень нафтогазоперспективності територій; розроблення теоретико-методичних підходів, моделей, алгоритмів, демонстраційного програмного забезпечення та пілотних технологій комплексного геоінформаційного аналізу матеріалів аерокосмічних спостережень Землі і наземних даних, а також наукові рекомендації щодо впровадження цих розробок у практику; створення системи глобального та регіонального космічного екологічного моніторингу, зокрема моніторингу екологічного стану урбанізованих територій, аудиторського моніторингу балансу парникових газів для надійного обґрунтування та уточнення їхніх квот для різних країн та оцінювання потенційних можливостей продажу квот, зокрема Україною.

Концептуально стратегія розвитку досліджень в ЦАКДЗ ІГН НАН України в перспективі до 2020 р. полягатиме в реалізації (з урахуванням науково-прикладної спеціалізації установи) основних положень розвитку світового суспільства, визначених рішеннями ООН зі сталого безконфліктного розвитку людства шляхом забезпечення його перш за все трьома необхідними складовими життєдіяльності, а саме — продовольством, питною водою та енергоресурсами. У вирішенні цієї планетарної проблеми суттєву роль відіграватиме розробка сучасних методів та технологій використання матеріалів гіперспектральних прицевійних аерокосмічних зйомок та комп'ютерного моделювання процесів енергомасообміну в геосферах Землі з метою розробки рекомендацій для вибору сценаріїв раціонального природокористування в умовах збалансованого соціоекономічного розвитку різних країн при відповідних взаємних гарантіях оборонного характеру та міжнародної безпеки.

Література

- Лялько В. И. Дистанционные геотермические поиски полезных ископаемых / В. И. Лялько, М. М. Митник // Геол. журн. — 1975. — Т. 35. — № 6 (165). — С. 27–46.
- Лялько В. И. О возможности дистанционных геохимических поисков некоторых полезных ископаемых на основе лидарной спектроскопии / В. И. Лялько. — Геол. журн. — 1979. — Т. 39. — № 5 (188). — С. 19–25.
- Быстревская С. С. Глубинная структура земной коры по космическим изображениям (на примере Восточного Приазовья) / С. С. Быстревская, Н. Н. Шаталов // Исслед. Земли из космоса. — 1980. — № 5. — С. 10–16.
- Быстревская С. С. Использование сверхдальних дистанционных методов для палеотектонических реконструкций и металлогенического анализа / С. С. Быстревская, Н. Н. Шаталов // Проблемы палеовулканологических реконструкций и картирования в связи с вулканогенным рудообразованием. — К.: Наук. думка, 1981. — С. 127–128.
- Лялько В. И. Использование дистанционной тепловой и спектрометрической съемки для поисков нефтегазовых залежей и термальных вод / В. И. Лялько, М. М. Митник, Л. Д. Вульфсон (Препр. ИГН АН УССР, Киев, 1981. 46 с).
- Новые данные о структуре и истории геологического развития акватории Азовского моря по дешифрированию космических снимков / Шнюков Е. Ф. [и др] // Геол. журн. — 1981. — Т. 41. — № 1 (196). — С. 21–26.
- Шаталов Н. Н. К вопросу об использовании результатов дешифрирования космо- и аэрофотоснимков при изучении особенностей геологического строения Восточного Приазовья / Н. Н. Шаталов // Геол. журн. — 1982. — Т. 42. — № 1 (202). — С. 68–76.
- Быстревская С. С. Использование аэрокосмических материалов при региональных вулканотектонических реконструкциях и металлогеническом анализе в пределах платформенных областей / С. С. Быстревская, Н. Н. Шаталов // Современные проблемы палеовулканологии. М.: Наука, 1985. — С. 164–173.
- Шаталов Н. Н. Использование аэрокосмической информации при крупномасштабном геологическом картировании (на примере Покрово-Киреевского рудного района) / Н. Н. Шаталов, В. Г. Верховцев, Н. Ф. Русаков // Использование аэрокосмической информации в геологии и смежных областях. — М.: Наука, 1987. — С. 33–34.
- Шаталов Н. Н. Применение космических снимков для изучения геологической структуры и металлогении Украинского щита / Н. Н. Шаталов, П. С. Веремьев // Использование аэрокосмической информации в геологии и смежных областях. — М.: Наука, 1987. — С. 56–57.
- Лялько В. И. Использование аэрокосмической информации в геологии и смежных областях / В. И. Лялько, Н. Н. Шаталов // Геол. журн. — 1988. — Т. 48. — № 2 (239). — С. 141–143.
- Борисенко Л. С. Новейшая тектоника Крыма по данным геолого-геофизических и аэрокосмических исследований / Л. С. Борисенко, И. И. Чебаненко, Н. Н. Шаталов // Геол. журн. — 1988. — Т. 48. — № 3 (240). — С. 3–11.
- Чебаненко И. И. Использование аэрокосмических снимков для выявления разломов и неотектонических движений Крыма и Приазовья / И. И. Чебаненко, Н. Н. Шаталов, Л. С. Борисенко // Аэрокосмическое изучение современных и новейших тектонических процессов: Сб. науч. тр. — М.: Наука, 1988. — С. 12–16.
- Чебаненко И. И. Основные структуры Приазовского блока Украинского щита по аэрокосмическим данным / И. И. Чебаненко, Н. Н. Шаталов, И. С. Потапчук, В. Г. Вер-

- ховцев // Тектоносфера України. — К.: Наук. думка, 1989. — С. 80–86.
- Верховцев В. Г. Кольцевые структуры Приазовского блока Украинского щита по данным дешифрирования космических снимков / В. Г. Верховцев, П. С. Веремьев, Н. Н. Шаталов // Исслед. Земли из космоса. — 1989. — № 6. — С. 15–22.
- Карта линейных и кольцевых структур Украинской ССР (по материалам космических съемок). М-6 1:1 000 000 / Б. А. Николаенко, С. С. Быстревская, В. Т. Воловик, В. К. Гавриш, А. И. Зарицкий (ред.). — К.: Наук. думка, 1989. — 113 с.
- Верховцев В. Г. Опыт проведения крупномасштабных аэрокосмотектонических исследований (на примере Мариупольско-Стародубовского эталонного участка) / В. Г. Верховцев // Тектоника и стратиграфия. — 1989. — Вып. 30. — С. 6–12.
- Верховцев В. Г. Новітні платформні геоструктури України та динаміка їх розвитку: дис. ... д-ра геол. наук за спеціальністю 04.00.01 — загальна і регіональна геологія. — К.: 2008.
- Космическая информация в геологии / В. Г. Трифонов [и др.] — М.: Наука, 1983. — 536 с.
- Лялько В. И. Аэрокосмические методы в геоэкологии / В. И. Лялько, Л. Д. Вульфсон, В. Ю. Жарый. — К.: Наук. думка, 1992. — 206 с.
- Україна з космосу (Атлас дешифрованих знімків території України з космічних апаратів): 2 вид: Лялько В. І., Федоровський О. Д. (ред.). — К.: Наук. думка, 1999. — 34 с.
- Космос — Україні (Атлас дешифрованих знімків території України з КА “Океан” та інших космічних апаратів): Лялько В. І., Федоровський О. Д. (ред.). — К.: Наук. думка, 2001. — 106 с.
- Нові методи в аерокосмічному землезнавстві: Лялько В. І. (ред.). — К.: Наук. думка, 1999. — 262 с.
- Інформатизація аерокосмічного землезнавства: Довгий С. О., Лялько В. І. (ред.). — К.: Наук. думка, 2001. — 606 с.
- Словник із дистанційного зондування Землі: Лялько В. І., Попов М. О. (ред.). К.: СМІП АБЕРС, 2004. — 170 с.
- Державний стандарт України ДСТУ 4220:2003 “Дистанційне зондування Землі з космосу. Терміни та визначення понять”. — К.: Держспоживстандарт України, 2003. — 18 с.
- Державний стандарт України ДСТУ 4758:2007 “Дистанційне зондування Землі з космосу. Оброблення даних. Терміни та визначення понять”. — К.: Держспоживстандарт України, 2007. — 12 с.
- Багатоспектральні методи дистанційного зондування Землі в задачах природокористування: Лялько В. І., Попов М. О. (ред.). — К.: Наук. думка, 2006. — 358 с.
- Бурштинська Х. В. Аерокосмічні знімальні системи: навч. посібник / Х. В. Бурштинська, С. А. Станкевич. — Львів: “Львівська політехніка”, 2010. — 292 с.
- Изменения земных систем в Восточной Европе: Лялько В. И. (ред.). — К.: ПП “Фолиант”, 2010. — 581 с.
- Аерокосмічні дослідження геологічного середовища: наук.-метод. посібник / А. Г. Мичак, В. Є. Філіпович, В. Л. Приходько [та ін.]. — Міністерство охорони навколишнього природного середовища України, Державна геологічна служба України. — К.: 2010. — 246 с.
- Earth Systems Change over Eastern Europe: Groisman P., Lyalko V. I. (Eds.). — Kiev: Akadempriodyka, 2012. — 488 p.
- Спутниковые методы поиска полезных ископаемых / В. И. Лялько, М. А. Попов. — К.: Карбон Лтд, 2012. — 436 с.
- Инфраструктура спутниковых геоинформационных ресурсов и их интеграция: Сб. науч. ст.: д-р техн. наук М. А. Попов и д-р техн. наук Е. Б. Кудашев (ред.). — К.: Карбон-Сервис, 2013. — 192 с.
- Парниковий ефект і зміни клімату в Україні: оцінки та наслідки: Лялько В. І. (ред.). — К.: Наук. думка, 2015. — 283 с.
- Попов М. О. До 20-річчя заснування Державної установи “Науковий центр аерокосмічних досліджень Землі Інституту геологічних наук НАН України” / М. О. Попов, О. І. Левчик // Вісн НАН України. — 2012. — № 6. — С. 68–73.
- До 25-річчя від дня заснування Державної установи “Науковий центр аерокосмічних досліджень Землі Інституту геологічних наук НАН України” / Лялько В. І., Попов М. О., Федоровський О. Д., Філіпович В. Є., Єсіпович С. М., Седлєрова О. В. // Геол. журн. — 2017. — № 1 (358). — С. 101–108.
- Сучасні методи дистанційного пошуку корисних копалин: Лялько В. І., Попов М. О. (ред.). ISBN 978_966_02_8295_7 (електронне видання). — К.: 2017. — 220 с.

References

- Lyalko V. I., Mitnick M. M., 1975. Remote geothermal prospecting of minerals. *Geologichnyy Zhurnal*, vol. 35, No. 6 (165), p. 27-46 (in Russian).
- Lyalko V. I., 1979. On the possibility of remote geochemical searches for some minerals based on lidar spectroscopy. *Geologichnyy Zhurnal*, vol. 39, No 5 (188), p. 19-25 (in Russian).
- Bystrevskaya S.S., Shatalov N.N., 1980. Deep structure of the earth's crust by cosmic images (on the example of the Eastern Priazovye). *Issledovaniye Zemli iz kosmosa*, No 5, p. 10-16 (in Russian).
- Bystrevskaya S.S., Shatalov N.N., 1981. Use of ultra-long distance methods for paleotectonic reconstructions and metallogenic analysis. In: *Problems of paleovolcanic-logical reconstructions and mapping in connection with volcanogenic ore formation*. Kiev: Naukova Dumka, p. 127-128 (in Russian).
- Lyalko V.I., Mitnik M.M., Wulfson L.D., 1981. Use of remote thermal and spectrometric surveys to search for oil and gas deposits and thermal waters. *Kiev, Prep. IGN of the Academy of Sciences of the Ukrainian SSR*, 46 p. (in Russian).
- Shnyukov E.F., Kudel Yu.A., Radziwill A.Ya., Radzivil V.Ya., Tokovenko V.S., 1981. New data on the structure and history of geological development of the Azov Sea water area on interpretation of space images. *Geologichnyy Zhurnal*, vol. 41, No. 1 (196), p. 21-26 (in Russian).
- Shatalov N.N., 1982. On the use of the results of decoding of cosmic and aerial photographs in the study of the features of

- the geological structure of the Eastern Azov Sea. *Geologichnyy Zhurnal*, vol. 42, No. 1 (202), p. 68–76 (in Russian).
- Bystrevskaya S.S., Shatalov N.N., 1985. Use of aerospace materials for regional volcanic-tectonic reconstructions and metallogenic analysis within the platform areas. In: *Modern problems of paleovolcanology*. Moscow: Nauka, p. 164–173 (in Russian).
- Shatalov N.N., Verkhovtsev V.G., Rusakov N.F., 1987. The use of aerospace information for large-scale geological mapping (using the example of the Pokrovo-Kireevsky ore region). In: *Using aerospace information in geology and related fields*. Moscow: Nauka, p. 33–34 (in Russian).
- Shatalov N.N., Veremyev P.S., 1987. Application of space images to study the geological structure and metallogeny of the Ukrainian Shield. *Ibid.*, p. 56–57 (in Russian).
- Lyalko V.I., Shatalov N.N., 1988. Use of aerospace information in geology and related fields. *Geologichnyy Zhurnal*, vol. 48, No. 2 (239), p. 141–143 (in Russian).
- Borisenko L.S., Chebanenko I.I., Shatalov N.N., 1988. The newest tectonics of Crimea according to geological-geophysical and aerospace research. *Geologichnyy Zhurnal*, vol. 48, No. 3 (240), p. 3–11 (in Russian).
- Chebanenko I.I., Shatalov N.N., Borisenko L.S., 1988. Use of an astrocosmic image to detect faults and neotectonic movements of the Crimea and the Azov Sea. In: *Aerospace study of modern and newest tectonic processes: Sat. scientific. tr.* Moscow: Nauka, p. 12–16 (in Russian).
- Chebanenko I.I., Shatalov N.N., Potapchuk I.S., Verkhovtsev V.G., 1989. The basic structures of the Priazovsky block of the Ukrainian Shield for aerospace data. In: *Tectonosphere of Ukraine*. Kiev: Naukova Dumka, p. 80–86 (in Russian).
- Verkhovtsev V.G., Veremyev P.S., Shatalov N.N., 1989. Ring structures of the Priazovsky block of the Ukrainian shield according to the interpretation of space images. *Issledovanie Zemli iz kosmosa*, No 6, p. 15–22 (in Russian).
- Nikolaenko B.A., Bystrevskaya S.S., Volovik V.T., Gavrish V.K., 1989. Map of linear and annular structures of the Ukrainian SSR (based on satellite imagery). Scale 1:1 000 000. Ed. A.I. Zaritsky Kiev: Naukova Dumka, 113 p. (in Russian).
- Verkhovtsev V.G., 1989. Experience in conducting large-scale aerospace-tectonic studies (using the example of the Mariupol-Starodubovskoy reference area). *Tektonika i Stratigrafiya*, iss 30 p. 6–12 (in Russian).
- Verkhovtsev V.G., 2008. The newest platform geostructures of Ukraine and the dynamics of their development: dis. ... Dr. geol. sci. on specialty 04.00.01 – general and regional geology. Kyiv (in Ukrainian).
- Space information in geology. V.G. Trifonov et al., 1983. Moscow: Nauka, 536 p. (in Russian).
- Lyalko V.I., Vulfson L.D., Zhary V.Yu., 1992. *Aerospace methods in geocology*. Kiev: Naukova Dumka, 206 p. (in Russian).
- Ukraine from space (Atlas of decoded pictures of the territory of Ukraine from space vehicles) 2 ed. Eds.: Lyalko V.I., Fedorovsky A.D., 1999. Kiev: Naukova Dumka, 34 p. (in Ukrainian).
- Cosmos – Ukraine (Atlas of decoded pictures of the territory of Ukraine with spacecraft “Ocean” and other space vehicles). Eds. Lyalko V.I., Fedorovsky A.D., 2001. Kyiv: Naukova Dumka, 106 p. (in Ukrainian).
- New methods in aerospace agriculture. Ed. Lyalko V.I., 1999. Kyiv: Naukova Dumka, 262 p. (in Ukrainian).
- Informatization of aerospace agriculture: Eds. Dovgy S.O., Lyalko V.I., 2001. Kyiv: Naukova Dumka, 606 p. (in Ukrainian).
- Reference book with remote sensing of the Earth: Eds. Lyalko V.I., Popov M.A., 2004. Kyiv: SMP AVERS, 170 p. (in Ukrainian).
- State standard of Ukraine DSTU 42202003 “Remote sensing of the Earth from space., 2003. Terms and definitions of concepts”. Kyiv: State Standard of Ukraine, 18 p. (in Ukrainian).
- State standard of Ukraine DSTU 4758: 2007 “Remote sensing of the Earth from space, 2007. Data processing. Terms and definitions of concepts”. Kyiv: State Standard of Ukraine, 12 p. (in Ukrainian).
- Multispectral methods for remote sensing of the Earth in the problems of nature management, 2006/ Lyalko V.I., Popov M.A. (Eds.), 2006. Kiev: Naukova Dumka, 358 p. (in Ukrainian).
- Burshtinska Kh.V., Stankevich S.A., 2010. *Aerocosmic surveying systems*, Text book. Lviv: “Lviv Polytechnic”, 292 p. (in Ukrainian).
- Changes in terrestrial systems in Eastern Europe: Ed. Lyalko V.I., 2010. Kiev: “Foliant” publishing house. 581 p. (in Russian).
- Aerocosmic studies of the geological environment. Sci. method. allowance. A.G. Michach, V.E. Filipovich, V.I. Prikhodko et al., 2010. Ministry of Environmental Protection of Ukraine, State Geological Survey of Ukraine. Kyiv, 246 p. (in Ukrainian).
- Earth Systems Change over Eastern Europe. Eds. P. Groisman, V.I. Lyalko, 2012. Kiev: Akadempriodyka, 488 p. (in English).
- Satellite methods of searching for minerals. Eds. acad. of NAS of Ukraine V.I. Lyalko and Dr. Tech. Sci. M.A. Popov, 2012. Kiev: Carbon Ltd., 436 p. (in Russian).
- Infrastructure of satellite geoinformation resources and their integration: Sat. sci. art.: Eds.: Dr. Tech. Sci. M.A. Popov and Dr. Tech. Sci. E.B. Kudashev, 2013. Kiev: Carbon-Service, 192 p. (in Russian).
- Greenhouse effect and climate change in Ukraine: assessments and consequences: Ed. Lyalko V.I., 2015. Kyiv: Naukova Dumka, 283 p. (in Ukrainian).
- Popov M.A., Levchik O.I., 2012. To the 20th Anniversary of the founding of the State Institution “Scientific Center for Aerospace Exploration of the Earth of the Institute of Geological Sciences of the National Academy of Sciences of Ukraine”. *Visnyk NAN Ukrainy*, No. 6, p. 68–73 (in Ukrainian).
- Lyalko V.I., Popov M.A., Fedorovsky A.D., Filipovich V.E., Esipovich S.M., Sedlerova O.V., 2017. To the 25th anniversary of the founding of the State Enterprise “Scientific Center for Aerospace Earth Studies of the Institute of Geological Sciences of the National Academy of Sciences of Ukraine”. *Geologichnyy Zhurnal*, No. 1 (358), p. 101–108 (in Ukrainian).
- Modern methods of remote search for minerals: Eds. Lyalko V.I., Popov M.A., 2017. ISBN 978_966_02_8295_7 (electronic publication). Kyiv, 220 p. (in Ukrainian).

СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ АЭРОКОСМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ ЗЕМЛИ В ГОСУДАРСТВЕННОМ УЧРЕЖДЕНИИ “НАУЧНЫЙ ЦЕНТР АЭРОКОСМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ ЗЕМЛИ ИНСТИТУТА ГЕОЛОГИЧЕСКИХ НАУК НАЦИОНАЛЬНОЙ АКАДЕМИИ НАУК УКРАИНЫ”

В. І. Лялько, М. А. Попов, О. В. Седлєрова, Н. Н. Шаталов

Представлен аналитический обзор состояния и тенденций развития аэрокосмических исследований Земли в ИГН НАН Украины с 1974 по 2018 г. Показан вклад ученых Института в этом направлении. Рассмотрены основы создания в Отделении наук о Земле НАН Украины по инициативе академика Б. Е. Патона Научного совета по проблеме “Изучение природных ресурсов дистанционными методами” (1987 г.) и Государственного учреждения “Научный центр аэрокосмических исследований Земли ИГН НАН Украины” (1992 г.). Приведены данные о структуре Центра. Сделан анализ вклада сотрудников Центра в развитие аэрокосмических исследований в Украине. Показано, что перспективы развития научных исследований Центра связаны с созданием единой теории дистанционного зондирования Земли, в основу которой положены современные представления наук о Земле, теория энергомассобмена в геосистемах, достижения в теории систем, современные модели физических процессов, которые происходят на материке и шельфе. Концептуально стратегия развития исследований в ЦАКИЗ ИГН НАН Украины в перспективе будет заключаться в реализации основных положений развития мирового общества, определенных решениями ООН по устойчивому безконфликтному развитию человечества путем обеспечения его продовольствием, питьевой водой и энергоресурсами.

Ключевые слова: дистанционное зондирование Земли и перспективы его развития

THE STATE AND PROSPECTS OF DEVELOPMENT OF AEROSPACE RESEARCH OF THE EARTH IN THE STATE INSTITUTION “SCIENTIFIC CENTRE FOR AEROSPACE RESEARCH OF THE EARTH OF THE INSTITUTE OF GEOLOGICAL SCIENCES OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF UKRAINE”

V. I. Lyalko, M. A. Popov, O. V. Sedlerova, N. N. Shatalov

An analytical review of the state and trends in the development of aerospace Earth research in the Institute of Geological Sciences of the National Academy of Sciences of Ukraine for the period from 1974 to 2018 is presented. The contribution of the Institute's scientists in this direction is shown. The fundamentals of the creation of the NAS of Ukraine in the Department of Earth Sciences at the initiative of Academician B.E. Paton of the Scientific Council on the problem of the study of natural resources by remote methods (1987) and the State Institution Scientific Centre for Aerospace Research of the Earth (1992) are considered. Data on the structure of the Center are given. The contribution of the staff of the of the Center to the development of aerospace research in Ukraine is analyzed. It is shown that the prospects for the development of the Center's scientific research are related to the creation of an unified RSE theory based on modern concepts of Earth sciences, the theory of energy-mass transfer in geosystems, advances in systems theory, and the improvement of models of physical processes that occur on the continent and the shelf. Conceptually, the strategy for the development of research in the CASRE of IGN NAS of Ukraine in the future will consist in the implementation of the main provisions of the development of world society defined by the UN decisions on sustainable, conflict-free development of mankind by providing it with food, drinking water and energy resources.

Key words: remote sensing of the Earth and the prospects of its development

УДК 558.8:(061.6:001.891)(477)

Історія Наукового центру аерокосмічних досліджень Землі ІГН НАН України.

Розвиток ДЗЗ у Київському відділі Інституту геології і розробки горючих копалин (КВ ІГ і РГК) Міністерства нафтової промисловості СРСР та Академії Наук СРСР, який був однією зі структур, на основі яких було створено ЦАКДЗ ІГН НАН України

А. Г. Мичак *

ДУ "Науковий центр аерокосмічних досліджень Землі ІГН НАН України", Київ, Україна

Представлено аналіз розвитку методів дистанційного зондування Землі у нафтогазопозуковій галузі у період з 1977 по 1992 роки у Київському відділі Інституту геології і розробки горючих копалин Міністерства нафтової промисловості СРСР та Академії Наук СРСР (КВ ІГ і РГК). Наведено структуру і основні наукові і виробничі завдання, що вирішувались колективом фахівців КВ ІГ і РГК. Представлені основні наукові і методичні результати діяльності Київського відділу: комплекти карт, методичні рекомендації, успішні результати прогнозування нафто- і газоперспективних структур на території України і нафтогазоносних провінцій колишнього СРСР. Підкреслено провідну роль КВ ІГ і РГК у підготовці фахівців з використання аерокосмічних методів при вивченні нафтогазоносних регіонів і в цілому природокористування.

Ключові слова: аерокосмічні методи дослідження, нафтогазопозукові роботи

© А. Г. Мичак. 2018

Початок

Науковий Центр аерокосмічних досліджень Землі (ЦАКДЗ ІГН НАН України) було створено 1992 року рішенням Президії Національної Академії Наук України № 150 від 20.05.1992 р. Базовими структурами для створення Центру були Київський науково-дослідний інститут космоаерометодів та підрозділи Інституту геологічних наук НАН України. До часу створення Центру кожна із цих його складових частин мали свої "аерокосмічні родоводи".

Київський науково-дослідний Інститут космоаерометодів (КНДІКАМ) засновано наказом фонду державного майна України від 19 листопада 1991 р. за № 136, як результат виконання Закону України "Про підприємства, установи, організації, розташовані на території України" (після проголошення незалежності України) від 10 вересня 1991 р. та Постанови Кабінету Міністрів України від 24 вересня 1991 р. № 227. Своїм наказом Фонд майна України затвердив статут Інституту космоаерометодів і поставив на державний облік майно Київського відділу Інституту геології та розробки горючих копалин (КВ ІГ РГК) Міннафтогазпрому СРСР на базі якого і було створено КНДІКАМ. Інститут космоаерометодів проіснував з листопада 1991 р. по травень 1992 р. лишень шість місяців (!) і, таким чином, структурно та за напрямками наукових досліджень

він по суті залишався "Київським відділом ІГ і РГК" кінця 1980-х рр.

Київський відділ Інституту геології та розробки горючих копалин Міністерства нафтової промисловості СРСР та Академії Наук СРСР (попередник КНДІКАМу) було створено у 1976 р. відповідно до наказу Міністерства нафтової промисловості СРСР від 4 січня 1976 р. №1 та наказу Інституту геології та розробки горючих копалин (ІГ і РГК, м. Москва) від 20 лютого 1976 р. за №8.

Завданням Київського відділу було вивчення нафтогазоносних областей Української РСР та інших регіонів СРСР аерокосмічними методами з метою підвищення ефективності нафтогазопозукових робіт, розробка і вдосконалення методів і технологій цих досліджень, а також підвищення кваліфікації фахівців у галузі аерогеології.

Відділ виконував передпольові, польові, камеральні дослідно-методичні та виробничі аерогеологічні дослідження, наземні та аеровізуальні спостереженнями. Під час польових робіт, проводили геологічні спостереження використовуючи традиційні методи: "закопушки", шурфи, а також мобільне бурове обладнання. Результати наземних на аеровізуальних спостережень (окрім фотографій та записів у польових щоденниках) фіксували застосовуючи тодішні передові технології (перфокарти, диктофони, відеокамери).

* E-mail: anton.mychak@gmail.com

Кадри

Кадровою основою Київського відділу ІГ РГК була Лабораторія аерогеологічних методів, яка існувала при інституті “УкрДІПрОНДІнафта” Міннафтопрому СРСР з 1972 р. В лабораторії працювали кваліфіковані співробітники, які мали досвід геологорозвідувальних робіт із використанням та обробкою матеріалів аерофотознімання (Строев В. М., Строева В. Б., Воронова Г. І., Стекольнікова О. В., Товстюк З. М., Соколова Ю. Л., к.г.-м.н. Воловик В. Т., к.г.-м.н. Данилевська Д. М., Волкова Г. М., Бистревський І. І., Волонгевич Є. Ф., Оленович А. П. та ін.).

В лабораторії поруч із досвідченими спеціалістами працювали також і молоді фахівці (Матошко А. В., Пазинич Н. В., Пазинич В. Г., Кулаковський Г. І., Лаврусь В. П., Вознюк Т. А., Ліщенко Л. П.).

Очолював лабораторію к.г.-м.н. Віталій Іванович Грідін. Завдяки його енергії та таланту організатора була проведена велика робота по створенню Київського відділу ІГ і РГК. Він очолював відділ з дня його заснування і до початку 1981 р. Науково-методичні засади, технології організації дистанційних досліджень

Землі започатковані В. І. Грідіним, стали визначальними на багато років у подальших дослідженнях відділу.

Київський відділ постійно, починаючи з дня заснування, залучав до своїх лав як випускників вузів, так і відомих фахівців з інших виробничо-наукових організацій.

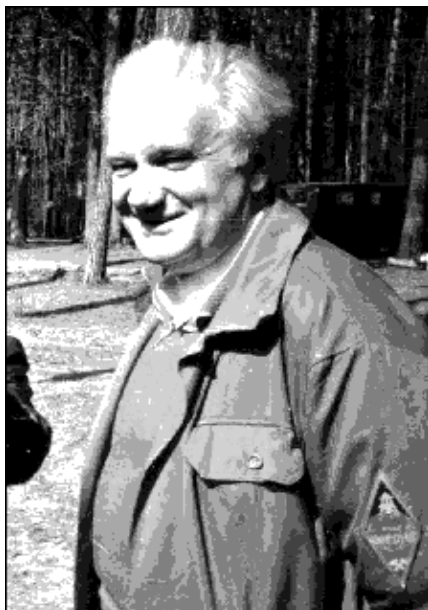
Так, на кінець 1970-х початок 80-х р. у КВ ІГ і РГК на провідних науково-виробничих посадах у відділі вже працювали кандидати геолого-мінералогічних наук Жилівський М. І., Панащенко В. М., Балеста Г. Й, Готинян В. С., кандидат географічних наук Чернін В. М., кандидати технічних наук Тепляков М. А., Черенков О. О., Гімелфарб Г. Л., Коваль В. М, Чукін Ю. В., фахівці: Погребняк В. Ф., Лящук Б. Н., Андрущук М., Мороз В. С., Терemenko О. М.

У відділ у 1979 р. після закінчення Київського та Львівського університетів прийшли молоді спеціалісти Кудряшов О. І, Пономаренко С. О., Філіпович В. Є., Черненко Ю. О., Гріщенко Я. Л., Мичак А. Г., Тарангул Д. О., Бичков С. Г. В цей же період КВ ІГ і РГК поповнився висококваліфікованими фахівцями з інших організацій:



Віталій Іванович Грідін

Засновник Київського відділу ІГ і РГК.
Керував відділом з 1976 по 1981 рр.



Георгій Васильович Чернявський, к.г.-м.н.,
керівник Київського відділу ІГ і РГК у 1981–1988 рр.



Володимир Михайлович Перерва, к.г.-м.н.
Останній керівник Київського відділу ІГ і РГК у 1988–1991 рр.



Міра Георгіївна Распопова, к.г.-м.н., Лауреат Державної премії України 1991 р., завідувала лабораторією методики і дослідно-методичних досліджень з вивчення нафтогазоносних Дніпровсько-Припятьської провінції і Карпатської області у 1985–1990 рр.



Діана Михайлівна Данилевська, к.г.-м.н., зав. лабораторією оглядово-регіональних аерокосмічних досліджень у 1978–1983 рр., зав. лабораторією випробування та впровадження нових методів дистанційного вивчення нафтогазоносних територій у 1985–1990 рр.



Віктор Миколайович Панасенко, к.г.-м.н. Завідував лабораторією автоматизованих навчальних систем у 1981–1983 рр.



Василь Степанович Готиня, к.г.-м.н., зав. лабораторією комплексного використання аерокосмічної і геолого-геофізичної інформації при нафтогазопошукових роботах у 1981–1985 рр. Зав. лабораторією автоматизації обробки та інтерпретації аерокосмічної інформації у 1985–1990 рр.



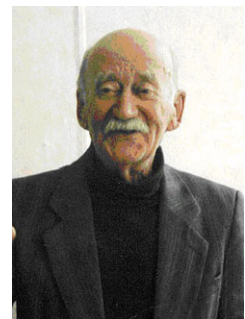
Валентин Петрович Полканов, к.г.-м.н., зав. лабораторією теоретичних і дослідно-методичних досліджень на аерокосмічних полігонах у 1981–1984 рр.



Георгій Федорович Бусел, к.г.-м.н., зав. лабораторією методики і дослідно-методичних досліджень з вивчення нафтогазоносних Волго-Уральської, Тимано-Печорської, Західно-Сибірської нафтогазоносних провінцій. Обіймав цю посаду з 1988 по 1991 р.)



Валентин Михайлович Чернін, к.геогр.н., зав. лабораторією алгоритмізації процесів обробки матеріалів дистанційної інформації процесів обробки матеріалів дистанційної інформації у 1977–1985 рр.



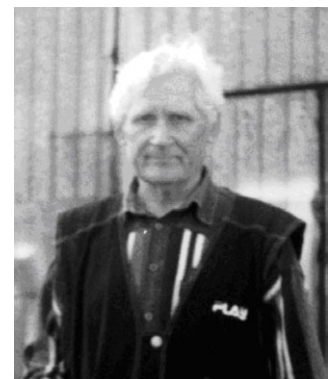
Микола Опанасович Тепляков, к.т.н., с.н.с., полковник запасу, один з засновників методів дистанційних досліджень з використання оптичних властивостей аеротакозмізмів. Працював у Київському відділі ІГ і РГК з 1980 по 1991 р.



Леонід Миколайович Гусак, керівник інформаційно-патентної групи. Очолював групу з 1980 по 1991 рр.



Володимир Іванович Меркулов. Генерал-лейтенант, Герой Радянського Союзу, заслужений військовий льотчик. Обіймав посаду заступника керівника Київського відділу у 1986–1989 рр.



Григорій Васильович Запорожець. Керівник автогосподарства та ремонтних майстерень Київського відділу ІГ і РГК з 1981 по 1991 рр.

Луцкіним В. І., Борисовою Н. Я., Гусаком Л. М., Брагінською В. Я.

Наступною хвилею приходу фахівців у відділ, починаючи з 1981 р., були к.г.-м.н. Полканов В. П., к.г.-м.н. Распопова М. Г., Овсієнко Г. Р., Кашуба І. І., Мяснікова В. Ю., випускники Київського університету ім. Т. Шевченка Муравський С. В., Макаруч О. І., Самчук О. О., Дей В. О., Можайкін І., Седлєрова О. В., Головащук О. І., Азімов О. Т., Гавриленко А. В. та ін.

Протягом 1983–1986 рр. відділ поповнили кандидати геолого-мінералогічних наук Ходоровський А. Я., Гушнін Б. М., Бусел Г. Ф., Перерва В. М., Войтович С., кваліфіковані фахівці Лозинський В. А., Нагорський В. О. та ін.

Таким чином, у лабораторіях відділу працювали фахові науковці різних спеціальностей, на перетині таких наук як геологія, геоморфологія, картографія, кібернетика, інформатика, фотограмметрія, геодезія, тощо.

Технічне забезпечення

У своєму складі Київський відділ мав виробничо-дослідницькі підрозділи з аерозйомочних робіт в комплексі з потужною фотолабораторією та фотограмметричною групою. Керували цими підрозділами Круподер Г. М., Ігнатович М. Г. та Волонгевич Є. Ф. Ці підрозділи були оснащені новітнім обладнанням. На їхньому озброєнні були: багатоспектральні фотографічні камери МКФ-6, МСП-4, тепловізор “Вулкан”, фототрансформатор “Ректимат” та ін. Взагалі, Київський відділ володів самим сучасним, на той час, обладнанням (як правило, фірми “Карл Цейс Іена” (Німеччина). Фахівці лабораторій мали змогу користуватись електронною обчислювальною машиною СМ-1420, пізніше — СМ-1422. Оцифрування негативів/позитивів здійснювали на приладі “Фіаг-200” в комплексі зі “Спектрометром” (обчислювальний комплекс “Спектр-Д”, який дозволяв обробляти багатозональні космічні знімки).

Для обробки та дешифрування багатоспектральних знімків використовували прилад МСП-4, візуальне дешифрування виконували на приладі “Інтерпретоскоп”. Результати дешифрування переводились на картографічну основу з допомогою камери “Клара”. Польові загони в своєму розпорядженні мали ручні та моторизовані бурові пристрої, топопреди, диктофони, фотографічні апарати.

Практичне впровадження досліджень

Органічною складовою роботи Київського відділу завжди було впровадження результатів наукових досягнень в практику нафтогазопошукових робіт. Протягом усіх років існування відділу в його структурі лівову частку займали науково-виробничі геологічні партії, загони. Зокрема, значний період часу (середина 1980-х рр.) діяли Київська

(нач. Пазинич В. Г., гол. геолог Тостюк З. М.) та Мангшлакська (нач. Коваленко В. С., Кличников О. В.) дослідно-методичні партії,

На початку 1980-х були створенні і постійно функціонували аерокосмічні геологічні загони (в різні роки вони мали різні назви): Білоруський (нач. Погребняк В. Ф.), Український (нач. Лящук Б. Ф., Тарангул Д. О.), Східно-Український (нач. Кулаковський Г. Л.), Карпатський (нач. Мичак А. Г.), Грузинський (нач. Пономаренко С. А., Філіпович В. Є.), Прикаспійський (Мороз В. С.).

Щорічно, для забезпечення виконання завдань польових геологічних робіт, проводились аерофізичні спостереження. При лабораторіях організовувались тимчасові загони відповідно своїх регіонів досліджень — Західна Сибір, Тимано-Печора, Мангшлак, Поволжя, Крим, Прикаспій (Казахстан, Калмикія, Астрахань).

Замовником аерокосмічних досліджень були виробничі структури Міністерства геології СРСР, Міністерства нафтової промисловості СРСР (Геофізичні трести, експедиції), на Україні, зокрема, — “Укргеофізика” та “Укрнафта”.

Науково-виробнича діяльність Київського відділу забезпечувалась спецвідділом по роботі з матеріалами обмеженого користування (Зеленський М. І., Мамієнко Н. В.), інформаційно-патентною групою з бібліотечним та геологічним фондами (Гусак Л. М.), потужною автогосподарчою частиною (Хлівенко В. Г., Запорожець Г. В.).

Спецчастина на кінець 1980-х років нараховувала до 10 тис. найменувань спецматеріалів, бібліотека — біля 60 тис. позицій.

Автопарк на початок-середину 1980-х років мав в своєму розпорядженні до 16 одиниць технічних засобів, які повністю забезпечували польові геологічні дослідження, та обслуговування відділу.

Де ми працювали и де ми жили

Наукові приміщення Київського відділу ІГ і РГК розміщувались у будинку, який був побудований за рахунок Міннафтопрому СРСР по вул. Артема 60, на 7–9 поверхах. За цією адресою відділ перебував з 1978 по 1991 роки.

Важливим фактором успішного функціонування КВ ІГ і РГП було забезпечення його співробітників житлом. За ініціатииви відділу, коштом Міннафтопрому СРСР було побудовано два житлові будинки в м. Ірпінь (Київська область). Перший, 75-квартирний 14-ти поверховий будинок в центрі Ірпеня по вул. Шевченка 5, завершено будівництвом 1986 р. (був переданий, майже повністю, під відселення жителів із зони негативного впливу Чорнобильської АЕС) і другий будинок, 78-квартирний по вул. ІІІ-го Інтернаціоналу, був збудований 1988 р. Таким чином, усі співробітники були повністю забезпечені житлом.

Організацією господарського функціонування, умов будівництва житлових приміщень займалися заступники завідувача відділом: у 1978–1985 рр. Пелешук Г. К., а у 1986–1989 рр. — Меркулов В. І.

Меркулов В. І. був героїчною постаттю, надзвичайно неординарною особистістю: учасник Великої Вітчизняної війни, генерал-лейтенант, Герой Радянського Союзу, заслужений військовий льотчик. Під час війни Меркулов В. І. здійснив більше 250 успішних вильотів, провів біля 100 повітряних боїв, знищив особисто 21 ворожий літак. Особливо цікавими були його інформативні виступи на науково-виробничих нарадах про стан господарських справ, будівництво житлового будинку в м. Ірпінь та неофіційні навчально-побутові розповіді про воєнні та післявоєнні будні. Завдяки його роботі будівництво житлових будинків для співробітників Київського відділу ІГ і РГК відбувалось більш швидшими темпами, аніж це було притаманно часові "застою".

Наукові та практичні досягнення

Максимальна кількість співробітників Київського відділу була у 1985 році, коли в його лавах налічувалось 185 чол., в середньому чисельність відділу коливалась від 120 до 140 осіб.

Об'єм фінансування науково-виробничих структур (без урахування капітального будівництва) найвищим був у 1986–1988 рр. і сягав 1.9 млн крб. (СРСР), в середньому він коливався від 1.5–1.7 млн крб.

Із завданнями, які були поставлені Академією наук СРСР та Міністерством нафтової промисловості СРСР перед Київським відділом ІГ і РГК колектив успішно справлявся.

Тематика наукових досліджень та географія робіт протягом всього його існування була надзвичайно широкою. Свідченням цього, є структура відділу на початок 1980-х років: (мовою офіційного документа):

- "лаборатория теоретических и опытно-методических исследований на аэрокосмических полигонах" (зав. лаб. Гридин В. И.);
- "лаборатория обзорно-региональных аэрокосмических исследований" (зав. лаб. Данилевская Д. М.);
- "лаборатория комплексного использования аэрокосмической и геолого-геофизической информации при нефтепоисковых работах" (зав. лаб. Полканов В. П.);
- "лаборатория алгоритмизации процессов обработки материалов дистанционной информации" (зав. лаб. Чернин В. М.);
- "лаборатория человеко-машинных систем обработки материалов дистанционной информации" (зав. лаб. Коваль В. Н.);

- "лаборатория автоматизированных обучающих систем" (зав. лаб. Панасенко В. Н.).

Стратегічно напрямки досліджень наукових підрозділів відділу майже не змінювались протягом всього періоду його існування, розширювалась тільки географія досліджень (за висловом одного із керівників відділу: "...от Карпат до Охотского моря").

Про це свідчить структура установи у 1988 р.:

- "лаборатория автоматизации обработки и интерпретации аэрокосмической информации" (зав. лаб. Готынян В. С.)
- "лаборатория методики и опытно-методических исследований по изучению Северо-Кавказско-Мангизшакской нефтегазоносной провинции и нефтегазоносных областей Средней Азии" (зав. лаб. Данилевская Д. М.)
- "лаборатория методики и опытно-методических исследований по изучению Волго-Уральской, Тимано-Печерской, Западно-Сибирской нефтегазоносных провинций". (зав. лаб. Бусел Г. Ф.)
- "лаборатория методики и опытно-методических исследований по изучению нефтегазоносных Днепро-Припятской провинции и Карпатской и Черноморской областей" (зав. лаб. Распопова М. Г.)
- "лаборатория методики и опытно-методических исследований по изучению нефтегазоносных Южно-Каспийской провинции и Черноморской области" (зав. лаб. Перерва В. М.)

Найбільш актуальним завданням у 1980-рр. була розробка теоретичних основ, методика та технології проведення аерокосмічних досліджень при нафтогазопішукових роботах в різних нафтогазоносних провінціях СРСР. Цей напрямок досліджень очолювали провідні фахівці: Грідін В. І., Полканов В. П., Готинян В. С., Данилевська Д. М., Перерва В. М.

Першими територіями, на яких відпрацьовувались методики аерокосмічних досліджень, були Прип'ятський прогин (Білорусія), Дніпровсько-Донецька западина (Україна). Потім — Карпатський регіон, Північне Причорномор'я, Крим (Україна), Кавказ (Грузія, Азербайджан), Поволжя (Татарстан), Прикаспій (Калмикія), Мангизшак (Казахстан), Західний Сибір, Широтне Приоб'є, Тимано-Печора (Росія) та ін. Тематика аерокосмічних досліджень по регіонах була однаковою: "Совершенствование методики детальных аэрокосмических исследований при нефтегазопромысловых работах..." і далі відповідно до території досліджень.

При цьому, науковці Київського відділу ІГ і РГК створювали нові і вдосконалювали існуючі методики структурного та структурно-геоморфологічного дешифрування, неотектонічного, морфоструктурного та морфометричного аналізу при пошуках нафтогазоносних структур. Одночасно виконували господарські аерокосмічні дослідження з детальним відпрацюванням окремих територій і площ з метою уточнення тектонічної структури та пошуку



Експедиційні роботи лаб. № 3 в межах Тимано-Печорської нафтогазової провінції, у 10 км від узбережжя Північного льодовитого океану (Можайкін І. В., Терemenко О. М. Саніна О., Данілевська Д. М., Борісова Н. Я. 1985 р.)



Співробітники виробничої частини відділу. Зліва-направо: Погребняк В. Ф., Товстюк З. М., Індручук М. (нач. Білоруського загону), Ляшук Б. Н. (нач. Українського загону). 1978 р.



Геологічний загін Київського відділу ІГ РГК на польових дослідженнях в Охтирському нафтопромисловому районі (Ліщенко Л. П., Муравська В., Решетняк С. М., Мичак А. Г.). с. Лутище, 1977 р.



Василь Григорович Пазинич. Начальник Київської дослідно-методичної партії аерокосмічних методів у 1982–1986 рр.



Український геологічний загін на польових роботах у Полтавському нафтопромисловому районі (Товстюк З. М., Нагірняк С., Ілюк О., Ліщенко Л. П., Заходняк Г., Ляшук Б. Ф., Османов С.). 1979 р.



Грузинський загін на польових роботах в Притбіліському н/г районі. Зліва-направо: Філіпович В., Мельник В., Пономаренко С., Приймак О., Лісовий А. Хрестовий перевал. 1983 р.



Карпатський загін на польових роботах в Долинському н/п районі. Зліва-направо: Гнідюк А. І., Філіпович В. Є., Мичак А. Г., Кудряшов О. І., Голубова Л. Я., Ніколаєва І. О. 1982 р.

локальних структур, перспективних на нафту та газ. Попередні камеральні дослідження (дешифрування матеріалів дистанційних зйомок та геолого-геофізична інтерпретація одержаних результатів) завіряли під час польових наземних та аеровізуальних досліджень.

Звіти захищали на науково-технічних нарадах об'єднань і здавали в республіканські та союзні геологічні фонди. По найбільш перспективних об'єктах оформляли паспорти, які затверджувалися замовниками, після чого перспективні площі включалися в проектну документацію на першочергове проведення детальних сейсморозвідувальних робіт. Так, з використанням методів дистанційних досліджень було відкрито багато нафтогазоносних структур, які в подальшому були переведені в ранг родовищ (Білоусівське, Волошківське (Україна), Західне Руставі (Грузія) та цілий ряд інших). На території півострова Мангішлак, було виявлено цілий ряд об'єктів, в межах яких детальними сейсморозвідувальними роботами були установлені локальні структури, які виявилися нафтогазопродуктивними: Коралова, Алатюбе, Північний Акар, Акар та ін.

В процесі досліджень було обґрунтовано комплекс індикаційних ознак проявлення в рельєфі глибинних локальних антиклінальних структур із соляним ядром, соляних штоків, локальних структур, утворених глибинними біоформами, розломів та зон підвищеної тріщинуватості. При детальних аерокосмогеологічних дослідженнях в різних нафтогазоносних регіонах пропонувалось застосування розробленого у відділі геоіндикаційного підходу до дешифрування аерокосмоснімків та структурно-геоморфологічних досліджень.

На прикладі Нижнього Поволжя встановлена принципова можливість дешифрування за матеріалами космічних зйомок індикаторів глибокозалягаючих палеозойських рифів та похованих антиклінальних пасток, а для Башкірської АРСР та Пермської області розроблена і впроваджена методика виявлення та картування планового зміщення гра-

беноподібних прогинів і горстових піднять, до яких приурочені поклади нафти та газу. Отримані результати значно розширили можливості аерокосмічних методів при нафтогазопошукових роботах "старих" районів нафтогазовидобутку.

У цьому контексті заслуговує на увагу робота "Разработка теории метода, критериев выделения индикаторов, методики дешифрирования и геологической интерпретации аэрокосмических исследований нефтегазоносных территорий на примерах аэрокосмических полигонов Миннефтепрома". (Гютинян В. С., Жиловський М. І., Товстюк З. М. та ін., 1985 р.).

У перші ж роки впровадження дистанційних методів в процес пошуку родовищ нафти та газу показали їхню високу ефективність. При цьому, дослідження здійснювались як в межах територій з достатньо високою геолого-геофізичною вивченістю, так і в межах мало досліджених територій. Зокрема, в Україні, вперше в межах недостатньо вивченої геофізичними методами Срібненської депресії Дніпровсько-Донецької западини (ДДЗ), за допомогою матеріалів аерофотозйомок було виділено ряд блоків, де в межах Новоселківського неотектонічного підняття було виділено Волошківський блок, при розвідці якого було відкрито родовище вуглеводнів. В зоні Ворсклянського розлому в межах Буймирівського неотектонічного підняття, в руслі р. Ворскли, був зафіксований вихід газоподібних вуглеводнів (Жиловський М. І.). Згодом тут було відкрито Хухринське родовище вуглеводнів, поклади якого пов'язані із зоною тріщинуватості та корою вивітрювання порід фундаменту (північна прибортова зона ДДЗ). З часом, сейсморозвідувальними роботами підтверджена блокова будова бортів прогину ДДЗ, які були детально досліджені і закартовані в масштабі 1:50 000 на основі матеріалів аеро- та космічних зйомок. До речі, в межах ДДЗ дистанційними методами було виділено більш як 200 прогнозних об'єктів (Товстюк З. М., Тарангул Д. О. та ін.). Згодом, детальними сейсморозвідувальними роботами підтверджено близько 70% з них.

За успішний розвиток методів дистанційного зондування Землі, ефективно впровадження матеріалів аерокосмічних зйомок в нафтогазопошуковий процес співробітники Київського відділу Товстюк З. М., Тарангул Д. О., Бусел Г. Ф. у 1980-х рр. були нагороджені срібними медалями Всесоюзної виставки досягнень народного господарства СРСР.

Однією з перших найбільш значущих робіт, у якій було узагальнено досвід і викладено основні методичні прийоми використання дистанційних досліджень під час пошуково-розвідувальних робіт на нафту і газ, були видані у 1987 р. “Временные методические рекомендации по аэрокосмогеологическим исследованиям и использованию их результатов при нефтегазопроисловых работах”.

У Київському відділі також розробляли методику автоматичної інтерпретації результатів аеро- і космічних зйомок. Група спеціалістів відділу у тісному співробітництві з фахівцями Інституту кібернетики (Гімельфарб Г. Л.) розробляла програмне забезпечення для цифрової обробки та формування баз даних аерокосмічної інформації (Чукін Ю. В., Сиротич М. Р.).

Важливим досягненням співробітників відділу була перша тиражована публікація “Космофотокарти України” за даними космічного знімання із супутника “Метеор” масштабу 1:1 000 000 (Теременко О., Літвіненко В.). Взагалі, картографічні дослідження на основі дистанційних методів були у відділі на доволі високому рівні як на той час. Так, у 1985 р. вперше в СРСР співробітники відділу (Данилевська Д., Воловик В., Теременко О.) створили картосхему лінементів території Української СРСР в масштабі 1:2 500 000. 1987 р. було видано “Структурно-тектонічну карту Тимано-Печорської нафтогазоносної провінції (з використанням аерокосмічної інформації)” масштабу 1:1 000 000 з пояснювальною запискою (Шарданов О. М., Данилевська Д. М., Борисова Н. Я., Теременко О. М.), що стало значною подією у вивченні тектоніки Європейської півночі СРСР.

До найбільш важливих наукових досягнень Київського відділу ІГ і РГК відноситься створення та видання в 1988 р. “Тектонической карты нефтегазоносных областей юго-запада СССР с использованием материалов космических съемок”. Автори — А. Г. Гарецький, В. В. Глушко, Н. А. Крилов, М. Г. Распопова та інші. В комплекті цієї карти були укладені “Карта разрывных нарушений и основных зон линейментов юго-запада СССР”, “Карта неотектоники юго-запада СССР” та “Карта гипсометрии подошвы плитных комплексов юго-запада СССР” у масштабі 1:1 000 000. При створенні цих карт за основу були взяті результати дешифрування космічних знімків та структурно-геоморфологічні дослідження. На картах вперше були виділені трансконтинентальні системи зон лінементів північно-східного простягання. За цю роботу колектив авторів в 1991 р. було нагороджено Державною премією України.

Підготовка кваліфікованих фахівців

Одним з головних завдань Київського відділу була підготовка фахівців з використання аерокосмічних методів при вивченні нафтогазоносних регіонів. З 1976 по 1989 рік курси підвищення кваліфікації відвідало понад 400 слухачів.

Їх пройшли геологи-нафтовики з різних регіонів колишнього СРСР: Західного Сибіру, Поволжя, Тимано-Печори, Грузії, Азербайджану, Узбекистану, Краснодару, Камчатки. У відділі була створена атмосфера наукового пошуку. Курсанти проходили доволі складний курс, під час якого вони оволодівали методикою дешифрування аерокосмічних знімків, польовою перевіркою отриманих результатів (у тому числі методикою спостережень з вертольоту), основами автоматизованої обробки дистанційних даних за допомогою цифрових технологій. Після закінчення курсів слухачам видавалося посвідчення аерогеолога. В результаті таких навчань, на території СРСР в межах нафтогазоносних провінцій при науково-дослідних інститутах Міннафтопрому та Академії наук СРСР були створені лабораторії та відділи, де почали впроваджуватися методи дистанційних досліджень при нафтогазопошукових роботах. При цьому Київський відділ відіграв роль куратора. На курси для проведення лекційних та практичних занять та польових аеровізуальних спостережень запрошувалися відомі в Союзі спеціалісти, а також співробітники Київського відділу — к.г.-м.н. Жилівський М. І., к.г.-м.н. Полканов В. П., к.т.н. Тепляков М. О., к.г.-м.н. Товстюк З. М., Лозинський В. А., Мороз В. С., Романенко Г. В., Ліщенко Л. П., Муравський С. В., Єфіменко Т. А., Мичак А. Г., Філіпович В. Є., Теременко О. М. та ін.

За роки існування Київського відділу ІГ і РГК було захищено понад 30 звітів з держбюджетної тематики і більше 40 звітів по госпдоговорах. Співробітники відділу постійно запрошувалися та приймали участь у міжнародних та союзних симпозиумах та конференціях з використання та впровадженням методів дистанційного зондування Землі (Москва (1985 р.), Бугульма (1987 р.), Новосибірськ (1981 р.), Київ (1983, 1989 р.), Шевченко (1984, 1986 рр.), Свердловськ (1986 р.), Тбілісі (1989 р.).

В останні роки свого існування (кінець 1980–початок 1990 рр.) керівником відділу був В. М. - Перерва. Таким чином Київський відділ ІГ і РГК проіснував з 1976 року по 1991 рік, тобто — 15 років.

Під час бурхливих часів перебудови, після проголошення незалежності України, Київський відділ ІГ і РГК, втративши зв'язок зі “старшим братом”, отримав статус “Київський науково-дослідний інститут космоаерометодів” (КНДІКАМ), а згодом увійшов складовою частиною до новоствореного при Інсти-

туті геологічних наук НАН України "Центру аерокосмічних досліджень Землі", керівником якого було призначено члена-кореспондента АН України, д.г.-м.н. професора В. І. Лялька. І це було, як ми вже відзначили на початку цього нарису, у 1992 році

за рішенням Президії Академії наук України від 20.05.1992 р. № 150.

Відповідно до нового штатного розкладу в структурі Центру було створено відділи, які відповідали новим вимогам часу.

ИСТОРИЯ НАУЧНОГО ЦЕНТРА АЭРОКОСМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ ЗЕМЛИ ИГН НАН УКРАИНЫ.
РАЗВИТИЕ ДИСТАНЦИОННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ЗЕМЛИ В КИЕВСКОМ ОТДЕЛЕ ИНСТИТУТА
ГЕОЛОГИИ И РАЗРАБОТКИ ГОРЮЧИХ ИСКОПАЕМЫХ (ИГ и РГИ) МИНИСТЕРСТВА НЕФТЯНОЙ
ПРОМЫШЛЕННОСТИ СССР И АКАДЕМИИ НАУК СССР

Мычак А. Г.

Представлен анализ развития методов дистанционного зондирования Земли в нефтегазопроисковой отрасли в период с 1979 по 1992 годы в Киевском отдел Института геологии и разработки горючих ископаемых Министерства нефтяной промышленности СССР и Академии наук СССР (КО ИГ и РГИ). Приведена структура и основные научные и методические задачи, которые решались коллективом специалистов КО ИГ и РГИ. Представлены основные научные и методические результаты деятельности Киевского отдела: комплекты карт, методические рекомендации, успешные результаты прогнозирования нефте- и газоперспективных структур на территории Украины и нефтегазоносных провинций бывшего СССР. Подчеркнуто ведущую роль КО ИГ и РГИ в подготовке специалистов по использованию аэрокосмических методов при изучении нефтегазоносных регионов и в целом природопользования.

Ключевые слова: аэрокосмические методы исследования, нефтегазопроисовые работы

THE HISTORY OF THE SCIENTIFIC CENTRE FOR AEROSPACE RESEARCH OF THE EARTH OF THE INSTITUTE OF
GEOLOGICAL SCIENCES OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF UKRAINE.

EARTH REMOTE SENSING DEVELOPMENT IN THE KYIV DEPARTEMENT OF THE INSTITUTE OF GEOLOGY AND
FOSSIL FUELS DEVELOPMANT (KD IG FFD) OF THE USSR MINISTRY OF OIL INDUSTRY AND THE USSR ACADEMY
OF SCIENCES, ONE OF THE INSTITUTIONS ON THE BASIS OF WHICH THE CASRE OF IGN OF UKRAINE WAS
CREATED

A. G. Mychak

The analysis of the development of methods for remote sensing of the Earth in the oil and gas prospecting industry in the period from 1979 to 1992 in the Kiev department of the Institute of Geology and Fossil Fuels Development of the USSR Ministry of Petroleum Industry and the USSR Academy of Sciences (KD IG FFD) is presented. The structure and main scientific and methodological problems that were solved by the team of specialists of the KD IG FFD are given. The main scientific and methodological results of the Kiev department are presented: maps, methodological recommendations, successful results of forecasting oil and gas prospecting structures on the territory of Ukraine and oil and gas provinces of the former USSR. The leading role of KD IG FFD in the training of specialists in the use of aerospace methods in the study of oil and gas bearing regions and, in general, nature management is emphasized.

Key words: aerospace research methods, oil and gas works

УДК 528.831:(528.93:556.18)(477.75)

Про можливість залучення космічних знімків Sentinel-2 для аналізу імовірних причин хімічного викиду на заводі “Кримський Титан”

М. О. Попов, С. А. Станкевич, О. В. Седлерова, О. В. Титаренко, А. О. Козлова *, І. О. Пестова, М. С. Лубський, М. О. Свіденюк

ДУ “Науковий центр аерокосмічних досліджень Землі ІГН НАН України”, Київ, Україна

В роботі пропонується підхід до оцінки стану зволоженості кислотонакопичувача заводу “Кримський Титан” на основі водного індексу MDNWI, обчисленого з використанням багатоспектральних знімків Sentinel-2, як однієї з імовірних причин викиду хімічного забруднення, що спостерігалось наприкінці серпня 2018 р.

Ключові слова: хімічне забруднення, багатоспектральні знімки Sentinel-2, водний індекс

© М. О. Попов, С. А. Станкевич, О. В. Седлерова, О. В. Титаренко, А. О. Козлова, І. О. Пестова, М. С. Лубський, М. О. Свіденюк. 2018

За повідомленням інформантства УНІАН, вночі 24 серпня на півночі Криму стався викид отруйних хімікатів з кислотонакопичувача заводу “Кримський Титан”. 30 серпня кримські екологи та експерти дійшли висновку, що джерелом випаровування міг стати вміст кислотовідстійника заводу через спеку і відсутність води з Північно-Кримського каналу [1].

Для оперативного виявлення водних об’єктів на значних за площею територіях, а також для аналізу їх висихання, давно та успішно використовують багатоспектральні космічні знімки. При цьому, на основі космічних знімків обчислюються спектральні водні індекси. Одним з найбільш широко-вживаних є модифікований водний індекс нормалізованої різниці (MDNWI — Modified normalized difference water index) [2]. Він розраховується на основі каналів у зеленому (GREEN) і короткохвильовому інфрачервоному (SWIR) діапазоні електромагнітного спектру:

$$MNDWI = (Green - SWIR) / (Green + SWIR) \quad (1).$$

Останнім часом, важливим джерелом інформації для картування водних об’єктів з використанням водних індексів стали багатоспектральні космічні знімки супутників Sentinel-2 Європейського космічного агентства [3]. Знімки Sentinel-2 забезпечують просторову розрізненість 10 м у каналі зеленого діапазону та 20 м у короткохвильового інфрачервоного. Поєднання відносно високої просторової і високої спектральної розрізненості, значної смуги захоплення та високої частоти повтору знімання (до 2–3 діб у північних широтах) є унікальною перевагою знімальної системи Sentinel-2 порівняно із ба-

гатьма іншими супутниковими системами, знімки яких наявні у вільному доступі. Космічні знімки Sentinel-2 доступні через відкритий веб-сервіс Copernicus Open Access Hub (<https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home>).

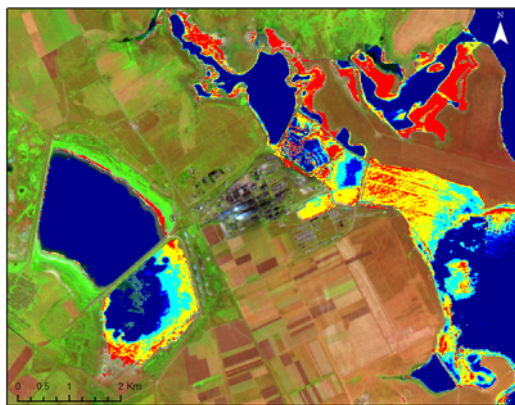
Для аналізу стану водних поверхонь в районі заводу “Кримський Титан” було відібрано шість знімків Sentinel-2 у період з 20 серпня до 9 вересня 2018 року. Відсутність хмар над територією інтересу у заданий період дозволило зібрати знімки з максимальною повторюваністю знімання. Два знімки, за 20 та 23 серпня 2018 р., відображають стан водних об’єктів і кислотонакопичувача до припустимого викиду забруднюючої речовини. Знімки за 25, 28 та 30 серпня 2018 р. характеризують обрані об’єкти в період найбільшого прояву негативного впливу забрудника на довкілля та здоров’я місцевих жителів. Знімок за 9 вересня 2018 р. зроблено на момент зупинки роботи заводу.

Для усіх знімків було здійснено атмосферне коригування та приведення до 10 м просторової розізнаності каналів, необхідних для обчислення водного індексу MDNWI за формулою (1). Усі операції попередньої обробки комірних знімків здійснювалися у середовищі кроссплатформенного програмного забезпечення з відкритим вихідним кодом ESA SNAP (Sentinel Application Platform). Часовий ряд індексів MDNWI обчислено у відкритому середовищі програми Scilab. Маскування об’єктів, які не становили предмет дослідження, здійснювалося шляхом встановлення порогових значень обчисленого індексу. Результат обчислень у вигляді серії тематичних карт представлено на рисунку.

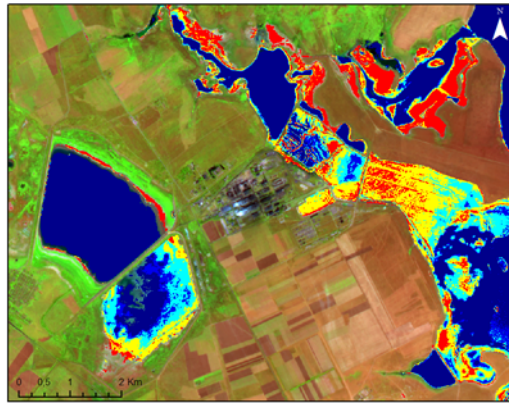
Просторовий розподіл індексу MDNWI в межах водних об’єктів та кислотонакопичувача поблизу заводу “Кримський Титан” в період з 20 серпня до 9 вересня 2018 року.

На представлених зображеннях водні поверхні

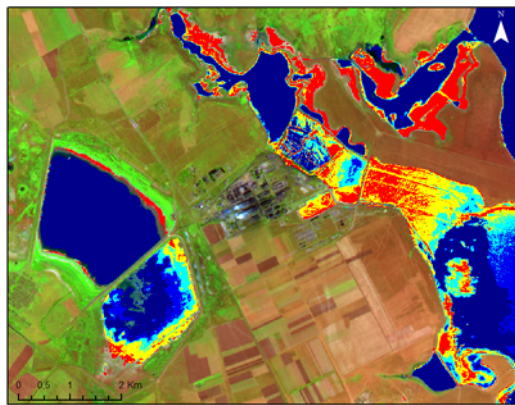
* E-mail: ak.koann@gmail.com



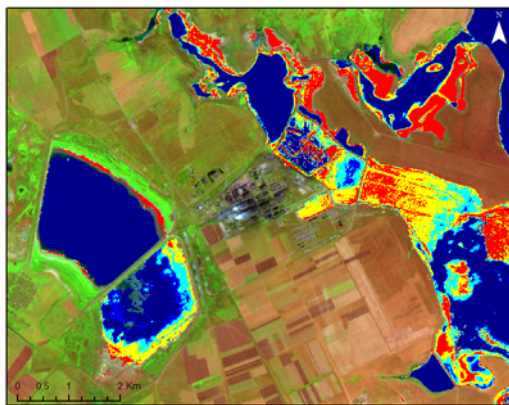
20-08-2018



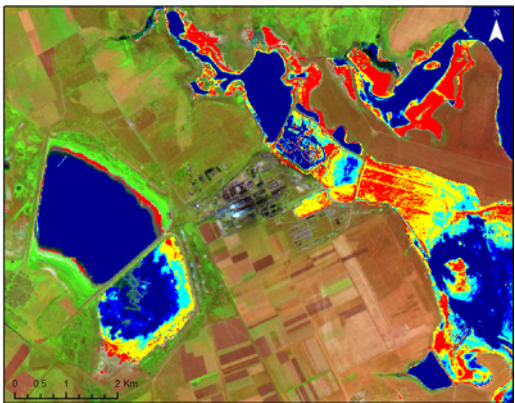
23-08-2018



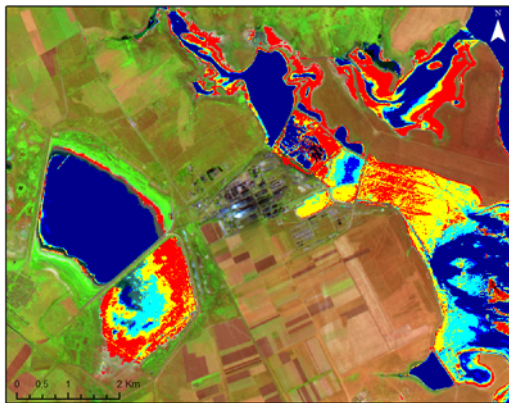
25-08-2018



28-08-2018



30-08-2018



09-09-2018



Просторовий розподіл індексу MDNWI в межах водних об'єктів та кислотонакопичувача поблизу заводу "Кримський Титан" в період з 20 серпня до 9 вересня 2018 року

характеризуються діапазоном значень індексу MDNWI від 0.3 до 1.0. Ділянки різного ступеня зволоженості — від 0.1 до 0.3. Сухі та пересохлі ділянки відповідно — 0.0 ... 0.1 та -0.5 ... 0.0.

Аналіз отриманих матеріалів свідчить, що північна частина заводського кислотонакопичувача до моменту прояву забруднення (20 та 23 серп-

ня) не була зволоженою і почала пересихати. Площа пересохлих ділянок почала стрімко зростати 25 серпня. З 28 серпня і до кінця досліджуваного періоду спостерігається поява значних осередків низької зволоженості та пересохлих ділянок на решті території кислотонакопичувача.

Слід також зауважити, що краще зрозуміти харак-

тер та динаміку зміни стану зволоженості кислотонакопичувача заводу дозволить більш розгорнутий ретроспективний аналіз знімків Sentinel-2 у межах та паводкові періоди починаючи з 2015 р. Проведення такого аналізу є перспективним напрямком подальших робіт, які дадуть змогу забезпечити наукову обґрунтованість та об'єктивність в оцінці можливих причин хімічного викиду на заводі “Кримський Титан”.

Література

1. “Крымский титан” использует кислотный накопитель, половина которого расположена на Херсонщине [Електронний ресурс] // УНИАН. — Режим доступу: [https://www.unian.net/society/10251450-krymskiy-](https://www.unian.net/society/10251450-krymskiy-titan-ispolzuet-kislotnyy-nakopitel-polovina-kotorogo-raspolozhena-na-hersonshchine.html)
2. Xu H. Modification of Normalised Difference Water Index (NDWI) to Enhance Open Water Features in Remotely Sensed Imagery / H. Xu // *International Journal of Remote Sensing* 27. — 2006. — No. 14. — P. 3025–3033.
3. Water Bodies' Mapping from Sentinel-2 Imagery with Modified Normalized Difference Water Index at 10-m Spatial Resolution Produced by Sharpening the SWIR Band [Електронний ресурс] / Yun Du, Yihang Zhang, Feng Ling, Qunming Wang, Wenbo Li and Xiaodong Li // *Remote Sens.* — 2016. — 8(4). — P. 354. — Режим доступу до журналу: <https://doi.org/10.3390/rs8040354>. — Назва з екрану.

О ВОЗМОЖНОСТИ ПРИВЛЕЧЕНИЯ КОСМИЧЕСКИХ СНИМКОВ SENTINEL-2 ДЛЯ АНАЛИЗА ВОЗМОЖНЫХ ПРИЧИН ХИМИЧЕСКОГО ВЫБРОСА НА ЗАВОДЕ “КРЫМСКИЙ ТИТАН”

М. А. Попов, С. А. Станкевич, О. В. Седлорова, О. В. Титаренко, А. А. Козлова, И. А. Пестова, Н. С. Лубский, М. О. Свиденюк. В работе предлагается подход к оценке состояния увлажненности кислотонакопителя завода “Крымский Титан” на основе водного индекса MDNWI, рассчитаного с использованием многоспектральных снимков Sentinel-2, как одной из возможных причин выброса химического загрязнения, которое наблюдалось в конце августа 2018. Для оперативного выявления состояния водных объектов, а также для анализа их высыхания авторами использованы шесть снимков Sentinel-2 в период с 20 августа по 9 сентября 2018, до и после проявления загрязнения. Анализ полученных результатов показывает, что северная часть заводского кислотонакопителя до момента проявления загрязнения (20 и 23 августа) не была увлажненной и начала пересыхать. Площадь пересохших участков начала расти 25 августа. С 28 августа и до конца исследуемого периода наблюдается появление значительных очагов низкой увлажненности и пересохших участков на остальной территории кислотонакопителя.

Ключевые слова: химическое загрязнение, многоспектральные снимки Sentinel-2, водный индекс

PROSPECTS OF INVOLVING SENTINEL-2 IMAGERY FOR ANALYSIS OF POSSIBLE CAUSES OF CHEMICAL EMISSIONS AT THE CRIMEAN TITAN PLANT

M. O. Popov, S. A. Stankevich, O. V. Sedlerova, O. V. Titarenko, A. O. Kozlova, I. O. Piestova, M. S. Lubsky, M. O. Svidenuk. The paper proposes an approach to assessing the humidity within the acid storage tank of the “Crimean Titan” plant based on the water index MDNWI, calculated using Sentinel-2 multispectral images as one of the likely causes of chemical pollution, which was observed at the end of August 2018.

Key words: chemical pollution, Sentinel-2, water index

УДК: 528.8.04:633.11

Аналіз динаміки 15-ти вегетаційних індексів, обчислених за даними супутника Sentinel-2A для двох відмінних за станом тест-ділянок посівів озимої пшениці Лісостепової зони України

Г. М. Жолобак*, О. М. Сибірцева, М. В. Ваколюк, І. Ф. Романчук

ДУ "Науковий центр аерокосмічних досліджень Землі ІГН НАН України", Київ, Україна

Проаналізовано динаміку 15-ти вегетаційних індексів, розрахованих за супутниковими знімками Sentinel-2A в межах двох тест-ділянок площею 1 га, що знаходились на виробничих посівах озимої пшениці двох сортів (Богдана і Скаген), впродовж періоду зимового спокою та весняно-літньої вегетації 2016 року. Виявлено, що падіння вмісту загального азоту в сухій речовині органів, які формували відбивну поверхню рослинного покриву від фази вихід в трубку до молочної стиглості, узгоджується з поведінкою індексу Green NDVI (740, 560) для обох досліджених тест-ділянок озимої пшениці. Аналізується динаміка інших 14-ти індексів за умови погіршення фітосанітарної ситуації посіву озимої пшениці сорту Богдана.

Ключові слова: вегетаційні індекси, Sentinel-2A, посіви озимої пшениці, вміст загального азоту

© Г. М. Жолобак, О. М. Сибірцева, М. В. Ваколюк, І. Ф. Романчук. 2018

Вступ

Після успішного запуску двох космічних апаратів серії Sentinel-2, обладнаних мультиспектральним інструментом (MSI) зі спектральною та просторовою розрізненістю, яка вважається придатною для характеристики біофізичних та біохімічних параметрів рослинності, з'явилися публікації, присвячені використанню супутникових даних Sentinel-2 в сільськогосподарських цілях. Наприклад, Clevers J. G. P. W. et al. [8] вперше повідомив, що за допомогою космічних знімків Sentinel-2 можна кількісно оцінити значення листового індексу рослинності, вміст хлорофілу в листках та в рослинному покриві картоплі. Зростаюча просторова та часова роздільна здатність загальнодоступних супутникових зображень Sentinel-2 надає також нові можливості для створення точних наборів даних про наявні види культурних рослин на конкретних земельних ділянках у форматі готових векторних даних [8].

Наш авторський колектив вже повідомляв про результати застосування супутникових знімків Sentinel-2A для вивчення вегетації двох сортів озимої пшениці (ОП), вирощених на виробничих посівах під урожай 2016 р. Барішівської зернової компанії (БЗК) [1]. Обчислені за дистанційними даними показники досліджених трьох нормалізованих різницевого індексів виявили інверсію стану посівів, яка відбулась зразу після весняного відновлення вегетації рослин озимої пшениці і була зумовлена, найбільш віро-

гідно, інфікуванням збудниками грибних захворювань одного з посівів.

Під час виконання наземних обстежень цих угідь було отримано біологічний матеріал в якому визначено біохімічний показник — вміст загального азоту в рослинному покриві для двох окремих тест-ділянок площею 1 га кожна. Маючи в розпорядженні знімки Sentinel-2A за чотири дати першої половини 2016 р. для цих полів, постало завдання дослідити деякі інші вегетаційні індекси (ВІ) на предмет їх узгодженості зі змінами вмісту азоту в органах озимої пшениці, які створюють відбивну поверхню посіву в межах більш детально обстежених тест-ділянок.

Мета роботи

Проаналізувати хід динаміки 15-ти ВІ за даними супутника Sentinel-2A впродовж вегетаційного періоду 2016 р. на досліджених тест-ділянках двох відмінних за станом і сортами виробничих посівів ОП та зіставити їх зі змінами вмісту азоту в рослинному покриві.

Об'єкт та методи досліджень

Об'єкт досліджень — дві ділянки посівів озимої пшениці площею 1 га кожна, які були розташовані на виробничих полях БЗК поблизу м. Березань Барішівського району Київської області (координати центрів обох ділянок відповідно: першої — 50°21'02.4" пн. ш. і 31°36'12.03" сх. д. та другої — 50°19'57.83" пн. ш. і 31°33'12.97" сх. д.) (рис.1). Відстань між центрами цих тест-ділянок становить 4,06 км.

* E-mail: zhgm@casre.kiev.ua. Tel. +38 044 486 11 48



Рис. 1. Схема розташування тестових ділянок на досліджених полях ОП у Баришівському районі Київської області (2016 р.)

Опис наземних обстежень тест-ділянок озимої пшениці

Тест-ділянка 1 знаходилась на посіві німецького сорту Скаген, а тест-ділянка 2 — на полі, де вирощувався вітчизняний сорт Богдана. Під час наземного обстеження 10 травня 2016 р. на тест-ділянці 2 було виявлено плямистість листків та білий наліт на стеблах, які є симптомами грибних захворювань рослин. Крім того на цій ділянці спостерігалась чимала кількість мікрозападин рельєфу — “подів”, заповнених дощовою водою після сильних опадів, які пройшли напередодні. Докладніше стан вологості ґрунтового покриву досліджених полів в мікрозапавинах та на вододілі описано в публікації [3]. Водночас, рослини тест-ділянки 1 зі сортом Скаген були практично здоровими. Впродовж весняно-літньої вегетації 2016 р. на цих ділянках здійснювали наземні вимірювання окремих параметрів продукційного процесу, в тому числі й сирової біомаси пагонів рослин ОП (детальніше про фази вегетації та особливості вирощування див. [1]). Після висушування біомаси, зібраної 10 травня і 17 червня 2016 р., в органах, які формували відбивну поверхню посіву, визначали вміст загального азоту макрометодом К’ельдаля (наважка однієї проби рослинного матеріалу становила 20 г сухої речовини) в лабораторії гідробіології та екотоксикології Інституту зоології НАН Молдови [4]. Біохімічний аналіз проводили у триразовій біологічній повторності. Тут же доцільно зазначити, що технологія та обсяги внесення азотних добрив для обох полів були однаковими, а саме: після посіву (09–13 вересня 2015 р.) по полях було розкидано суху нітроамофоску 80 кг/га та за допомогою обприскувача “Політ” внесено рідку суміш Карбамід в дозі 200 кг/га. Навесні двічі проводили азотне підживлення аміачною селітрою: спочатку по мерзлоталому ґрунту 02 березня 2016 р. в дозі 200 кг/га, а згодом — 10–19 квітня 2016 р. в дозі 100 кг/га.

Коротка характеристика вегетаційних індексів, обчислених на основі даних зйомок зі супутника Sentinel-2A

В роботі джерелом супутникових даних слугували фрагменти знімків Sentinel-2A за 18 лютого, 08 квітня, 28 квітня та 17 червня 2016 р., які відображають територію розташування обстежених полів БЗК. Ці фрагменти оброблялися за допомогою модуля Modeller програми Erdas Imagine, для обчислення 15-ти вегетаційних індексів (табл. 1) за відповідними формулами для вказаних дослідних ділянок.

Вісім з використаних нами VI є так званіми двоканальними і обчислювалися за алгоритмом найбільш відомого і широко використовуваного NDVI — нормалізованого різницевого вегетаційного індексу [17], відрізняючись лише довжиною хвилі потрібного каналу, відсоток відбиття якого враховувався при розрахунку індексу. Перші три індекси цього типу з таблиці 1 обчислювалися із залученням “зеленого” каналу, інші долучали коефіцієнти відбиття з каналів, що знаходяться в області “червоного краю”. Такий вибір каналів був зумовлений аналізом публікацій, де йшлося про зв’язок відповідних індексів з вмістом хлорофілу та азоту в рослинному покриві. Слід зауважити, що при визначенні NDVI (720, 790) для отримання значень відбиття на 720 нм було вираховано середнє значення між 5 і 6 каналами Sentinel-2A з центральною довжиною хвилі відповідно 705 та 740 нм. Скорегований на ґрунт індекс SAVI — це аналог NDVI з додатком коефіцієнта яскравості ґрунту L. Величина L залежить від щільності покриття зеленою рослинністю: при щільному покритті зеленою рослинністю $L = 0$; а без неї $L = 1$; в загальному випадку $L = 0.5$. В наших розрахунках для обчислення SAVI теж брали значення: $L = 0.5$. $CI_{rededge}$ та CI_{green} — це так само двоканальні різновиди індексів простого відношення, а новий індекс ΔRE теж працює на комбінації двох вузьких каналів в області red та red edge з центрами 730 нм 780 нм і обчислюється як різниця натуральних логарифмів показників відбиття в цих областях (нами викорис-

Таблиця 1.

Використані в даній роботі вегетаційні індекси за даними знімків супутника Sentinel-2A

№	Індекс	Центральна довжина хвилі каналу Sentinel-2A, нм	Формула	Посилання
1	NDVI (560, 665)	560, 665	$NDVI(560,665) = \frac{R(560) - R(665)}{R(560) + R(665)}$	
2	Green NDVI (740, 560)	560, 740	$GreenNDVI = \frac{R(740) - R(560)}{R(740) + R(560)}$	
3	NDVI (842, 560)	560, 842	$NDVI(842,560) = \frac{R(842) - R(560)}{R(842) + R(560)}$	
4	NDVI(842,665)	665, 842	$NDVI(842,665) = \frac{R(842) - R(665)}{R(842) + R(665)}$	[17]
5	NDVI(740,665)	665, 740	$NDVI(742,665) = \frac{R(742) - R(665)}{R(742) + R(665)}$	
6	NDVI (790, 720)	720, 783	$NDVI(790,720) = \frac{R(790) - R(720)}{R(790) + R(720)}$	
7	NDVI (780, 705)	705, 783	$NDVI(780,705) = \frac{R(780) - R(705)}{R(780) + R(705)}$	
8	NDVI (780, 740)	740, 783	$NDVI(780,740) = \frac{R(780) - R(740)}{R(780) + R(740)}$	
9	SAVI Soil Adjusted Vegetation Index	665, 842	$SAVI = \frac{NIR - RED}{(NIR + RED + L)} * (1 + L)$	[15]
10	CI _{rededge} red edge chlorophyll index	705, 783	$CI_{rededge} = \left(\frac{R(783)}{R(705)} \right) - 1$	[13]
11	CI _{green} Green chlorophyll index	560, 783	$CI_{green} = \left(\frac{R(783)}{R(560)} \right) - 1$	[13]
12	ΔRE дельта Red Edge	740, 783	$\Delta RE = \ln(\rho_1) - \ln(\rho_2)$ $\rho_1 = R(783), \rho_2 = R(740)$	[18]
13	NI _{Tian} Nitrogen Index _{Tian}	490, 705, 740	$NI_{Tian} = \frac{R(740)}{R(717) + R(491)}$	[7]
14	MTCI MERIS Terrestrial Chlorophyll Index	665; 705; 740	$MTCI = \frac{R(740) - R(705)}{R(705) - R(665)}$	[10]
15	REP Red Edge Position	665; 705; 740; 783	$REP = 700 + 40 \frac{(\bar{R} - R(700))}{(R(740) - R(700))}$ $\bar{R} = \frac{R(670) + R(780)}{2}$	[14]

тано значення з 6 та 7 каналів Sentinel-2A). Решта три індекси обчислювались із залученням коефіцієнтів відбиття з трьох (MTCI та NI_{Tian}) та чотирьох (REP) каналів супутника Sentinel-2A.

Результати та обговорення

А) вміст загального азоту в органах, які формували відбивну поверхню посіву ОП

Як засвідчує рис. 2, за вмістом азоту в листках у фазу вихід в трубку (10 травня 2016 р.) рослини обох досліджуваних сортів достовірно відрізнялись. Зокрема в сухій речовині листків сорту Скаген містилось 4.64% загального азоту, що більш, ніж на 30% вище, ніж у листках сорту Богдана, де цей показник

становив майже 3.5%. Слід зазначити, що така величина узгоджується з цим параметром, виміряним іншими авторами для багатьох традиційних та новітніх сортів і ліній озимої пшениці [5, 6]. В наступні важливі для майбутнього врожаю фази вегетації, коли в рослинах після колосіння і цвітіння з'явилися зернівки, які є потужним акцептором азотовмісних сполук, на жаль, не було технічних можливостей відібрати проби рослинного матеріалу. Тому ще одне визначення вмісту азоту нами було виконано вже для фази молочної стиглості (17 червня 2016 р.) і в інших органах, які на той час формували відбивну поверхню посіву, а точніше, в колосах з зернівками. Тут спостерігалось таке ж співвідношення між обома сортами пшениць, як і на дату 10 травня, а саме: за вмістом азоту в сухій речо-

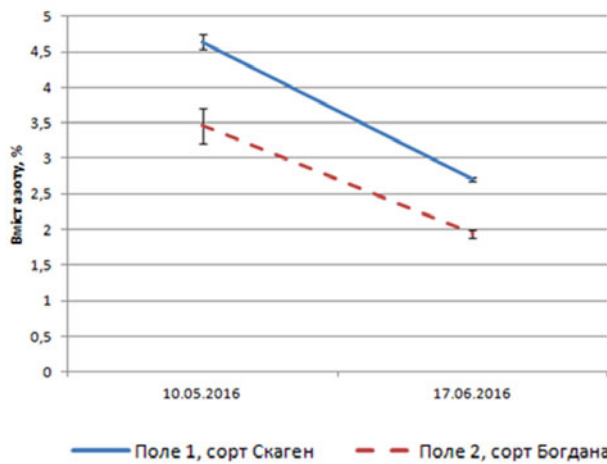


Рис. 2. Динаміка вмісту азоту в сухій речовині органів озимої пшениці, які створюють відбивну поверхню посіву (10 травня 2016 р. — листки, 17 червня 2016 р. — колос з зернівкою)

вині колосків, наповнених несформованим зерном, рослини сорту Скаген достовірно переважали сорт Богдана. Величина цього показника, виміряна через 39 днів в колосі, була майже на 40% нижча для обох сортів у порівнянні з листками. Аналогічна закономірність була описана Єрошенко В. Ф. та ін. [2], які вимірювали вміст азоту в листках, стеблах, колосі та зерні чотирьох сортів озимої пшениці впродовж вегетації, і також констатували, що концентрація азоту в органах рослин впродовж росту і розвитку знижується.

В монографії Шадчиної Т. М. [6] теж зазначається, що вміст загального азоту в листках рослин озимої пшениці впродовж вегетації весь час знижується, динаміка цього показника є складною і значною мірою залежить від особливостей технології вирощування. В нашому випадку технологія вирощування обох сортів пшениці була практично однаковою і лише сортові особливості та, можливо, дещо запізнена обробка рослин сорту Богдана засобами захисту рослин і, як наслідок, розвиток грибних хвороб листя та колосу спричинили нижчий вміст загального азоту в досліджених органах рослин цього сорту.

Б) аналіз динаміки вегетаційних індексів за даними Sentinel-2A

Для даних тест-ділянок нами були розраховані 15 VI та їх стандартні відхилення (табл. 2). Величини VI подані в умовних одиницях, а для індексу REP — у нанометрах. Якщо порівнювати їх між собою стосовно двох сортів ОП, то під час зимового спокою вищі значення всіх індексів були характерні для тест-ділянки посіву сорту Богдана, але після весняного відновлення вегетації відбулась інверсія стану посівів і на 17 червня 2016 р. ці 15 VI для тест-ділянки сорту Скаген достовірно перевищували відповідні показники сорту Богдана. Це свідчить про

дистанційно виявлений гірший стан рослинності дослідженої ділянки посіву сорту Богдана на початок літа 2016 р. і кращий — для сорту Скаген.

За період від кінця квітня до середини червня 2016 р. для тест-ділянки зі сортом Богдана чітке падіння значень демонструють всі VI, які вимірюються в умовних одиницях. Тільки індекс REP не зафіксував зміщення позиції червоного краю на цій тест-ділянці поля 2 між 28 квітня і 17 червня 2016 р. Оскільки поведінка цього індексу у порівнянні з іншими 14 VI нетипова для сорту Богдана, проаналізуємо її детальніше (рис. 3).

На дату 18 лютого 2016 р. положення червоного краю вказує на дещо кращий стан тест-ділянки на полі 2 з вітчизняним сортом, хоча ця різниця незначна (1.35 нм) і навіть не перевищує стандартного відхилення (1.55 нм). На початку квітня значення індексу REP для тест-ділянок полів практично однакові (майже 723 нм), а в подальшому до настання молочної стиглості зерна його достовірний приріст (майже на 6 нм до 729.2 нм) спостерігається лише на тест-ділянці поля 1 зі сортом ОП Скаген. Тест-ділянка поля 2 демонструє тільки незначну тенденцію до зростання цього індексу впродовж весняно-літньої вегетації, бо для сорту Богдана його різниця від 08 квітня до 17 червня 2016 р. становить всього 1.2 нм, що лише на 0.5 нм більше величини стандартного відхилення для цього поля. Така незначна зміна цього індексу на полі 2 викликана високим генетичним потенціалом вітчизняного сорту Богдана, який, на жаль, через інфікування збудниками грибних захворювань не зміг повністю реалізуватись в досліджених умовах. На загал, положення червоного краю стосовно рослинного покриву вказує на стан рослин, який може бути зумовлений різними факторами: значеннями листового індексу, особливостями мінерального живлення, вмістом води та хлорофілу в органах рослин, сезонними змінами чи загальною біомасою покриву тощо. Отже, поведінка індексу REP для досліджених тест-ділянок засвідчує, що впродовж весняно-літньої вегетації суттєво покращується стан вегетаційного покриву тільки на тест-ділянці поля 1 зі сортом ОП Скаген, в той час як інтегральна оцінка стану рослин ОП сорту Богдана з поля 2 на підставі індексу REP достовірно не змінюється.

Відомо [11], що зміщення позиції червоного краю в сторону довгих хвиль (в нашому випадку на 6 нм) вказує на вищий вміст хлорофілу в рослинному покриві. Тому цікаво, яким з обчислених нами індексів характерне зростання для рослин сорту Скаген від кінця квітня до середини червня 2016 р. Виявляється такий достовірний приріст також демонструє лише індекс ΔRE (рис. 4), який, до речі, цікавий тим, що має найнижчі, з поміж інших індексів, цифрові значення. Як видно з наведеного рисунка, до 28 квітня 2016 року відмінності між ділянками перебувають в межах помилки дослідів, але зростання ве-

Таблиця 2.

Значення вегетаційних індексів для тест-ділянок посівів озимої пшениці Баришівської зернової компанії у 2016 р. за даними Sentinel-2A

№	Індекс	Поле, дата	18.02.2016	08.04.2016	28.04.2016	17.06.2016
1	NDVI (842.560)	Поле 1. сорт Скаген	0.225±0.034	0.353±0.021	0.671±0.031	0.625±0.033
		Поле 2. сорт Богдана	0.319±0.019	0.372±0.015	0.649±0.024	0.469±0.020
2	NDVI (560.665)	Поле 1. сорт Скаген	0.076±0.016	0.085±0.013	0.238±0.024	0.215±0.019
		Поле 2. сорт Богдана	0.110±0.011	0.083±0.010	0.246±0.018	0.130±0.012
3	NI_Tian	Поле 1. сорт Скаген	0.529±0.022	0.672±0.010	0.976±0.027	0.965±0.027
		Поле 2. сорт Богдана	0.604±0.010	0.682±0.008	0.953±0.023	0.792±0.012
4	NDVI (842.665)	Поле 1. сорт Скаген	0.278±0.039	0.401±0.026	0.743±0.033	0.717±0.033
		Поле 2. сорт Богдана	0.390±0.018	0.422±0.017	0.731±0.024	0.539±0.021
5	NDVI (740.665)	Поле 1. сорт Скаген	0.220±0.038	0.351±0.019	0.680±0.027	0.644±0.029
		Поле 2. сорт Богдана	0.335±0.027	0.369±0.016	0.674±0.019	0.470±0.017
6	CI _{rededge}	Поле 1. сорт Скаген	0.391±0.066	0.986±0.075	3.181±0.318	2.932±0.368
		Поле 2. сорт Богдана	0.66±0.046	1.046±0.057	2.813±0.206	1.362±0.105
7	CI _{green}	Поле 1. сорт Скаген	0.482±0.110	1.068±0.059	3.342±0.303	3.285±0.313
		Поле 2. сорт Богдана	0.798±0.090	1.168±0.052	3.005±0.218	1.683±0.084
8	NDVI (790.720)	Поле 1. сорт Скаген	0.116±0.022	0.257±0.015	0.516±0.023	0.496±0.025
		Поле 2. сорт Богдана	0.197±0.014	0.266±0.012	0.492±0.017	0.324±0.013
9	SAVI	Поле 1. сорт Скаген	0.417±0.059	0.602±0.039	1.115±0.050	1.075±0.049
		Поле 2. сорт Богдана	0.584±0.027	0.633±0.026	1.096±0.035	0.809±0.032
10	NDVI (780.705)	Поле 1. сорт Скаген	0.163±0.022	0.330±0.017	0.614±0.025	0.618±0.028
		Поле 2. сорт Богдана	0.228±0.013	0.343±0.012	0.583±0.018	0.422±0.015
11	MTCI	Поле 1. сорт Скаген	1.332±0.385	3.738±0.726	5.342±0.658	5.539±0.405
		Поле 2. сорт Богдана	1.926±0.280	3.683±0.559	4.575±0.296	3.270±0.222
12	NDVI (780.740)	Поле 1. сорт Скаген	0.049±0.012	0.086±0.008	0.142±0.015	0.158±0.018
		Поле 2. сорт Богдана	0.053±0.011	0.085±0.009	0.130±0.016	0.124±0.012
13	REP (nm)	Поле 1. сорт Скаген	715.09±3.263	722.88±1.042	726±0.887	729.24±±0.857
		Поле 2. сорт Богдана	716.44±1.545	723.28±0.786	724.48±0.768	724.06±0.642
14	ΔRE	Поле 1. сорт Скаген	0.096±0.026	0.159±0.011	0.289±0.021	0.356±0.024
		Поле 2. сорт Богдана	0.108±0.017	0.171±0.008	0.256±0.020	0.227±0.012
15	Green NDVI (740.560)	Поле 1. сорт Скаген	0.146±0.032	0.276±0.011	0.592±0.021	0.499±0.022
		Поле 2. сорт Богдана	0.234±0.026	0.292±0.010	0.511±0.016	0.363±0.011

личини цього індексу для рослинного покриву тест-ділянки 2 зі сортом Скаген за травень–першу половину червня на 0.067 умовних одиниць достовірно перевищує показник стандартного відхилення (0.021 умовних одиниць). Варто зауважити, що тенденція до такого приросту властива ще трьом BI — NDVI (780, 705), NDVI (780, 740) та MTCI. З них MTCI відомий як стійкий показник вмісту хлорофілу в рослинному покриві [9].

Решта дев'ять BI (№№ 1–9, див. табл. 2) продемонстрували фактично однакові тенденції. Для прикладу тут подано графіки динаміки двох індексів CI_{rededge} та NDVI (740, 665) (рис. 5). Як бачимо, в лютому 2016 р. вищі показники BI були властиві рослинному покриву тест-ділянки поля 2, сформованому вітчизняним сортом Богдана. В період від весняного відновлення вегетації до настання фази виходу в трубку відбувається як зро-

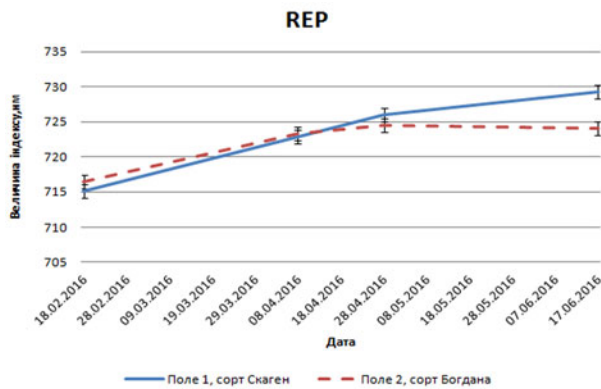


Рис. 3. Динаміка індексу REP для тест-ділянок посівів озимої пшениці Баришівської зернової компанії у 2016 р. за даними Sentinel-2. Вертикальні риси — показники стандартного відхилення

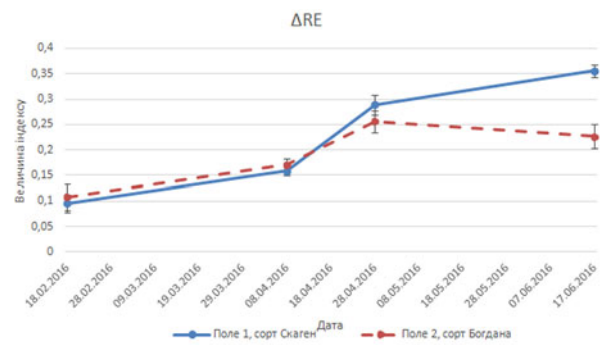


Рис. 4. Динаміка індексу ΔRE для тест-ділянок посівів озимої пшениці Баришівської зернової компанії у 2016 р. за даними Sentinel-2. Вертикальні риси — показники стандартного відхилення

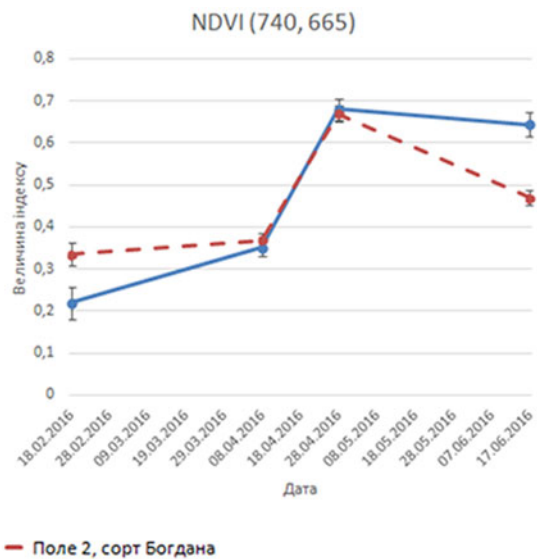
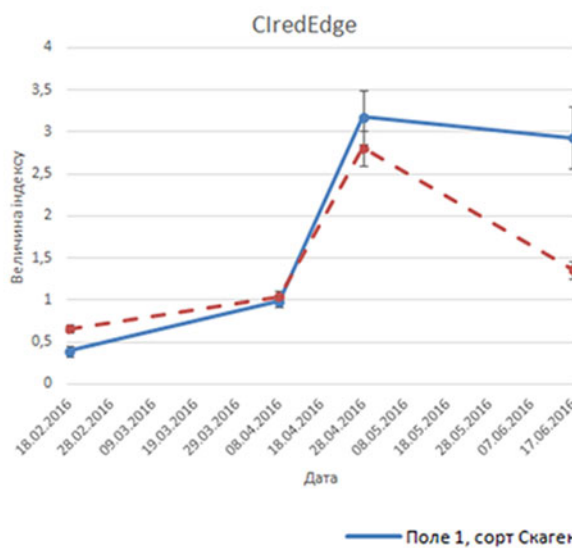


Рис. 5. Динаміка індексів Ciredge та NDVI (740,665) для тест-ділянок посівів озимої пшениці Баришівської зернової компанії у 2016 р. за даними Sentinel-2. Вертикальні риси — показники стандартного відхилення

стання показників цих BI, так і зміна стану посівів: сорт Богдана через ускладнення фітопатологічної ситуації втрачає свої домінуючі позиції, зафіксовані на початку спостережень, натомість сорт Скаген демонструє приріст значень всіх досліджених індексів. Після початку достигання зернівки фотосинтетичний потенціал рослинного покриву обох сортів знижується, про що свідчить падіння значень цих 9-ти вегетаційних індексів на дату 17 червня 2016 р. у порівнянні з кінцем квітня. Причому, як вже вказувалось вище, для тест-ділянки поля 2 (сорт Богдана) це падіння було різким і достовірним найбільш вірогідно через ураження грибними хворобами або через несприятливі умови водного режиму цього поля, в той час як для тест-ділянки поля 1 зі сортом Скаген зниження значень всіх дев'яти індексів від 28 квітня до 17 червня знаходились в межах помилки досліду. Під час наливу зерна відбувається природне старін-

ня листків і поступове зменшення інтенсивності фотосинтезу посівів. На нашу думку, саме ці процеси відображаються в плавному зниженні значень переважної більшості BI, обчислених для тест-ділянки зі сортом Скаген.

І, нарешті, нами було виявлено лише один BI, значення якого для тест-ділянки поля 1 зі сортом Скаген за період від кінця квітня до середини червня 2016 р. достовірно знижуються (на 0.093 умовних одиниць при значенні стандартного відхилення 0.021 умовних одиниць). Мова йде про так званий зелений NDVI — Green NDVI (740, 560) (рис. 6). Цей індекс засвідчує достовірну відмінність між тест-ділянками для всіх дат вимірювання за винятком початку квітня. Найголовніше те, що хід ліній його динаміки в період між 08 травня і 17 червня 2016 року тотожний до зміни вмісту азоту в рослинному покриві обох досліджених тест-ділянок. Хоча 08 травня показник Green NDVI не обчислювався, але ціна поді-

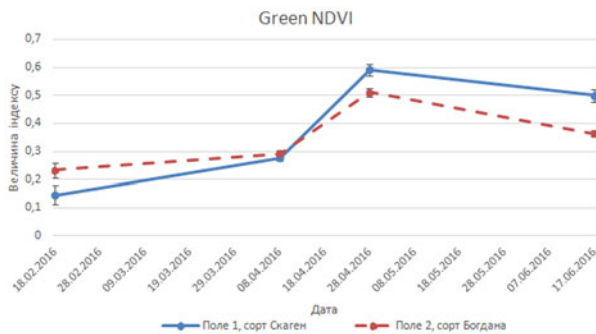


Рис. 6. Динаміка індексу Green NDVI (740, 560) для тест-ділянок посівів озимої пшениці Баришівської зернової компанії у 2016 р. за даними Sentinel-2. Вертикальні риси — показники стандартного відхилення

лок осі дат виставлена з проміжком 10 днів, що дозволяє візуально порівнювати зміни значень індексу у зіставленні зі змінами вмісту азоту у рослинному покриві.

Відомо, що зелена область спектру є чутливою до змін листового індексу [16]. Відбиття рослинності в зеленій області спектра використали Strong C. J. et al. [18] для обчислення п'яти різних VI і порівняння їх з найпоширенішим NDVI на матеріалі, отриманому з мультиспектральної камери безпілотного літального апарату при вивченні пасовищ південно-східної Англії. В їх дослідженні вдосконалений індекс нормованої різниці (ENDVI), який розраховується із застосуванням трьох спектральних смуг (ближньої інфрачервоної, зеленої та синьої), був найефективнішим показником при диференціації трьох типів пасовищ.

Серед обчислених нами індексів в трьох використовався “зелений” канал Sentinel-2, але лише в поєднанні з відбиттям на довжині хвилі з області червоного краю (шостий канал з центральною довжиною хвилі 740 нм) хід ліній Green NDVI (740, 560) узгоджувався зі змінами процентного вмісту азоту в рослинному покриві. Можливо, саме заміна БІЧ-каналу в традиційному Green NDVI, запропонованому Gitelson A. A. et al. [12], на один з вузьких каналів “червоного краю” спричинила отримані нами результати, хоча це припущення потребує детальнішої перевірки.

Висновки

1. Проаналізовано динаміку 15-ти VI, розрахованих за реальними супутниковими знімками Sentinel-2A в межах двох тест-ділянок площею 1 га, що знаходились на виробничих посівах ОП двох сортів (Богдана і Скаген), впродовж періоду зимового спокою та весняно-літньої вегетації 2016 року.
2. Визначено вміст загального азоту в сухій речовині органів, які формували відбивну поверхню посіву у фазах вихід в трубку та молочна стиглість, і встановлено, що за цим показником

рослини сорту Скаген достовірно більш, ніж на 30% переважали сорт Богдана.

3. Виявлено, що на початок літа 2016 р. всі індекси для тест-ділянки сорту Скаген достовірно перевищували відповідні показники сорту Богдана. Відмінності в динаміці VI для тест-ділянки поля 1 простежуються між датами 28 квітня та 17 червня 2016 р. Дев'ять VI демонструють повільне зниження своїх значень, три мають тенденцію до певного їх зростання, але ці зміни знаходяться в межах помилки досліду. Лише три VI тест-ділянки зі сортом Скаген достовірно змінюють свої величини за період від кінця квітня до середини червня 2016 р.: індекси REP та ΔRE зростають, а індекс Green NDVI, навпаки, знижується.
4. Падіння вмісту загального азоту в сухій речовині органів, які формували відбивну поверхню рослинного покриву за період досліджень, узгоджується з поведінкою індексу Green NDVI (740, 560) для обох досліджених тест-ділянок озимої пшениці.

Література

1. Дистанційний моніторинг стану посівів озимої пшениці впродовж весняно-літньої вегетації 2016 р. за вегетаційними індексами супутника Sentinel-2A (на прикладі Лісостепової зони України) [Електронний ресурс] / Г. М. Жолобак, О. М. Сибірцева, М. В. Ваколюк, Ю. В. Захарчук // Український журнал дистанційного зондування Землі. — 2017. — № 15. — С. 23–30. — Режим доступу: http://ujrs.org.ua/ujrs/issue/viewIssue/15/pdf_19. — Назва з екрану.
2. Ерошенко В. Ф. Использование азота растениями озимой пшеницы / В. Ф. Ерошенко А. А. Ерошенко, Т. В. Симатин // Достижения науки и техники АПК. — 2015. — Т. 29. — № 11. — С. 58–61.
3. Романчук І. Ф. Оцінка вологості ґрунту за допомогою супутникових знімків Sentinel-2 (на прикладі Баришівського полігону Київської області) [Електронний ресурс] / І. Ф. Романчук, О. І. Сахацький, О. А. Апостолов / / Допов. Нац. акад. наук Укр. — 2018. — № 1. — С. 60–66. Режим доступу: <https://doi.org/10.15407/dopovid2018.01.060>. — Назва з екрану.
4. Спирина В. З. Агрохимические методы исследования почв, растений и удобрений: учеб. пособие / В. З. Спирина, Т. П. Соловьева. — Томск: Издательский Дом Томского государственного университета, 2014. — 336 с.
5. Тарасюк О. І. Вміст у листках азоту та продуктивність ліній озимої м'якої пшениці, унікальних за хлібопекарськими властивостями / О. І. Тарасюк, В. М. Починок // Физиология растений и генетика. — 2015. — Т. 47. — № 1. — С. 66–73.
6. Шадчина Т. М. Наукові основи дистанційного моніторингу стану посівів зернових / Т. М. Шадчина. — К.: Фітосоціоцентр, 2001. — 220 с.
7. Assessing newly developed and published vegetation indices for estimating rice leaf nitrogen concentration with

- ground- and space-based hyperspectral reflectance / Y. C. Tian, X. Yao, J. Yang, W. X. Cao, D. B. Hannaway, Y. Zhu // *Field Crops Res.* — 2011. — V. 120. — P. 299–310.
8. Belgiu M. Sentinel-2 cropland mapping using pixel-based and object-based timeweight dynamic time warping analysis / M. Belgiu, O. Csillik // *Remote Sensing of Environment.* — 2018. — V. 204. — N 1. — P. 509–523.
 9. Clevers J. G. P. W. Using Sentinel-2 Data for Retrieving LAI and Leaf and Canopy Chlorophyll Content of a Potato Crop [Електронний ресурс] / J. G. P. W. Clevers, L. Kooistra, M. M. M. van den Brande // *Remote Sens.* — 2017. — V. 9. — N 5. — P. 405–420. — Режим доступу: <http://www.mdpi.com/2072-4292/9/5/405/htm>. — Назва з екрану.
 10. Dash J. The MERIS terrestrial chlorophyll index / J. Dash, P. J. Curran // *Int. Journal of Remote Sensing.* — 2004. — V. 25. — N 23. — P. 5403–5413.
 11. Dawson T. P. A new technique for interpolating the reflectance red edge position / T. P. Dawson, P. J. Curran // *International Journal of Remote Sensing.* — 1998. — V. 19. — № 11. — P. 2133–2139.
 12. Gitelson A. A. Use of a green channel in remote sensing of global vegetation from EOS-MODIS / A. A. Gitelson, Y. J. Kaufman, M. N. Merzlyak // *Remote Sensing of Environment.* — 1996. — V. 58. — № 3. — P. 289–298.
 13. Gitelson A. A. Three-band model for noninvasive estimation of chlorophyll, carotenoids, and anthocyanin contents in higher plant leaves / A. A. Gitelson, G. P. Keydan, M. N. Merzlyak // *Geophysical Research.* — 2006. — Letters 33, L 11402.
 14. Horler D. N. H. The red edge of plant leaf reflectance / D. N. H. Horler, M. Dockray, J. Barber // *Int. Journal of Remote Sensing.* — 1983. — V. 4. — N 2. — P. 273–288.
 15. Huete A. R. A soil-adjusted vegetation index (SAVI) / A. R. Huete // *Remote Sensing of Environment.* — 1988. — V. 25. — N 3. — P. 295–309.
 16. LAI assessment of wheat and potato crops by VENUS and Sentinel-2 bands / I. Herrmann, A. Pimstein, A. Karnieli, Y. Cohen, V. Alchanatis, D. J. Bonfil // *Remote Sensing of Environment.* — 2011. — V. 115. — № 8. — P. 2141–2151.
 17. Monitoring the vernal advancement and retrogradation (green wave effect) of natural vegetation / J. W. Rouse, Jr. R. H. Haas, J. A. Schell, D. W. Deering // *Prog. Rep. RSC* 1978-1, 1973. — 93 p.
 18. Producing nitrogen (N) uptake maps in winter wheat by combining proximal crop measurements with Sentinel-2 and DMC satellite images in a decision support system for farmers / M. Söderström, K. Piikki, M. Stenberg, H. Stadig, J. Martinsson // *Acta agriculturae scandinavica, section B — soil and plant science.* — 2017. — V. 67. — N 7. — P. 637–650.
 19. Strong C. J. The potential of small-Unmanned Aircraft Systems for the rapid detection of threatened unimproved grassland communities using an Enhanced Normalized Difference Vegetation Index [Електронний ресурс] / C. J. Strong, N. G. Burnside, D. Llewellyn // *PLoS ONE.* — 2017. — № 12 (10). — P. 1–16. Режим доступу: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0186193>. — Назва з екрану.

АНАЛИЗ 15-ТИ ВЕГЕТАЦИОННЫХ ИНДЕКСОВ, РАССЧИТАННЫХ ПО ДАННЫМ СПУТНИКА SENTINEL-2А ДЛЯ ДВУХ РАЗЛИЧНЫХ ПО СОСТОЯНИЮ ТЕСТ - УЧАСТКОВ ПОСЕВОВ ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ ЛЕСОСТЕПНОЙ ЗОНЫ УКРАИНЫ

Г. М. Жолобак, О. Н. Сибирцева, М. В. Ваколюк, И. Ф. Романчук

Проанализирована динамика 15-ти вегетационных индексов, рассчитанных по спутниковым снимкам Sentinel-2А для двух тест-участков площадью 1 га, расположенных на производственных посевах озимой пшеницы двух сортов (Богдана и Скаген), в течение периода зимнего покоя и весенне-летней вегетации 2016 года. Обнаружено, что снижение содержания общего азота в сухом веществе органов, которые формировали отражающую поверхность растительного покрова от фазы выход в трубку до молочной спелости, согласуется с поведением индекса Green NDVI (740, 560) для обоих проанализированных тест - участков озимой пшеницы. Обсуждается динамика других 14-ти индексов в условиях ухудшения фитосанитарной ситуации посева озимой пшеницы сорта Богдана.

Ключевые слова: вегетационные индексы, Sentinel-2А, посевы озимой пшеницы, содержание общего азота

ANALYSIS OF DYNAMICS FOR 15 VEGETATION INDICES BASED ON SENTINEL-2A IMAGE DATA FOR THE TEST SITES OF WINTER WHEAT CROP DIFFERENT ON THE STATE FROM EACH OTHER WITHIN THE FOREST-STEPPED ZONE IN UKRAINE

G. M. Zholobak, O. M. Sibirtseva, M. V. Vakolyuk, I. F. Romanciuc

Dynamics of 15 vegetation indices estimated from the Sentinel-2A images within two test sites with the area of 1 ha for the production crops of two winter wheat cultivars (Bohdana and Skagen) are analyzed for winter dormancy and spring - early summer in 2016. The decrease of total nitrogen content in dry matter of the plant organs, which are formed the reflecting surface of the vegetation cover from the booting stage to milk one is consistent with the behavior of the Green NDVI (740, 560) for the both test sites of winter wheat cover. Dynamics of the other 14 indices have been analyzed under the conditions of the deterioration of phytosanitary situation for the winter wheat crop of Bohdana cultivar.

Key words: vegetation indices, Sentinel-2A, winter wheat crop, total nitrogen content

УДК [551.243:551.4] (4)

Тектонолинеаментные зоны восток-северо-восточного простираения как составной элемент регматогенного разломного каркаса Балкано-Черноморского региона

В. В. Покалюк *, И. Э. Ломакин, И. Н. Шураев

ГНУ "Центр проблем морской геологии, геоэкологии и осадочного рудообразования НАН Украины", Киев

Структурно-геоморфологический анализ глобальных цифровых моделей радарного 3-d рельефа позволяет выделить в пределах Балкано-Черноморского региона систему субпараллельных трансрегиональных тектонолинеаментных полосовидных зон — сквозных структур восток-северо-восточного простираения, чередующихся с шагом примерно 100 км и являющихся важнейшим составным элементом регматогенного разломного каркаса исследуемой территории: I — Южно-Карпатская, II — Перикарпатская, III — Азово-Адриатическая, IV — Балкано-Крымская, V — Северо-Греческая, VI — Северо-Эгейская, VII — Северо-Анатолийская. Они без изменения направления пересекают геоблоки различного строения, возраста, истории развития и продолжают в акваториях Черного и Эгейского морей. Общая согласованность их пространственной, морфоструктурной и кинематической организации свидетельствует о едином динамическом механизме формирования, связанном, вероятно, с общепланетарным ротационным фактором.

Ключевые слова: Балкано-Черноморский регион, тектонолинеаменты, SRTM, GEBCO, морфоструктуры рельефа, планетарная разломная сеть

© В. В. Покалюк, И. Э. Ломакин, И. Н. Шураев. 2018

Введение

Современные методы морфоструктурного и тектонолинеаментного анализа с использованием космодешифрирования выявляют практически во всех регионах мира, континентальных и океанических сегментах земной поверхности, элементы регулярности разноранговых разломных сетей — множественные системы субпараллельных разломов, чередующихся с постоянным шагом, зависимым от ранга самих нарушений и проявленные на огромных площадях [2, 15]. Системы разных направлений связаны между собой, как правило, устойчивыми парагенетическими соотношениями, обусловленными регулярным характером глобальных и региональных полей напряжений в земной коре.

Изучение закономерностей расположения разрывных нарушений представляет не только теоретический, но и прикладной интерес — актуально при поисках рудных месторождений, тектоническом и геологическом районировании. С появлением в конце 20 века материалов космических съемок появилась возможность систематизации данных о закономерностях пространственного расположения линеаментных/разломных сетей регионально-го и надрегионального ранга, их объективной оценки, учитывающей ранжирование разломов и разломных зон по степени иерархии.

Предметом нашего исследования являются закономерности пространственной организации региональных разломных зон (РЗ) и разломов Балкано-Причерноморского региона. На основании дешифрирования глобальных мелкомасштабных материалов космических радарных съемок (цифрового 3-d рельефа) было показано [29] существование системы транссредиземноморских полосовидных тектонолинеаментных зон/поясов ВСВ ориентировки, секущих Средиземноморский подвижный пояс и частично выходящих за его внешние границы; дана общая оперативная информация об этих полосовидных мегаструктурах. В их числе наиболее крупной является Атласо-Черноморский тектонолинеаментный пояс (Атласо-Азовский суперлинеамент, по В. А. Бушу [4]) протяженностью около 6 000 км и шириной примерно 500 км [29]. Основная задача настоящей публикации — более детальное рассмотрение одной из важнейших частей этого пояса — его Балкано-Причерноморского сегмента, с целью выяснения закономерностей пространственной организации ансамбля региональных разломов северо-восточных и субширотных румбов для данного региона и подтверждения их среднемасштабным картографическим материалом, главным образом данными космических съемок и радарного 3-d рельефа, а также известными материалами других авторов. Актуальность таких исследований определяется проблемой согласования структурных планов акватории Черного моря и его континентального окружения.

* E-mail: pvskan@ukr.net.

Тел. + 380-66-234-62-29, + 380-98-867-15-70

Методология и методика

Научно-методологической основой работы являются: 1) представления о разломно-блоковом строении земной коры, тектонической делимости тектоносферы, традиционные для украинской геологической школы В. Г. Бондарчука–И. И. Чебаненко; 2) концепция глобальной линеаментной сети и планетарной трещиноватости (У. Хоббс, Д. Филлипс, Дж. Умброве, Г. Штилле, Е. Н. Пермяков, Н. Бутаков, Дж. Д. Муди и М. Хилл, Г. Н. Каттерфельд, Г. Джеффрис, М. В. Стовас, А. В. Долицкий, В. И. Кийко, П. С. Воронов, С. С. Шульц, В. Е. Хаин, И. И. Чебаненко, К. Ф. Тяпкин, В. А. Буш, Я. Г. Кац, А. И. Полетаев, Э. Ф. Румянцева, В. И. Анохин и др.), которая рассматривает многогранное строение зон планетарной трещиноватости и связь их образования с ротационным режимом Земли.

Методика исследований основана на известных принципах и методических правилах линеаментного анализа и визуального дешифрирования аэрокосмоснимков (Я. Г. Кац, А. И. Полетаев, Э. Ф. Румянцева, Л. В. Милосердова, А. Е. Михайлов, Н. И. Корчуганова, Ю. Б. Баранов). Интегрирование аэрокосмических данных и широкого спектра картографических (геологических, геоморфологических, геофизических, батиметрических, сейсмотектонических) данных, а также обработка информации несколькими независимыми специалистами позволяет значительно снизить элемент субъективизма, который присутствует при традиционном визуальном дешифрировании. Высокую информативность и объективность имеют 3-мерные цифровые модели рельефа (ЦМР) на основе данных радиолокационной космической съемки. Они предоставляют широкие возможности дешифрирования с использованием теневой подсветки, что позволяет более эффективно выявлять разломы заданных направлений.

Термины и понятия, принятые в работе

Линеамент. Под линеаментами обычно понимают “выдержанные по направлению прямолинейные элементы рельефа и ландшафта, обычно связанные с трещинами и разломами земной коры” [3], “... линейные структуры земной коры, выражающиеся в линейных формах рельефа суши или морского дна, линейных геологических формах, линейных аномалиях физических полей Земли и имеющие прямую или косвенную связь с разрывными нарушениями и зонами повышенной проницаемости в земной коре” [2]. Подобно разрывным нарушениям разнопорядковые линеаменты по протяженности разделяются на суперрегиональные, трассирующиеся на многие сотни и тысячи километров (супермегалинеаменты), региональные, вытянутые на десятки и первые сотни километров и локальные —

линеаменты небольшой длины (единицы — первые десятки километров). Линеаменты локального, реже регионального ранга, выраженные на поверхности в виде четких линий в практике дешифрирования именуют штрихами.

Линеаментная зона. Отдельные линеаменты (штрихи) концентрируются в сообщества — зоны и пояса линеаментов, имеющие некоторую ширину и внутреннюю структуру. На примере изучения линеаментов платформенных и складчатых областей СССР и других районов земного шара было предложено [6, 25] выделять следующие линеаментные сообщества: зоны регионального значения, мегазоны трансрегионального значения и пояса глобального значения. В. И. Макаров и Л. И. Соловьева [21] выделили под линеаментными зонами достаточно протяженные (регионального порядка) полосы сгущения линеаментов сравнительно небольшой протяженности, которые прерывисто продолжают или нередко “подставляют” друг друга по простиранию зоны. Описаны многочисленные факты сгущения (концентрации) линеаментов одного ранга в протяженные непрерывные или прерывистые зоны, характеризующиеся резко сокращенным “шагом” между линеаментами.

Система (син. — ряд) линеаментов — совокупность линеаментов, примерно параллельных друг другу (по аналогии с понятием “система трещин” [26]), реализованная на большой площади. На розах-диаграммах направлений линеаментов/разломов системы выражаются в виде конкретных статистически достоверных максимумов.

Сопряженные системы линеаментов — совокупность нескольких (обычно двух-трех, редко больше) систем линеаментов, связанных между собой тесными пространственными и парагенетическими взаимоотношениями. Сопряженные системы линеаментов часто реализованы внутри линеаментных зон разного ранга и образуют устойчивый в пространстве перекрестный структурный план (структурный рисунок) — параллелепипедальный, ромбовидный, миндалевидно-петельчатый, ортогональный (решетчатый) и др. Синонимом сообщества сопряженных систем является структурный (структурно-динамический) парагенезис линеаментов. По определению [9], *структурный парагенезис (парагенез)* — это совместное (пространственное) нахождение определенных структурных форм, закономерно возникших одновременно или последовательно в ходе единого деформационного процесса. Структурные парагенезисы и их ансамбли, обладающие характерными структурными рисунками, позволяют судить о тектонических движениях и деформациях, происходящих в толщах горных пород. Парагенезис сопряженных систем линеаментов образует *ансамбль линеаментов*. Ансамбли линеаментов группируются в *сети линеаментов*.

При изучении организации линеаментных ансамблей и их сетей первоочередной задачей является установление количественных взаимоотношений между разнонаправленными системами, определение среди них доминирующих и подчиненных. Эта задача решается статистически, в частности путем построения роз-диаграм. В дальнейшем каждая система линеаментов анализируется отдельно; итогом является построение комплектов карт линеаментов избранных простираций. Такой анализ позволяет легче увидеть закономерности площадного распределения и организации для различных систем. Указанный методический подход к анализу структурного плана региональных разломных сетей успешно апробирован ранее [17, 45].

В настоящей работе приоритет в выделении разломов дается системам линеаментов “продольным” по отношению к основной здесь трансконтинентальной структуре — Атласо-Черноморскому тектонолинеаментному поясу ВСВ простираения. В сообщество “продольных” разломов входит главная система ВСВ ориентировки и тесно сопряженные с ней структуры северо-восточного и субширотного (от З–В до ВЮВ) простираения. Важность изучения именно этих систем заключается в том, что, во-первых, они относятся к числу доминирующих для исследуемой территории, во-вторых, с ними часто связаны мезо-кайнозойские грабен-прогибы, часто концентрирующие залежи углеводородов. “Поперечные” структуры северо-западного, меридионального и субмеридионального (ССЗ, ССВ) направлений будут предметом отдельного рассмотрения.

Район исследования охватывает акватории Эгейского и Черного морей с прилегающими территориями Балканского полуострова, северного, западного и южного Причерноморья. В пределах территории выделяют такие основные структурно-тектонические элементы: юго-западная часть Восточно-Европейской платформы (ВЕП); Скифская платформа; Мизийская плита; альпийские орогены Карпато-Балканской сигмиды, Динаро-Элленид, Центральной Добруджи, Крыма, северо-западной Анатолии; глубоководные впадины Черного моря.

Исторические предпосылки и основная проблематика

Вопрос о количественных и пространственно-генетических соотношениях тех или иных систем разломов в пределах акватории Черного моря и его континентального окружения дискутируется довольно давно. И. И. Чебаненко [30, 31] для Украины и смежных областей выделяет две главные системы — диагональные, по азимутам $305\text{--}310^\circ$ и $35\text{--}40^\circ$, четыре подчиненные системы, среди которых две субдиагональные ($335\text{--}340^\circ$, $65\text{--}70^\circ$), субширотная ($280\text{--}285^\circ$) и субме-

ридиональная ($10\text{--}15^\circ$) и две наименее проявленные, известные в литературе как ортогональные системы — широтная (0 или 180°) и меридиональная (90 или 270°). В отдельных регионах подчиненные субдиагональные системы могут быть проявлены настолько сильно, что становятся ведущими. В частности в пределах восточной части Причерноморской впадины и равнинного Крыма очень широко развиты системы $65\text{--}70^\circ$ и $280\text{--}285^\circ$. Несколько иная точка зрения у А. В. Чекунова с соавторами [32], отдающими приоритет в целом ортогональным системам над диагональными: “На всех этапах развития Северного Причерноморья большое значение имели глубинные и другие крупные разломы..., группирующиеся в общих чертах в ортогональную и диагональную системы. Наиболее выразительна первая из них, заложившаяся и очень активно проявлявшая себя в раннем протерозое. В байкальском этапе доминировала диагональная система разрывных нарушений (особенно разрывы северо-западного направления); очевидно, большую роль она играла также в герцинском этапе развития. В альпийском этапе и, вероятно, киммерийском вновь преобладала ортогональная система субдолготных и близширотных разломов, суммарный эффект проявления которых в тектонике Северного Причерноморья является в целом определяющим”.

В дальнейшем общий вывод И. И. Чебаненко о доминировании диагональных и субдиагональных систем в пределах акватории СЗ шельфа и континентальной части Северного Причерноморья был подтвержден геолого-съёмочными работами и системными обобщениями геофизических, аэрокосмографических и других материалов [5, 7, 8, 11, 12, 16, 19, 20, 24, 27].

В. И. Макаровым [22] на основании анализа распределения крупных линеаментов территории СССР отмечено преобладание линеаментов северо-западной ориентировки для Европейско-Центрально-Азиатского сектора, образующих почти полный “веер” этого румба с пиком 315° . Линеаменты северо-восточного простираения здесь развиты меньше и дают два пика ($25\text{--}45$ и 75°). Тем самым, в аспекте темы настоящей публикации подчеркнута статистическая значимость субдиагональной ВСВ системы для западной части Евразии.

Большим вкладом в изучение разломных сетей региона стали карты разломной тектоники, полученные на основании дешифрирования космических снимков: космотектоническая карта европейских стран — членов СЭВ и СФРЮ, масштаба 1:1 000 000 [18], карта разрывных нарушений и основных зон линеаментов юго-запада СССР масштаба 1:1 000 000 [13], тектоническая схема Средиземноморья масштаба 1:5 000 000 [35].

Результаты

Дешифрирование космоснимков регионального масштаба в сочетании со структурно-геоморфологическими исследованиями и анализом существующих геологических карт показывает, что в Балкано-Причерноморском регионе четко выделяются линеаментные/разломные зоны субдиагональной ВСВ системы 60–75°, которая может быть определена в числе доминирующих, наряду с несколькими сопряженными системами иных направлений. ВСВ элементарные линейные объекты относительно равномерно расположены на всей территории в виде рассеянных штрихов (мезотополинеаментов длиной километры — первые десятки километров). Разъединенные и рассредоточенные однонаправленные линеаменты объединяются в зоны их концентрации, либо протяженные цепочки. Их генерализация позволяет выделять линеаментные зоны более крупного (регионального и надрегионального) ранга. Во многих случаях удается зафиксировать непрерывность разломных зон на протяжении многих сотен километров.

Проведенные структурно-геоморфологические исследования на основе дешифрирования аэрокосмических материалов позволили выделить в пределах Балкано-Причерноморского сегмента земной коры семь линеаментных/разломных зон надрегионального ранга, проходящих в ВСВ направлении близкопараллельно друг другу с шагом примерно 100 км: I — Южно-Карпатская восток-северо-восточная¹, II — Перикарпатская, III — Азово-Адриатическая, IV — Балкано-Крымская, V — Северо-Греческая, VI — 7 Северно-Эгейская, VII — Северо-Анатолийская. Границы между ними в строгом смысле обозначить сложно, поскольку в промежутках фиксируются рассеянные линеаменты такого же направления. Учитывая протяженность указанных зон, измеряемую многими сотнями, нередко первыми тысячами километров, практически все они являются сквозными структурами надрегионального ранга, пересекающими различные геоблоки и структурно-тектонические элементы земной коры.

Общая конфигурация и пространственное расположение этих тектонолинеаментных зон показаны на рис. 1. Следует отметить, что такие же полосовидные структуры ВСВ простирания имеют место к югу и к северу от исследуемой территории (Центрально-Венгерский линеамент, разломные зоны центральной и юго-восточной Анатолии и др.). В данной работе мы ограничились лишь рассмотрением Балкано-Причерноморского сегмента полосы концентрации линеаментов Атласо-Черноморского тектонолинеаментного пояса [29] шири-

ной порядка 700 км от Южных Карпат до Северной Анатолии (см. рис. 1).

Зона I — Южно-Карпатская восток-северо-восточная — пересекает Южные и ЮВ Карпаты, выходя своими краями за внешние границы орогенной области в пределы окружающих равнинных территорий (рис. 2). В этом отношении она является транскарпатской разломной зоной, сопоставимой по своему рангу с Южно-Карпатской и Драво-Мурешской субширотными РЗ. Линеамент трассируется с ЗЮЗ на ВСВ линейным отрезком долины Дуная (Смедерево-Банатска Планка), затем вдоль его левого притока — р. Нера, далее по северной границе неогенового грабена Бозовичи, затем вдоль долины р. Джиул-де-Вест параллельно южному гребню гор Ретезат (линейно вытянутый олигоцен-четвертичный бассейн Петрошаны), вдоль долины р. Олт до западного склона Восточных Карпат. Через Восточные Карпаты линеамент прослеживается не явно, прерывистыми отрезками, проходя по северной границе бассейна Брашов. Наиболее достоверная часть линеаменты (Смедерево–Фэгэраш) протягивается на расстояние 350 км по азимуту 66°. Линеамент показан на космотектонической карте европейских стран [18] в качестве регионального глубинного разлома; его крупные фрагменты также отмечены на тектонической схеме Румынии [42] как правосдвиговые.

Зона II — Перикарпатская; название принято по прохождению здесь так называемой Перикарпатской тектонической линии (фронта надвигов) [34, 39] — глубинной РЗ, контролирующей южное ограничение дуги Карпатского орогена и границу его со смежным перикарпатским прогибом и Мизийской плитой. Наиболее ярко в морфоструктурах поверхности проявлен линейный шов по линии П्लоэшты–Вернешты (70 км, 61°), ограничивающий юго-восточный ороклин Карпат. В обе стороны линии указанного шва отчетливо дешифрируется его продолжение по линии Крайова–Слатина–Гаэшты–Плоэшты–Вернешты–Рымнику-Сэрат–Намолоса (рис. 3, а) [18], так что общая протяженность непрерывного отрезка разломной зоны составляет 330 км, азимут 65° (Мизийско-Перикарпатская РЗ). В ближнем окружении, в пределах Южно-Карпатского форланда и Мизийской плиты, фиксируется множество меньших рассеянных линеаментов/разломов с таким же направлением [18, 42]. Мизийско-Перикарпатская РЗ продолжается с небольшими перерывами через Балканы и Динариды до побережья Адриатического моря в направлении Будвы (рис. 3) [18; 35].

В северо-восточном направлении Мизийско-Перикарпатская полоса тектонолинеаментов может быть продолжена еще двумя крупными разломами в пределах Придобруджского прогиба и Причерноморской впадины (см. рис. 1), отчетливо проявленными в рельефе: Измаил-Килия (120 км, азимут 72°)

¹ необходимо различать с широко известной Южно-Карпатской субширотной (ВЮВ) разломной зоной

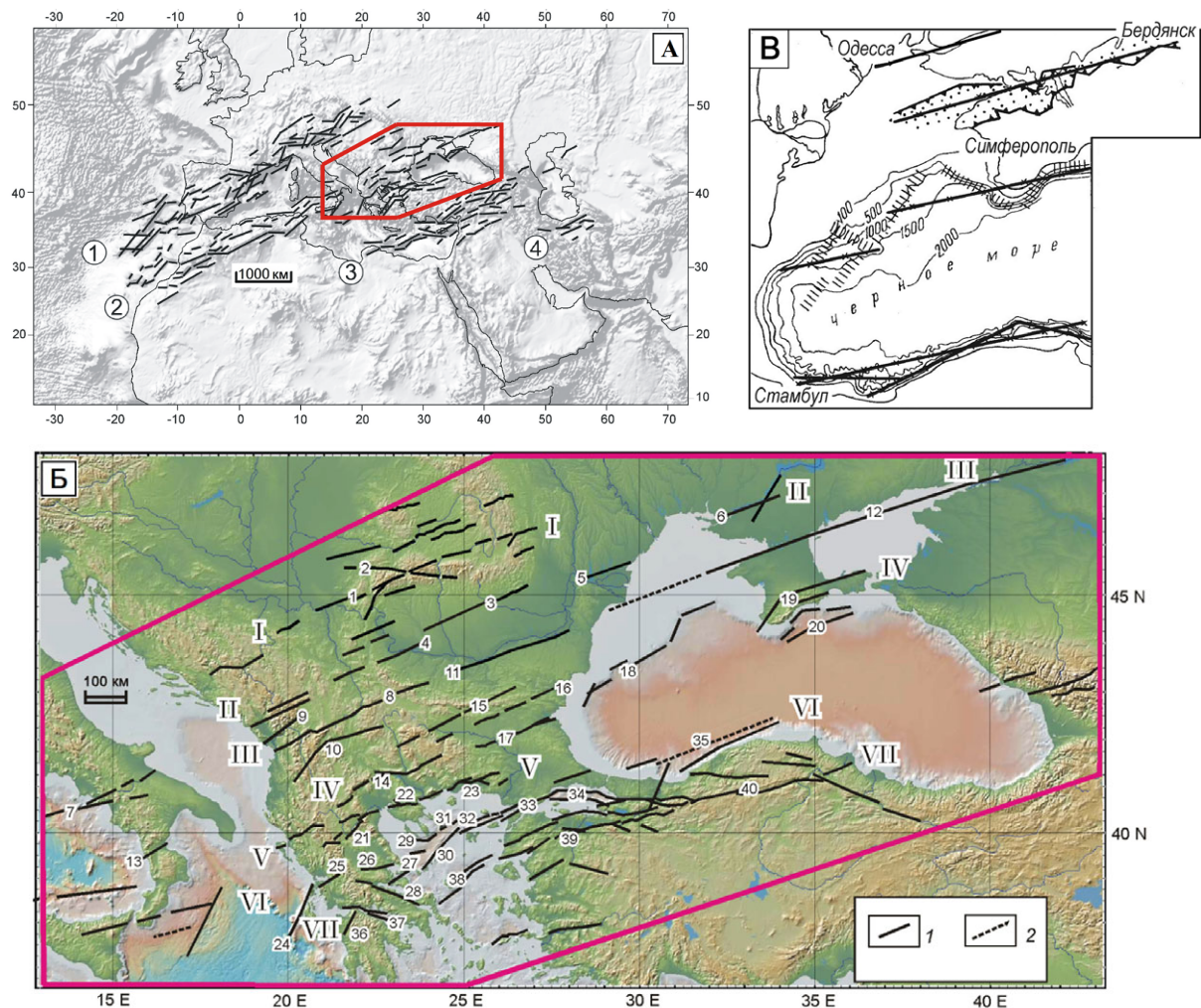


Рис. 1. Восток-северо-восточные тектонолинеamentные зоны Средиземноморского подвижного пояса и Балкано-Черноморского сегмента.

А. Транссредиземноморские эшелонированные тектонолинеamentные пояса восток-северо-восточной ориентировки: Иберийско-Паннонский (1), Атласо-Черноморский (2), Восточно-Средиземноморско-Восточно-Анатолийский (3), Эльбурский (4) (из работы [29]; красным контуром показан регион более детальных (среднемасштабных) исследований).

Б. Обзорная карта-схема главнейших тектонолинеamentных/разломных зон восток-северо-восточного направления Балкано-Причерноморского региона (на основании дешифрирования космических снимков и радарного 3-d рельефа, а также с использованием материалов [1, 4, 7, 8, 10, 18–20, 23, 24, 27, 29, 33, 35–37, 40–50, 52–55]).

1 — разломы регионального и надрегионального ранга, прослеживающиеся непрерывно, хорошо проявленные, достоверно подтвержденные; 2 — участки региональных и надрегиональных разломов, плохо проявленные, “скрытые” или подтвержденные по косвенным признакам.

I–VII — тектонолинеamentные/разломные зоны надрегионального ранга: Южно-Карпатская восток-северо-восточная (I), Перикарпатская (II), Азово-Адриатическая (III), Балкано-Крымская (IV), Северо-Греческая (V), Северо-Эгейская (VI), Северо-Анатолийская (VII).

Арабские цифры — разломные зоны регионального ранга (см. таблицу).

В. Расположение основных разломных зон восток-северо-восточного направления в пределах Азово-Черноморской акватории (из работы А. Я. Краснощeka [19])

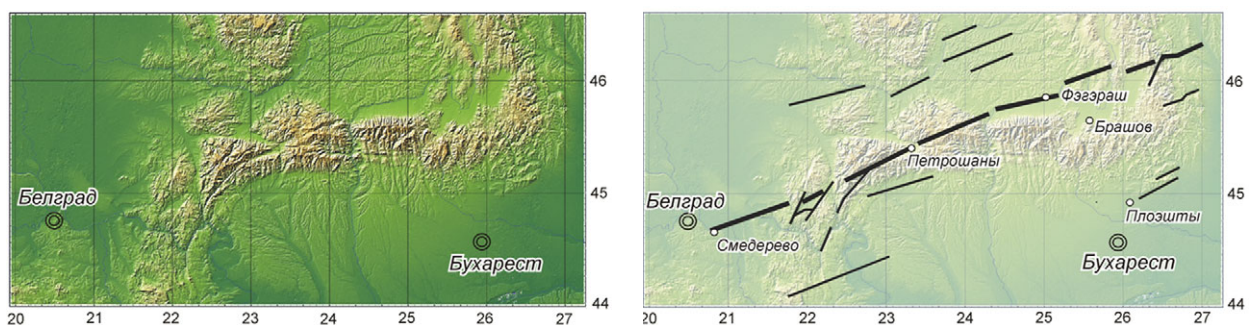


Рис. 2. Южно-Карпатский северо-восток-восточный линеament на карте цифрового 3-d рельефа

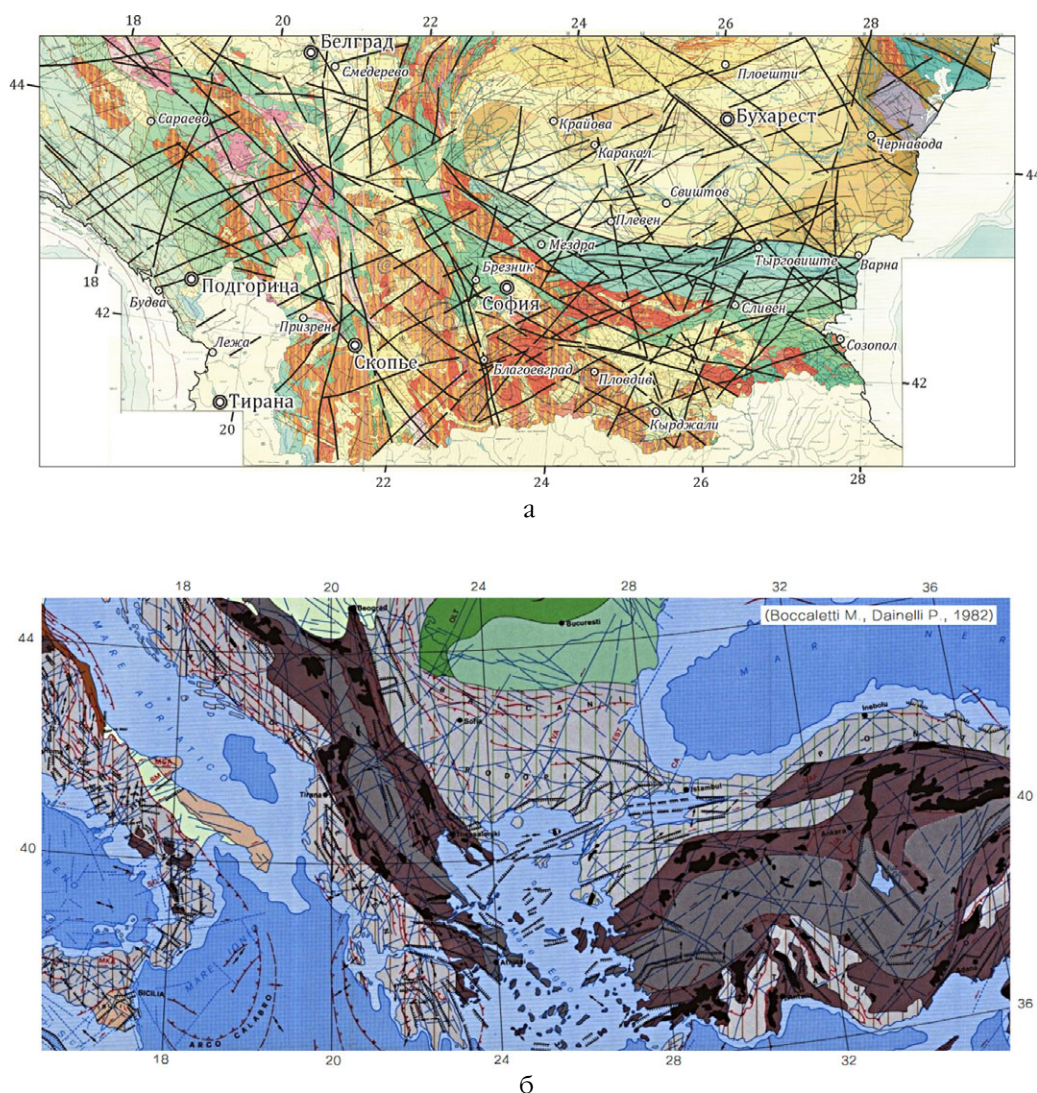


Рис. 3. Региональные разломы Балкано-Мизийского и Эгейско-Анатолийского регионов (а — по материалам космогенетической карты СЭВ [18], с упрощениями; б — по карте М. Boccaletti, P. Dainelli [35])

и Херсон-Каховка (длина 90 км, азимут 70°). Первый трассируется уступом вдоль северного борта долины килийского русла Дуная, второй — линейным отрезком нижнего течения Днепра; последний продолжается далее к востоку от Каховки в виде рассредоточенных параллельных региональных нарушений с азимутом $70\text{--}73^\circ$ в общем направлении Токмак–Розовка.

Зона III – Азово-Адриатическая, соответствует одноименному мегалинеаменту, охарактеризованному в работе [1]. Мегалинеамент в пределах суши хорошо отражается на космоснимках и по своему рангу является одним из наиболее крупных трансрегиональных зон сопряженных глубинных разломов юга Европы. Он уверенно прослеживается от восточного побережья Адриатического моря в районе Дринского залива (Албания), пересекает в ВСВ направлении Динариды, Балканиды, Мизийскую плиту, маркируется руслом нижнего течения Дуная, восточнее трассируется системой горстов и

грабенов северо-западного шельфа Черного моря, вдоль северного побережья Тарханкута и Азовского моря, и далее вдоль долины реки Дон до Цимлянского водохранилища. С учетом предполагаемого продолжения мегалинеамента в ЗЮЗ направлении (до о. Капри на юге Италии) его протяженность — 2 500 км, азимут простирания — $65\text{--}70^\circ$. По данным [14, 15] мегалинеамент протягивается значительно дальше Цимлянского водохранилища в ВСВ направлении — вплоть до Урала. По отношению к границам региональных тектонических структур он является на отдельных участках секущим, на других — граничным (конформным). На значительной части своего простирания он определяет юго-западную границу ВЭП и расположение здесь полосовидных грабенообразных прогибов, концентрирующих залежи углеводородов. Заложение грабен-прогибов ВСВ ориентировки (Каркинитско-Сивашского и других) в пределах северо-западного шельфа Черного моря и прилегающих территорий

началось как минимум с пермского возраста, о чем свидетельствует пермско-триас-нижнеюрское молассовое выполнение основания этих прогибов [28]. Таким образом, можно предполагать раннемезозойский (возможно еще раньше) возраст инициации рассматриваемого мегалинеамента.

Наиболее крупные, хорошо дешифрируемые участки длиной в несколько сот километров: Лежа–Плевен, Свиштов–Чернавода, Тарханкут–Цимлянск (см. рис. 1, таблица). В полосе Лежа–Плевен и ее ближнем окружении известны субпараллельные ВСВ региональные разломные зоны правосдвиговой кинематики: Шкодер–Печ (Shkoder–Peje), Дринит–Лежа (Drinit–Lezha), Эльбасан–Дебар–Скопье–Кюстендил (Elbasan–Debar–Skopje–Kjustendil) [40, 41]. В Южных Апеннинах по простиранию линеамента располагаются крупные региональные разломы вблизи Неаполя и Салерно (краевые разломы полуострова Сорренто и др.), которые имеет левосдвиговую кинематику [23, 35].

Зона IV – Балкано-Крымская полоса концентрации разломов ВСВ ориентировки шириной 100–50 км, на своем протяжении (1100 км) она включает: Балканскую область (пограничье Македонии и Греции, южную Македонию и южную Болгарию), систему краевых уступов северо-западного шельфа Черного моря, Крымский ороген и сопряженный с ним прогиб Сорокина. С перерывом через Адриатическое море зона может быть продолжена в некоторой степени условно на территории Южных Аппенин, где отмечается ряд региональных разломов ВСВ простирания (правосдвиговой разлом Сангинето и др. [35]. По пограничью Македонии и Греции, ориентированному в ВСВ направлении, проходят региональные нарушения сбросового типа — Алмопия (Almopia FZ) и Керкини (Kerkini FZ) [47]. В пределах южной Болгарии зона складывается несколькими крупными субпараллельными близко расположенными кулисами (с шагом между ними примерно 30–50 км): Благоевград–Сопот–Тырговиште, Мелник–Пловдив–Сливен–Варна, Кырджали–Созопол и др. (см. рис. 2, [18]. Недавние исследования [46] подтверждают, что разломы СВ, ВСВ, В-3, и ВЮВ ориентировки преобладают в юго-западной Болгарии и Македонии над ССЗ, при этом система ВСВ является одной из доминирующих и сейсмически активных. На Старо-Планинском участке отмечают левосдвиговую кинематику ВСВ нарушений [18, 23]. О наличии глубинной разломной зоны ВСВ простирания в полосе краевых глубинных уступов северо-западного шельфа Черного моря (Западно-Черноморская РЗ по [8] свидетельствуют многие авторы [8, 19]; здесь прослеживается цепочка интенсивных магнитных аномалий, а также газовых факелов. Линейные участки бровки шельфа зигзагообразно чередуются по двум основным направлениям — СВ и ВСВ, отражая направление главных сбросов.

Зона V – Северо-Греческая — надрегиональная разломная зона, секущая Балканский полуостров. Протягивается от побережья Ионического моря в районе о. Корфу (Керкира) в ВСВ направлении через Внешние и Внутренние Эллиниды в направлении г. Фессалоники, далее трассируется по северной границе п-ва Халкидики и Эгейского моря до г. Кавала, затем прослеживается через Южные и Восточные Родопы (Южно-Родопская РЗ); общая протяженность 600 км, среднее направление 66°. Отдельные фрагменты имеют региональные названия: Souli F, Konitsa F, Kozani F, Aliakmonas FZ, Paleohori-Sarakina-Servia FZ, Thessaloniki-Gerakarou FZ, Kavala-Xanthi-Komotini FZ [36, 48, 47, 49, 55]. Пункты трассирования — Керкира–Фессалоники–Кавала–Ксанти–Комотины–Мани. Весь этот участок показан на карте [35] в качестве практически непрерывной разломной зоны. На своем протяжении линеамент состоит из региональных отрезков длиной 30–100 км северо-восточной, восток-северо-восточной и субширотной ориентации, последовательно зигзагообразно чередующихся по простиранию с общей аппроксимацией их в направление ~ 66°. На тесную парагенетическую связь этих разноориентированных отрезков указывает принадлежность их к единой сейсмоактивной полосе нарушений; ярким примером является фрагмент Кавала–Ксанти–Комотины [52]. Большинство исследователей отмечают режим растяжения на всем простирании зоны [47], в особенности для нарушений субширотной ориентировки, к которым часто приурочены вытянутые грабены (грабен Mygdonia) и крупные сбросы. Восточнее, в областях Тракия и Странджа, зона является частично скрытой и проявлена не явно системой рассеянных мезотополлинеаментов основного ВСВ направления. К западу от Балканского полуострова она прослеживается ВСВ системами уступов рельефа дна Ионийского моря и правосдвиговых разломов Калабрии и Сицилии [35]. В настоящее время зона является сейсмоактивной [52]. Тектоническая активность ее проявилась по данным [38] с раннего миоцена и особенно в плейстоцене, так же как полосы разломов Северо-Эгейского трога и Мраморного моря, расположенной южнее.

Зона VI – Северо-Эгейская — широко известна как северная ветвь Северо-Анатолийской РЗ (NAFZ). Состоит из ряда крупных региональных тектонических структур (сегментов NAFZ), в числе которых выделяют (с запада на восток): Северо-Эгейский трог (NAT), включающий разломные зоны Ситония, Спорадес-Лимнос (Sithonia fault zone, Sporades-Limnos fault zone), трог Сарос, разломная зона Ганос, система пул-апарт-грабенов и разломов Мраморного моря (рис. 1, б) [37, 44, 51, 54]. На мелкомасштабной модели цифрового рельефа (SRTM-GEBCO) отчетливо видно, что линеамент Северо-Эгейского трога и Мраморного моря продолжает-

Состав и параметры главнейших тектонолинеamentных/разломных зон ВСВ направления Балкано-Причерноморского региона (в сочетании с сопряженными системами северо-восточного и субширотного направлений)

Номер на карте	Региональные линеamentы/разломные зоны (РЗ)	Пункты трассирования	Азимут простирания (градусы)	Длина (км)	Литературные источники
Зона I — Южно-Карпатская восток-северо-восточная (длина 490 км, аз. 67°)					
1	Южно-Карпатская северо-восток-восточная РЗ	Смедерво-Бозовичи-Петрошаны-Фэтэраш	67	380	[18, 42]
2	Южно-Карпатская субширотная РЗ	Оцелул-Рошу-Петрошаны-Козиа-Годени-Кымпина	97	390	[42]
Зона II — Перикарпатская (длина 1 270 км, аз. 64–70°)					
3	Мизийско-Перикарпатская РЗ	Крайова-Слагина-Газпты-Плоэнтты-Вернепты-Рымнику Сэрат-Намолоаса	65	330	[17]
4		Будва-Каракал	64	480	[18, 35]
5		Мачин-Изманл-Килия-Приморское	72	120	
5		Херсон-Каховка	70	90	[19]
Зона III — Азово-Адриатическая (Азово-Адриатический мегалинеament) (длина 2 500 км, аз. 64–70°)					
7	Сорренто РЗ	Капри-Салерно	66-71	100	[23, 35]
8		Лежа-Призрен-Брезник-Мездра-Враца-Плевен	64	450	[1]
9	Shkoder-Peje fault zone	Шкодер-Печ	57	110	[40]
10	Elbasan-Debar-Skopje-Kjustendil fault zone (EDSK FZ)	Эльбасан-Скопье — 39°, 100 км; Скопье-Кюстендил — 72°, 160 км.	Сочетание СВ и ВСВ фрагментов		[41]
11		Свиштов-Чернавода	68	230	[1]
12	Азово-Тарханкутский разлом, Главный Азовский разлом	Тарханкут-Ростов на Дону-Цимлянск	68	900	[1, 4, 19]
Зона IV — Балкано-Крымская (длина 1 100 км, аз. 63–68°)					
13	Sanginetto fault zone	Sanginetto-Sibari	68	55	[35]
14	Almopia FZ and Kerkini FZ	Skopos-Loutaki-Kastanoussa-Petrtsi	Сочетание СВ, ВСВ и широтных фрагментов		[47]
15		Благоевград-Сопот-Тырговиште	63	315	[18]
16		Мелник-Пловдив-Сливен-Варна	63	415	[18]
17		Кырджали-Созопол	68	220	[18]
18	Западно-Черноморская (по [8])	Полоса краевых уступов СЗ шельфа Черного моря	Сочетание СВ и ВСВ фрагментов краевых уступов шельфа		[8]
19	Крымский ороген	Балаклава-Симферополь (Георгиевский разлом — 40°, 65 км); Генеральское-Феодосия — 68°, 75 км; Перевальное-Керчь — 70–73°, 180 км	Сочетание СВ и ВСВ фрагментов		[8]
20	Прогиб Сорокина		Сочетание СВ и ВСВ фрагментов краевых уступов шельфа		[7, 8, 24]
Зона V — Северо-Греческая (длина 600 км, аз. 66°)					
21	Alakmonas fault zone, Paleohori-Servia fault zone	Палеохори-Сервия	59	55	[36, 47, 48]
22	Thessaloniki-Rentina Fault System (FRFS), Thessaloniki-Gerakou fault zone (TGFZ), Mygdonia fault zone	Фессалоники-Рентина	96	55	[47, 52, 55]
23	Kavala-Xanthi-Komotini fault zone (South Rodope fault zone)	Кавала-Ксанты-Комотини	Сочетание СВ, ВСВ и ВЮВ фрагментов		[47, 52, 54]
Зона VI — Северо-Эгейская (длина 450–830 км, аз. 70°)					
24	Kefalonia fault zone		20	150	[36, 47, 53]
25	Alevada fault zone (AFZ).		55	30	[53]
26	Kremasta-Sperchios Fault System (KSFS)		102	130	[53]
27	Oreoi Channel fault zone (OCFZ)		65-70	65	[53]
28	The Southern Thessaly fault zone (STFZ), Thessalian fault system		75-90	90	[52, 53]
29	Sithonia fault zone		56–65	80	[44]
30	Sporades-Limnos fault zone		40	150	[44]
31	Athos fault zone		60	40	[44]
	Северо-Эгейский трог (North Aegean Trough (NAT)), North Aegean Sea fault system.	Sporades-Limnos fault zone — 40°, 150 км; Saros trough — 72°, 150 км	Сочетание СВ и ВСВ фрагментов		[37, 52, 54]
32	Saros trough		72	150	[44, 54]
33	Ganos fault zone		67	45	[44]
33	Мраморноморский сегмент Северо-Анатолийской РЗ		Сочетание СВ, ВСВ и ВЮВ фрагментов		[51]
35	Южно-Черноморская РЗ		Сочетание ВСВ, З–В и ВЮВ фрагментов		[19]
Зона VI — Северо-Анатолийская (длина 1 100 км, аз. 68–70°)					
36	Achaia Fault Zone		25– 60		[43]
37	Corinth Gulf Fault System		35		
38	Центрально-Эгейский (Скирос-Эдремит) трог, Skiros-Edremit trough	Скирос-Эдремит (200 км)	105	130	[43, 53]
39	Южная ветвь Северо-Анатолийской РЗ	Эдремит-Бурса-Болу	Сочетание СВ и ВСВ фрагментов		[44]
40	Центральный сегмент Северо-Анатолийской РЗ	Болу-Бафра	70	420	[33, 45, 51]
			73	370	[45]

ся в виде единой генеральной линии в акваторию Черного моря, совпадая с южной ступенью Западно-Черноморской впадины (Южно-Черноморской РЗ по А. Я. Краснощеку [19]) (см. рис. 1, Б).

По представлениям многих современных авторов, разломная зона Северо-Эгейского трога прерывается на западе поперечными структурами Внутренних Эленид и далее в Центральную Грецию не распространяется. Однако это не соответствует доминирующему, и, в целом согласному, СВВ и субширотному расположению здесь сейсмоактивных зон, как в пределах греческого полуострова, так и в Эгейской акватории [49, 52]. Результаты дешифрирования космических снимков также свидетельствуют о продолжении рассматриваемого линеамента через континентальную часть Центральной Греции, несмотря на доминирующий в этом регионе “поперечный” (ССЗ) фон тектонических элементов: линеамент “распадается” здесь на ряд рассредоточенных и зигзагообразно чередующихся разломов и разломных зон ВСВ, СВ и субширотной ориентировки. А. Килиас с соавторами [53] убедительно показали на основании детальных структурно-тектонических исследований динамическую связь Северо-Эгейской РЗ с Кефалонийской РЗ (Cephalonia Transform Fault), располагающейся по другую сторону полуострова, через системы тесно сопряженных северо-восточных (Southern Thessaly (STFZ), Oreoi Channel Fault Zone (OCFZ), и субширотных (Kremasta Fault System (KFS), Sperchios Fault System (SFS)) разломов Центральной Греции (рис. 4). Об этом же свидетельствуют и сейсмологические данные по Эгейско-Анатолийскому региону [50], показывающие максимальную плотность и интенсивность сейсмической активности вдоль практически линейно ориентированной в ВСВ направлении ($\sim 68^\circ$) полосы Кефалония–Фессалия–Северо-Эгейский трог–Мраморное море–Южная Черноморская ступень (рис. 5). Вполне очевидно, что эта полоса представляет собой сквозную структуру, глубинный тектонически активный мегалинеамент высокого ранга. Большинство исследователей отмечают на всем его протяжении правосдвиговую кинематику с растяжением.

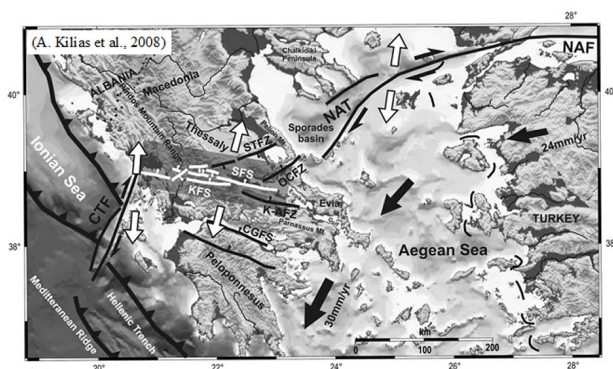


Рис. 4. Взаимосвязь разломных зон Центральной Греции с правосдвиговыми разломными зонами NAT (Северо-Эгейского трога) и CTF (Кефалонийской РЗ) (А. Kiliас et al. [53])

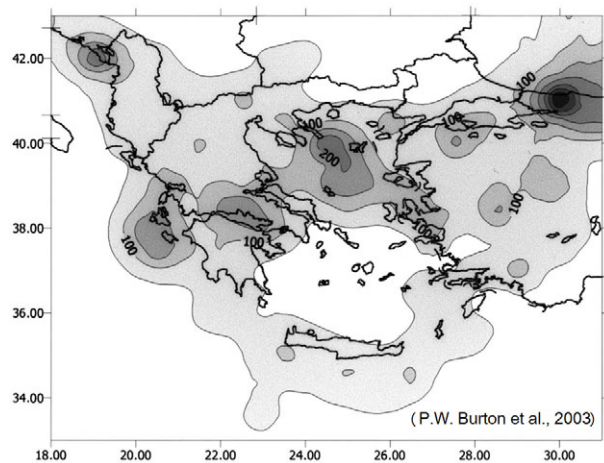


Рис. 5. Карта сейсмической опасности для Греции и сопредельных территорий (P.W. Burton et al. [50])

Зона VII — Северо-Анатолийская — включает близко расположенные субпараллельные кулисы южной ветви широко известной Северо-Анатолийской РЗ [33, 45, 51] (рис. 6). Она хоро-

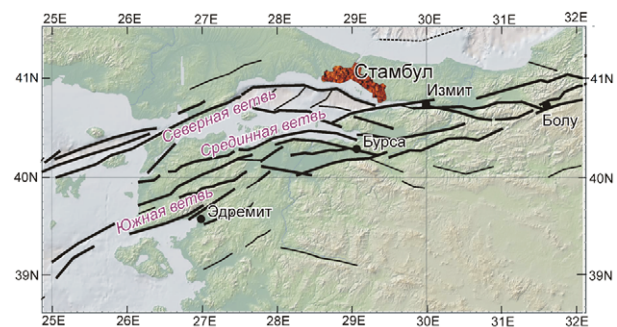


Рис. 6. Сочетание СВ, ВСВ, ЗВ – ВЮВ региональных фрагментов в строении Северо-Анатолийской РЗ (NAFZ)

шо прослеживается на картах радарного рельефа (SRTM, GEBCO) практически непрерывно на расстоянии 1 000 км (азимут $\sim 70^\circ$) от острова Скирос в Эгейском море, включая Центрально-Эгейский (Скирос-Эд্রেмит) трог, до побережья Черного моря в районе г. Бафра и бухты Самсун. В сеймотектоническом отношении является весьма активной с правосдвиговой кинематикой движений [33]. Пункты трассирования: Скирос–Эд্রেмит–Бурса–Болу–Бафра. В пределах южной и центральной Греции зона может быть продолжена системой ВСВ региональных нарушений, отмеченных на карте М. Бокалетти, П. Дайнелли [35], а также полосой сопряженных СВ и ВЮВ разломных зон — Achaia Fault Zone, Corinth Gulf Fault System [43, 53]. Конформно направлению рассматриваемой зоны, с перерывом через акваторию Черного моря, располагается крупная региональная полоса нарушений по линии Сухуи–Нальчик, секущая Кавказ.

Особенности пространственной организации системы линеаментных зон ВСВ простираения

Устанавливается многопорядковая ритмичность в распределении разломов и разломных зон. “Шаг” между наиболее крупными структурами составляет 400–500 км (между Перикарпатской + Азово-Адриатической и Северо-Эгейской + Северо-Анатолийской полосами линеаментов). Ближайшими структурами такого же ранга являются Средне-Венгерский линеамент, отстоящий от Перикарпатской линии к северу на 450 км, и Южно-Критская полоса линеаментов, отстоящая к югу от Северо-Анатолийской зоны на 500 км. Следующий порядок чередования, слабее проявленный ~ 350 км (между Азово-Адриатической и Северо-Эгейской РЗ). Далее следует наиболее часто встречающийся “шаг” в 80–100 км между крупными надрегиональными разломными зонами протяженностью многие сотни километров. Затем, с периодичностью в 20–50 км чередуются субпараллельные региональные разломы длиной первые сотни километров. Еще меньший порядок отмечается уже, как правило, для локальных разломов и мезотополинеаментов. Эти данные хорошо коррелируются с результатами В. М. Анохина [2], который определил частоты чередования разноранговых линеаментов главных направлений планетарной разломной сети: 2–3 км, 5–10 км, 20–30 км, 50 км, 100 км, 200–300 км, 500 км. И. И. Чебаненко [30] отмечал такой же порядок чередования (500 км) крупнейших разломных зон СЗ ориентировки для Восточной Европы.

Важно отметить, что указанные зоны ВСВ ориентировки не ограничиваются в своем распространении регионом исследования. Они без изменения направления пересекают в ЗЮЗ направлении поперечные структуры Балканского полуострова (зоны Струма, Вардар, Динаро-Эллины и др.), хотя проявленность их здесь может быть значительно меньше, чем в Мизийско-Эгейско-Анатолийском сегменте. Так же они продолжаются и в ВСВ направлении через акваторию Черного моря и Северное Причерноморье. На своем протяжении они пересекают или являются граничными для различных по своему строению геоблоков, нередко испытывающих разнонаправленные вертикальные движения. В этом отношении, учитывая также протяженность во многие сотни и первые тысячи километров, они являются сквозными мегас-структурами надрегионального ранга.

Во внутренней организации разломных зон отмечается определенная закономерность. Легко убедиться, что каждая из них состоит из систем кулисных и зигзагообразно чередующихся линеаментов меньшего ранга, среди которых доминирует устойчивый парагенезис сопряженных северо-восточных, восток-северо-восточных и субширотных направлений. Сочетание этих трех основных на-

правлений образует ромбовидный структурный рисунок, ярко проявленный на всем простираении зон. Точно такое сочетание сопряженных направлений разломов было отмечено ранее А. Я. Краснощekom [19, 20] для акватории Азовского и западной части Черноморского бассейнов, а также нами [10] для Приазовского блока Украинского щита и равнинного Крыма. Все эти области входят в зону динамического влияния Атласо-Черноморского тектоно-линеаментного пояса ВСВ простираения, поэтому становится понятной для них однотипность структурного рисунка разломов.

Характерной чертой рассматриваемых тектоно-линеаментных зон, указывающей на особенности иницирующего поля напряжений, является приуроченность к ним структур-индикаторов режима растяжения — щелевидных трогов, линейных грабенов, амплитудных сбросов.

Общая согласованность пространственной (плановой), морфоструктурной и кинематической организации этих зон свидетельствуют о едином динамическом механизме формирования всей системы в целом.

Выводы

1. В статье показана чрезвычайно широкая распространённость ВСВ системы 60–75° региональных разломов на всей территории Балкано-Причерноморского сегмента Атласо-Черноморского тектонолинеаментного пояса. По отношению к последнему эта система является конформной или “продольной” и строго подчиняется его основному направлению. Характерна выдержанность распространения системы на огромной площади. Она относительно равномерно, в виде субпараллельных разноранговых разломов и разломных зон пронизывает всю ткань исследуемой территории, в том числе и “поперечные” складчато-орогенные и шовные зоны северо-западных и субмеридиональных румбов, например, Карпаты, Динаро-Эллины, зоны Струма, Вардар, Тейссейра-Торнквиста. Указанная система нарушений широко распространена также за пределами рассматриваемого Балкано-Черноморского региона. Среднее значение азимута этой системы составляет $68^{\circ} \pm 5^{\circ}$. Намечается слабо выраженное веерообразное изменение направлений разломов и разломных зон этой системы от 60–65° в Карпатах и Мизии до 70–75° в Северной Анатолии.

2. Основная фаза активизации данной системы соответствует неотектоническому этапу; инициация её началась значительно раньше, начиная, как минимум с раннего мезозоя.

3. Устанавливается многопорядковая ритмичность чередования разноранговых разломов и разломных зон данной системы (400–500, 350, 80–100, 20–50 км), соответствующая примерно такому же

порядку чередования для планетарной линейной сети (по В. М. Анохину [2]).

4. Структурно-геоморфологический анализ глобальных цифровых моделей радарного 3-d рельефа позволяет выделить в пределах Балкано-Черноморского региона систему трансрегиональных субпараллельных полосовидных тектонолинеamentных зон восток-северо-восточного простирания, чередующихся с шагом примерно 100 км: I — Южно-Карпатская, II — Перикарпатская, III — Азово-Адриатическая, IV — Балкано-Крымская, V — Северо-Греческая, VI — Северо-Эгейская, VII — Северо-Анатолийская. Каждая из них является сквозной структурой, сквозным мегатектонолинеamentом. Многие находят непосредственное продолжение в акватории Черного моря, в пределах его западного и северо-западного секторов, совпадая с выделенными здесь ранее А. Я. Краснощек [19, 20] главными зонами тектонических нарушений. Это говорит о единстве структурного плана суши и акватории и единстве регматогенного каркаса в целом для исследованной территории. Структурный план для континентальной части и акватории Черного моря в отношении разломов и разломных зон ВСВ ориентировки полностью согласуется.

5. Внутренняя организация ВСВ зон складывается из сочетания парагенетически тесно связанных между собой нарушений восток-северо-восточного, северо-восточного и субширотного направлений, вместе образующих ромбовидную структурную сеть, проявленную на разных иерархических уровнях.

6. Указанные полосовидные РЗ являются составными элементами более крупной структуры транссредиземноморского масштаба — Атласо-Черноморского тектонолинеamentного пояса.

7. Единство структурного рисунка сети линейных северо-восточных и субширотных румбов на всей территории предполагает и единство поля напряжений и динамического механизма их формирования, которые имеют надрегиональный ранг и, по всей вероятности, связаны с ротационным режимом оболочек Земли. Указанные линейные зоны являются индикаторами тектонической делимости литосферы, составной частью ее регматогенного каркаса и многогранной системы зон планетарной трещиноватости.

Литература

1. Азово-Адриатический мегалинеament — трансрегиональная зона сопряженных глубинных разломов юга Европы / И. Э. Ломакин [и др.] // Геология и полезные ископаемые Мирового океана. — 2018. — № 2. — С. 30–48.
2. Анохин В. М. Особенности строения планетарной линейной сети : автореф. дис. ... докт. геогр. наук / В. М. Анохин. — Санкт-Петербург, 2011. — 33 с.
3. Большая Советская энциклопедия. — [3-е издание]. — М.: Сов. энциклопедия. — Т. 14. — 1973. — 624 с.
4. Буш В. А. Трансконтинентальные линейные элементы и проблемы мобилизма / В. А. Буш // Геотектоника. — 1983. — № 4. — С. 14–25.
5. Верховцев В. Г. Новітні платформні геоструктури України та динаміка їх розвитку: автореф. дис. ... д-ра геол. наук: спец. 04.00.01 “Загальна та регіональна геологія” / В. Г. Верховцев — Київ, 2008. — 36 с.
6. Геологическое дешифрирование космических снимков Восточной части Средиземноморского пояса / С. Л. Вызова [и др.]. — М.: Недра, 1981. — 205 с.
7. Геолого-структурно-термоатомогеохімічне обґрунтування нафтогазоносності Азово-Чорноморської акваторії / Гожик П. Ф. [та ін.]. — К.: Логос, 2010. — 419 с.
8. Геофизические неоднородности литосферы мегавпадины Черного моря / В. И. Старостенко [и др.] // Геофизический журнал. — 2010. — № 5. — Т. 32. — С. 3–21.
9. Гинтов О. Б. Полевая тектонофизика и ее применение при изучении деформаций земной коры Украины / О. Б. Гинтов. — К.: Феникс, 2005. — 572 с.
10. Закономерности пространственной ориентировки тополинеamentных систем Северного Причерноморья / И. Э. Ломакин [и др.] // Геология и полезные ископаемые Мирового океана. — 2016. — № 4. — С. 53–66.
11. Занкевич Б. А. Унаследование структурных планов северо-западного шельфа Черного моря / Б. А. Занкевич, Н. В. Шафранская, Т. А. Мельниченко // Геология и полезные ископаемые Мирового океана. — 2009-а. — № 1. — С. 52–60.
12. Занкевич Б. А. Тектоническая позиция зоны газовых факелов северо-западной части Черного моря / Б. А. Занкевич, Н. В. Шафранская // Геология и полезные ископаемые Мирового океана. — 2009-б. — № 3. — С. 35–54.
13. Карта разрывных нарушений и основных зон линейных юго-запада СССР (с использованием материалов космической съемки), масштаб 1: 1 000 000 / редактор / Распопова М. Г. и др.; под ред. Н. А. Крылова. — Киев: Министерство геологии УССР, 1988.
14. Кац Я. Г. Линейная тектоника Альпийского горноскладчатого обрамления Восточно-Европейской платформы / Я. Г. Кац, А. И. Полетаев // Известия вузов. Геология и разведка. — 1983. — № 3. — С. 3–13.
15. Кац Я. Г. Основы линейной тектоники / Я. Г. Кац, А. И. Полетаев, Э. Ф. Румянцев. — М.: Недра, 1986. — 140 с.
16. К проблеме юго-западной границы Восточно-Европейской платформы / И. И. Чебаненко [и др.] // Геологический журнал. — 1989. — № 3. — С. 40–50.
17. Космическая информация в геологии / отв. ред.: В. Г. Трифонов, В. И. Макаров, Ю. Г. Сафонов, П. В. Флоренский. — М.: Наука, 1983. — 536 с.
18. Космотектоническая карта европейских стран — членов СЭВ и СФРЮ. М-б 1: 1 000 000 / гл. ред. Н. В. Межеловский. — СЭВ, 1987.
19. Краснощек А. Я. Пространственные особенности активизации глубинных разломов в западной части Черного моря / А. Я. Краснощек // Геологический журнал. — 1989. — № 1. — С. 84–88.
20. Краснощек А. Я. Системи розломів фундаменту і їх

- взаємозв'язок із структурами осадового чохла у межах Північного Причорномор'я / А. Я. Краснощок // Геологический журнал — 1976. — Т. 36. — Вип. 5. — С. 10–17.
21. Макаров В. И. Перекрестный структурный план земной коры и проблема проявления ее глубинных элементов на поверхности (на примере Тянь-Шаня и Туринской плиты) / В. И. Макаров, Л. И. Соловьева // Исследование природной среды космическими средствами. Геология и геоморфология. — М.: ВИНТИ, 1976. — Т. 5. — С. 18–42.
22. Макаров В. И. Предварительная карта линеаментов территории СССР // Известия высших учебных заведений. Геология и разведка. — 1978. — № 10. — С. 30–34.
23. Международная тектоническая карта Европы. М-б 1 : 5 000 000. Третье издание / [гл. ред. В. Е. Хаин, Ю. Г. Леонов]. — ЮНЕСКО, РАН, 1996.
24. Нафтогазоперспективні об'єкти України. Теоретичне і практичне обґрунтування пошуків нафти і газу в акваторіях України / Гожик П. Ф. [та ін.]. — К.: Вид. дім ЕКМО, 2010. — 200 с.
25. Полетаев А. И. Линеаментные системы горно-складчатого обрамления Туранской плиты / А. И. Полетаев, Э. Ф. Румянцева, Арк. В. Тевелев // Труды школы-семинара молодых ученых: Основные проблемы геологических наук. Черноголовка, Май 1981. — М.: МГУ, 1982. — Ч. II. — С. 26–69. — Деп. в ВИНТИ 12.01.83 № 201–83.
26. Рац М. В. Трещиноватость и свойства трещиноватых горных пород / М. В. Рац, С. Н. Чернышов. — М.: Недра, 1970. — 164 с.
27. Седлерова О. В. Геологічна інтерпретація результатів інтеграції даних багатоспектрального космічного знімання і геолого-геофізичних даних для прогнозування нафтогазоперспективних зон на регіональному рівні (на прикладі Північно-Західного шельфу Чорного моря) [Електронний ресурс] / О. В. Седлерова // Український журнал дистанційного зондування Землі. — № 7. — 2015. — С. 47–57. — Режим доступу к журналу: <http://ujrs.org.ua>. — Название с экрана.
28. Тектоника и история развития северо-западного шельфа Черного моря / Ю. Г. Моргунов [и др.]. — М.: Наука, 1981. — 244 с.
29. Тектонолинеаментные зоны восток-северо-восточно-го простирания и некоторые вопросы тектоники Средиземноморья / И. Э. Ломакин [и др.] // Геология и полезные ископаемые Мирового океана. ISSN 1999-7566. — 2017. — № 2. — С. 68–76.
30. Чебаненко И. И. Основные закономерности разломной тектоники земной коры и ее проблемы / И. И. Чебаненко // Тр. ИГН АН УССР. Сер. геотектоники. — К.: Изд-во АН УССР, 1963. — Вип. 12. — 155 с.
31. Чебаненко И. И. Розломна тектоніка України / І. І. Чебаненко. — К.: Наук. думка, 1966. — 180 с.
32. Чекунов А. В. Геологическое строение и история развития Причерноморского прогиба / А. В. Чекунов, А. А. Веселов, А. И. Гилькман. — Киев: Наукова думка, 1976. — 163 с.
33. Barka A. Active tectonics of the Eastern Mediterranean region deduced from GPS, neotectonic and seismicity data / A. Barka, R. Reilinger // Annali Di Geofisica. — Vol. 40. — 1997. — P. 587–610.
34. Bertotti G. Vertical movements in and around the south-east Carpathian foredeep: lithospheric memory and stress field control / G. Bertotti, L. Matenco, S. Cloetingh // Terra Nova. — Vol. 15. — 2003. — No. 5. — P. 299–305. — doi: 10.1046/j.1365-3121.2003.00499.x.
35. Boccaletti M. Landsat features in the Black Sea area: their tectonic significance / M. Boccaletti, R. Cassinis, P. Danielli, C. M. Marino, A. Tibaldi, A. Zanchi // Bolletino di Geofisica. Teorica ed Applicata “Monograph on the Black Sea”. — Trieste, 1988. — V. 30. — No. 117–118.
36. Deformation of western Greece during Neogene clockwise rotation and collision with Apulia / D. J. J. Van Hinsbergen [et al.] // Int. J. Earth Sci. (Geol. Rundsch.). — 2006. — 95. — P. 463–490. DOI 10.1007/s00531-005-0047-5.
37. Deformation pattern in the Western North Aegean Trough: preliminary results / D. Sakellariou [et al.] // Bulletin of the Geological Society of Greece. — Vol. L. — P. 124–133. — Proceedings of the 14th International Congress, Thessaloniki, May 2016.
38. Evolution and dynamics of the Cenozoic tectonics of the South Balkan extensional system / B. C. Burchfiel [et al.] // Geosphere. — 2008. — 4 (6). — P. 919–938. — doi:10.1130/GES00169.1.
39. Fielitz W. Late Miocene–Quaternary volcanism, tectonics and drainage system evolution in the East Carpathians, Romania / W. Fielitz, I. Seghedi // Tectonophysics. — 2005. — V. 410. — P. 111–136.
40. Generalized geophysical overview on Shkoder-Peje deep transversal fracture / A. Frashëri [et al.] // XX Congress of the Carpathian Balkan Geological Association. — Tirana, Albania, 24–26 september 2014. — P. 1–12.
41. GPS results for Macedonia and its importance for the tectonics of the Southern Balkan extensional regime / B. C. Burchfiel [et al.] // Tectonophysics. — 2006. — V. 413. — P. 239–248.
42. Kinematic evolution of the Romanian Carpathians / H.-G. Linzer [et al.] // Tectonophysics. — 1998. — V. 297. — P. 133–156.
43. Kiratzi A. A. Mechanisms of Earthquakes in Aegean / Published in “Encyclopedia of Earthquake Engineering”, Editors: M. Beer, I. A. Kougiumtzoglou, E. Au. Patelli. — I.S.-K., 2014. — 3966 p. in 4 volumes. — Springer, ISBN 978-3-642-35343-7. DOI: 10.1007/978-3-642-36197-5_299-1.
44. Koukouvelas I. K. Fault structure and related basins of the North Aegean Sea and its surroundings / I. K. Koukouvelas, A. Aydin // Tectonics. — 2002. — Vol. 21. — No. 5. — P. 1046. — doi:10.1029/2001TC901037.
45. Landsat features in the Black Sea area: their tectonic significance / M. Boccaletti [et al.] // Bolletino di Geofisica. Teorica ed Applicata “Monograph on the Black Sea”. — Trieste, 1988. — V. 30. — No. 117–118.
46. Major active faults of SW Bulgaria: implications of their geometry, kinematics and the regional active stress regime / M. D. Tranos [et al.] // From: Robertson, A. H. F. & Mountrakis, D. (eds) Tectonic Development of the Eastern

- Mediterranean Region. Geological Society, London, Special Publications, 260, 671–687. 0305-8719/06/\$15.00 © The Geological Society of London 2006.
47. Neotectonic and seismological data concerning major active faults, and the stress regimes of Northern Greece / D. Mountrakis [et al.] / From: Robertson, A. H. F. & Mount-rakis, D. (eds) Tectonic Development of the Eastern Mediterranean Region. Geological Society, London, Special Publications, 260, 649–670. © The Geological Society of London, 2006.
 48. Recent Movements of the Upper Crust due to Creep Deformation based on GPS measurements in W. Macedonia (NW Greece) / I. Fountoulis [et al.] // Eleventh general Assembly of the Wegener Project, Athens, Greece, 12–14 June 2002.
 49. Sboras S. The Greek Database of Seismogenic Sources: seismotectonic implications for North Greece / S. Sboras. — PhD Thesis. — University of Ferrara, 2012. — 252 p.
 50. Strong ground acceleration seismic hazard in Greece and neighboring regions / P. W. Burton [et al.] // Soil Dynamics and Earthquake Engineering. — 2003. — V. 23. — P. 159–181.
 51. The geometry of the North Anatolian transform fault in the Sea of Marmara and its temporal evolution: implications for the development of intracontinental transform faults / A. M. C. Sengör [et al.] // Can. J. Earth Sci. — V. 51. — 2014. — P. 222–242. — dx.doi.org/10.1139/cjes-2013-0160.
 52. The Greek Database of Seismogenic Sources (GreDaSS): state-of-the-art for northern Greece / R. Caputo [et al.] // Annals Of Geophysics. — 2012. — V. 55. — N. 5. — P. 859–894. — doi: 10.4401/ag-5168.
 53. The recent crustal deformation of the Hellenic orogen in Central Greece; the Kremasta and Sperchios Fault Systems and their relationship with the adjacent large structural features / A. A. Kiliyas [et al.] // Z. dt. Ges. Geowiss. — Stuttgart, September 2008. — 159/3. — P. 533–547.
 54. Tranos M. D. Faulting of Lemnos Island; a mirror of faulting of the North Aegean Trough (Northern Greece) // Tectonophysics. — Vol. 467. — Iss. 1–4. — 20 March 2009. — P. 72–88.
 55. Tranos M. D. Thessaliniki-Gerakarou Fault Zone (TGFZ): the western extension of the 1978 Thessloniki earthquake fault (Northern Greece) and seismic hazard assessment / M. D. Tranos, E. E. Papadimitriou, A. A. Kiliyas // J. Struct. Geol. — 2003. — V. 25. — P. 2109–2123.

ТЕКТОНОЛІНЕАМЕНТНІ ЗОНИ СХІД-ПІВНІЧНО-СХІДНОГО ПРОСТЯГАННЯ ЯК СКЛАДОВИЙ ЕЛЕМЕНТ РЕГМАТОГЕННОГО РОЗЛОМНОГО КАРКАСА БАЛКАНО-ЧОРНОМОРСЬКОГО РЕГІОНУ

В. В. Покалюк, І. Е. Ломакін, І. Н. Шураєв

Структурно-геоморфологічний аналіз глобальних цифрових моделей радарного 3-d рельєфу дозволяє виділити в межах Балкано-Чорноморського регіону систему субпаралельних трансрегіональних тектонолінеаментних полосовидних зон — наскрізних структур схід-північно-східного простягання, що чергуються з кроком приблизно 100 км і є найважливішим складовим елементом регматогенного розломного каркаса досліджуваної території: I — Південно-Карпатська, II — Перікарпатська, III — Азово-Адріатична, IV — Балкано-Кримська, V — Північно-Грецька, VI — Північно-Егейська, VII — Північно-Анатолійська. Вони без зміни напрямку перетинають геоблоки різної будови, віку, історії розвитку і продовжуються в акваторіях Чорного та Егейського морів. Загальна узгодженість їх просторової, морфоструктурної і кінематичної організації свідчить про єдиний динамічний механізм формування, пов'язаний, ймовірно, з загальнопланетарним ротаційним фактором.

Ключові слова: Балкано-Чорноморський регіон, тектонолінеamenti, SRTM, GEBCO, морфоструктури рельєфу, планетарна розломна мережа

TECTONOLINEAMENT ZONES OF EAST-NORTH-EAST TRENDING AS CONSTITUENT ELEMENT OF RHEGMATOGENIC FAULT NETWORK OF THE BALKAN—BLACK SEA REGION

V. V. Pokalyuk, I. E. Lomakin, I. N. Shuraev

Structural geomorphological analysis of large scale 3D digital radar models of seabed landscape topography has allowed us to reveal within the Balkan-Black Sea region a system of tectonically formed subparallel trans-regional linear slab-shaped zones. On the map they appeared as ENE-directed throughout stripes, distanced approximately 100 km from each other. These linear zones are significant components of the rhegmato-genic fault network of the examined area, as you can see on the map: I — South Carpathian, II — Peri-Carpathian, III — Azov Adriatic, IV — Balkan Crimean, V — North Greek, VI — North Aegean, VII — North Anatolian. Without interfering with intra-regional geological elements, they intersect a wide range of diverse types of geological blocks with different structure, age and origin, and expand into the seabeds of the Black and Aegean seas. The general consistency of their spatial, morphologic structural and kinematic organization confirms a uniform dynamic mechanism of their formation, likely connected to the planetary rotation-induced stress.

Key words: Balkan-Black Sea region, tectonic lineaments, SRTM, GEBCO, morphological topographic structures, planetary fault pattern

УДК 551.510

Передумови зменшення озонної діри у 2017 році

В. О. Кравченко¹, О. М. Євтушевський^{1*}, А. В. Грицай¹, Г. П. Міліневський^{1,2}, А. Р. Клекочук³¹ Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ, Україна² Національний антарктичний науковий центр, Київ, Україна³ Австралійська антарктична служба, Кінгстон, Австралія

Озонова діра над Антарктидою у весняні місяці вересень–листопад 2017 р. виявилася однією з найменших за час її існування. Аналіз щорічних передумов формування озонної діри, виконаний авторами раніше, визначив критерій для оцінки її можливого стану у наступний весняний сезон. Критерієм є амплітуда планетарних хвиль у стратосферній температурі, усереднена за серпень (останній місяць антарктичної зими). Динамічні збурення, спричинені планетарними хвилями у зимові місяці, дають значний внесок у варіації втрат озону навесні. Вже на кінець серпня 2017 р. було зроблено висновок про ймовірне ослаблення озонної діри в наступні місяці до приблизно третього найменшого значення її площі за останні два десятиліття. Супутникові спостереження підтвердили суттєве зменшення площі озонної діри та втрат стратосферного озону в південному полярному регіоні у 2017 р. Результати роботи є важливими не лише для прогнозування аномальних втрат озону у весняні місяці, а й для оцінок можливих змін у ультрафіолетовій радіації, яка досягає поверхні та впливає на екосистему морів та океанів у субантарктичній зоні.

Ключові слова: озонова діра, антарктична стратосфера, квазістаціонарні планетарні хвилі, температура

© В. О. Кравченко, О. М. Євтушевський, А. В. Грицай, Г. П. Міліневський, А. Р. Клекочук. 2018

Вступ

У роботі [15] вперше встановлено кількісну відповідність між зменшенням втрат озону в озонній дірі та зменшенням вмісту хлорфторвуглеців у нижній стратосфері в останнє десятиліття. За супутниковими вимірюваннями у мікрохвильовому діапазоні показано, що впродовж 2005–2016 рр. вміст хлору в антарктичній стратосфері знижувався на 0.8% за рік. Одночасно, міжрічні варіації та тренд вмісту озону відбувалися чітко у відповідь на зміни вмісту хлору: синхронне зменшення втрат озону та вмісту хлору у 2005–2010 рр., приблизно постійний найнижчий рівень обох показників у 2010–2013 рр. та деяке їх зростання (через динамічні чинники) після 2013 р. У дослідженнях, виконаних раніше, вже було виявлено повільне відновлення антарктичного озону з 2000-х років [1–4, 13], а моделі прогнозують зникнення озонної діри у другій половині 21-го століття [5, 6]. Результати [15] вважаються свідченням дії Монреальського протоколу 1987 р. про заборону використання озоноруйнуючих речовин, прийнятого через два роки після відкриття озонної діри [7].

На повільні довготривалі зміни вмісту стратосферного озону в залежності від концентрації хлористих сполук накладаються значні міжрічні варіації, які ускладнюють надійне встановлення довготривалих трендів. Такі варіації зазвичай спричинюються планетарними хвилями, інтенсивність яких впливає на температуру стратосфери та

швидкість каталітичних реакцій, задіяних у руйнуванні озону [4, 12, 14, 17]. На рис. 1 за даними НАСА (Ozone Hole Watch, показано міжрічні варіації площі озонної діри, усередненої за вересень, жовтень і листопад. Видно, що варіації площі діри (ПД) зростають з вересня до листопада, у відповідності з весняним зростанням хвильової активності у південній півкулі [11]. Жирна крива на рис. 1 показує усереднену тенденцію у змінах ПД (апроксимація поліномом 3-го степеня) з максимумом на початку 2000-х, що ілюструє цитовані вище дані про відновлення стратосферного озону над Антарктидою впродовж 2000-х та 2010-х [1–4, 13].

Крім регулярного щорічного впливу планетарних хвиль, на стані озонної діри можуть позначатися епізодичні вулканічні викиди, які потрапляють в нижню стратосферу. Вулканічні аерозолі знижують температуру стратосфери, сприяючи інтенсивному утворенню стратосферних хмар у зимові місяці та посиленому руйнуванню озону у весняні місяці. Такі процеси спостерігалися у 2015 р. після потужного виверження вулкану Кальбуко в Чилі [9, 16]. Озонова діра у жовтні та листопаді 2015 р. була найбільшою за весь час спостережень (рис. 1б та 1в). Це частково компенсувало загальний низхідний тренд ПД в останнє десятиліття, зокрема, у часовому ряді для жовтня (рис. 1б) та позначилося на зростанні втрат озону, як відзначено вище [15].

Серед трьох основних факторів впливу на озонний шар над Антарктидою (довготривалі наслідки змін вмісту хлорфторвуглеців, щорічні динамічні збурення планетарними хвилями та епізодичні ефекти вулканічних вивержень), хвильова ак-

*E-mail: o_evtush@ukr.net

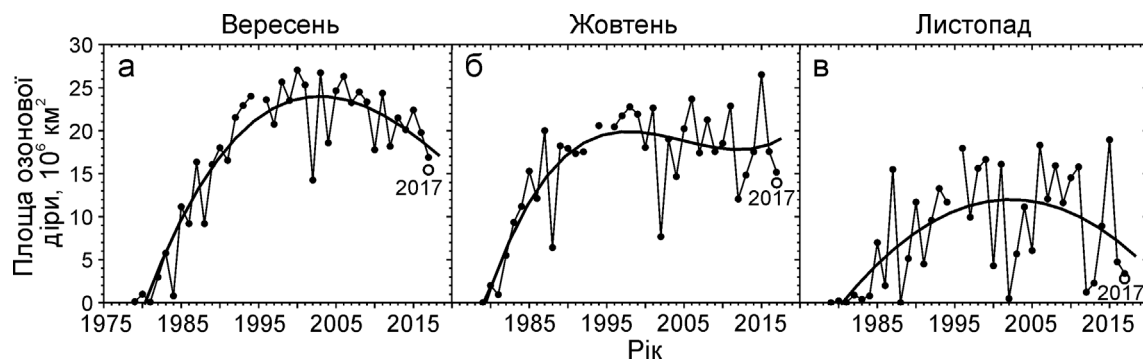


Рис. 1. Варіації площі озонної діри у весняні місяці за супутниковими вимірюваннями у 1979–2017 рр. (дані Ozone Hole Watch, Апроксимація часового ряду поліномом 3-го степеня показана жирною кривою. Білим кружком позначено прогнозоване значення площі діри у 2017 р.

тивність в атмосфері південної півкулі у зимові місяці може до певної міри слугувати індикатором результуючих сезонних змін в антарктичному озоні [12, 14]. Було показано, що енергія планетарних хвиль, які генеруються в тропосфері та розповсюджуються в стратосфері в середині зими, може бути предиктором стану озонної діри наступної весни [14]. За відомим хвильовим потоком у стратосфері в кінці зими та спостереженими за багато років співвідношеннями між атмосферною динамікою та хімічними процесами також можна оцінити рівень весняних втрат озону [12].

Грунтуючись на результатах [8, 10], у цій роботі ми аналізуємо співвідношення між амплітудою квазістаціонарних планетарних хвиль (КСХ) у температурі стратосфери над Антарктичним регіоном у серпні та площею озонної діри у вересні–листопаді. Амплітуда КСХ (КСХА) у серпні виявилася досить надійним прогнозним показником для антарктичного озону в наступні весняні місяці з коефіцієнтом кореляції до $r \sim 0.8$ [10, Fig. 4]. З рис. 1 видно, що ПД у 2017 р. була однією з найменших. Якщо не враховувати перше десятиліття швидкого збільшення озонної діри (до $\sim 20 \cdot 10^6 \text{ км}^2$ у вересні 1985–1995 рр., див. рис. 1а), то ПД у вересні–листопаді була 2-ю...4-ю серед найменших значень з 1990-х років.

Для визначення КСХА у серпні використано розподіл стратосферної температури на рівні тиску 50 гПа (T_{50}) на широтах 50°S – 80°S за даними реаналізу NCEP–NCAR. Рівень тиску 50 гПа розташований поблизу висоти максимальної концентрації озону в озонному шарі ($\sim 22 \text{ км}$), де втрати озону також максимальні [4]. Як і в [10], КСХА становить половину різниці між максимумом та мінімумом температури в її довготному розподілі на вибраному широтному колі. Дані про площу озонної діри, як зазначено вище, взято із сайту NASA (Ozone Hole Watch), а про географічний розподіл загального вмісту озону (ЗВО) у південній півкулі — за супутниковими спостереженнями Ozone Monitoring Instrument (OMI), наданими Європейським космічним агентством.

Співвідношення між амплітудою КСХ та площею озонної діри

На рис. 2 а показано меридіональні профілі КСХ у серпні у широтній зоні 50°S – 80°S . Найменшій площі озонної діри навесні 1988 та 2002 рр. [8, 17] передувала найвища амплітуда КСХ у серпні (пунктирна та суцільна тонкі криві, відповідно, на рис. 2а). У серпні 2017 р. амплітуда КСХ була приблизно вдвічі більшою за середню за період спостережень 1979–

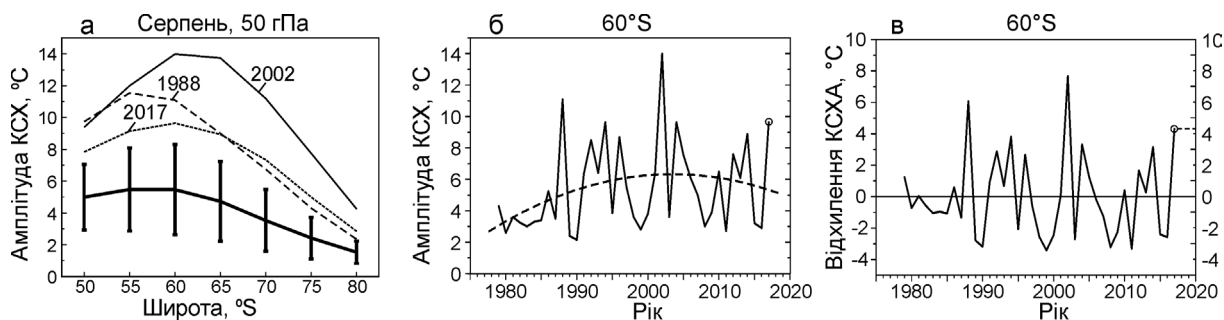


Рис. 2. а — Меридіональний профіль амплітуди КСХ у температурі повітря у серпні на рівні тиску 50 гПа (T_{50}), визначений за значеннями КСХ на широтах між 50°S та 80°S з кроком 5° . Показано 1988, 2002 і 2017 рр. з аномально малою площею озонної діри (тонкі криві) у порівнянні з середніми даними за 1979–2017 рр. (жирна крива з середньоквадратичними відхиленнями). б — часовий ряд амплітуди для широти 60°S , апроксимований поліномом 2-го степеня (пунктирна крива) та в — відхилення амплітуди (аномалії) після вилучення поліноміального тренду

2017 рр. (жирна крива) і близькою до 1988 р. (пунктирна крива). Вже на кінець серпня, напередодні сезону озonoвої діри, можна було припускати про ймовірне ослаблення озonoвої діри у вересні–листопаді 2017 р. За співвідношенням між меридіональними профілями на рис. 2 а, її площа могла зменшитися до 2-го...3-го найнижчого значення за останні десятиліття.

Вплив передумов, які склалися в антарктичній стратосфері в серпні 2017 р., на стан озonoвої діри у наступні місяці було визначено із статистичних оцінок. З кривої для 2017 р. видно, що максимум КСХА припадає широту 60°S (див. рис. 2 а). Використовуючи лінійну регресію, часовий ряд значень КСХА для цієї широти (рис. 2 б) було зіставлено з часовим рядом площі озonoвої діри ПД за 1979–2016 рр. З усіх рядів даних було вилучено поліноміальну апроксимацію, показану, наприклад, жирними кривими на рис. 1 та пунктирною кривою на рис. 2 б; а знетрендований ряд відхилень КСХА показано на рис. 2 в. Ця процедура була необхідною, враховуючи вплив трендів на визначення кореляційних зв'язків між варіаціями величин у часових рядах та на оцінки їх значущості. У регресійних співвідношеннях на рис. 3, таким чином, зіставлялися міжрічні варіації відхилень (аномалій) відносно усередненого тренду.

показника — амплітуди хвильових збурень у зональному розподілі стратосферної температури напередодні сезону озonoвої діри [10]. Це зумовлено незворотними змінами у температурі стратосфери (та, як наслідок, у розвитку хімічних реакцій, у яких відбувається руйнування молекул озону) завдяки енергії планетарних хвиль, внесених у полярну стратосферу [12, 14]. Підвищення температури знижує кількість озоноруйнуючих сполук [4, 12] і тому, знизившись у серпні, швидкість втрат озону у хімічних реакціях вже не може зрости в наступні місяці, коли відбувається систематичне сезонне нагрівання стратосфери сонячною радіацією та наростає хвильова активність [11].

На рис. 3 вказані коефіцієнти регресії та кореляції, які є статистично значущими на рівні довірчого інтервалу 95%. Найпомітніший відгук на аномалії КСХА у серпні спостерігаються у площі озonoвої діри у жовтні (рис. 3 б). Висока від'ємна кореляція $r \sim -0.7$ свідчить про досить надійний лінійний зв'язок між зростанням амплітуди КСХ та зменшенням ПД. Коефіцієнт регресії R визначає кількісну міру цього зв'язку — зменшення ПД у жовтні становить $\sim 1 \cdot 10^6 \text{ км}^2$ при зростанні КСХА у серпні на 1°C . У вересні й листопаді регресійний та кореляційний зв'язки дещо слабші (див. значення R та r на рис. 3 а та 3 в), проте є статистично значущими і результати

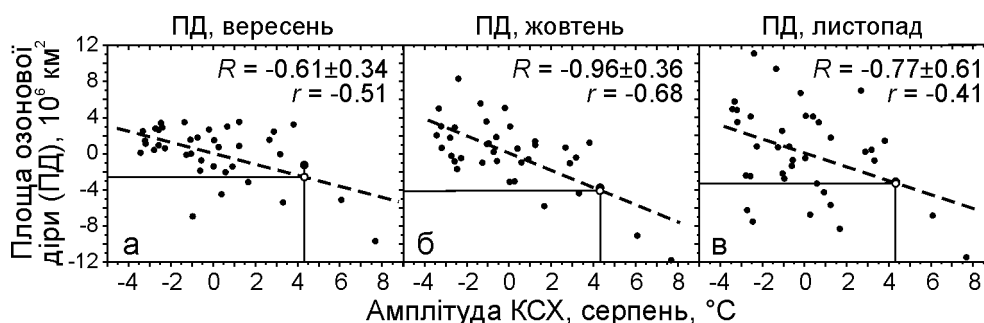


Рис. 3. Регресія між аномаліями амплітуди КСХ серпні та площі озonoвої діри ПД у вересні–листопаді. Вертикальна лінія відповідає аномалії КСХА у серпні 2017 р. та на перетині з регресійною прямою (кружок на пунктирній лінії) визначає ймовірне значення ПД

Лінійні регресії на рис. 3 використано для визначення можливої площі озonoвої діри у вересні–листопаді 2017 р. у відповідь на передумови, створені в антарктичній стратосфері підвищеною активністю КСХ у серпні. Аномалія КСХ у серпні 2017 р. становила 4.3°C (кружок на рис. 2 в). Ймовірні аномалії ПД можна визначити за допомогою регресійної лінії, показаної пунктиром на рис. 3: -2.7 , -4.1 та $-3.3 \cdot 10^6 \text{ км}^2$ у вересні, жовтні та листопаді, відповідно (білі кружки на рис. 3 а–3 в). Видно, що спостережені значення аномалій ПД близькі до прогнозованих за лінійною регресією. Відповідні значення площі озonoвої діри нанесено білими кружками на рис. 1.

Статистичні співвідношення свідчать про досить високий прогностичний потенціал використаного

для 2017 р. підтверджують їх надійність у прогнозуванні значних аномалій у сезонному розвитку озonoвої діри.

Роль серпневих аномалій КСХ у подальших змінах розмірів озonoвої діри якісно ілюструє рис. 4. Порівнюються зимовий та весняний сезони у 2015 та 2017 рр. з протилежними тенденціями в антарктичній стратосфері — інтенсивним охолодженням та нагріванням, відповідно. Для червня й липня (рис. 4 а, 4 б, 4 є та 4 ж) характерними є близькі рівні вмісту озону в межах 250–350 одиниць Добсона (ОД). Ці місяці є також і статистично близькими за середньою амплітудою КСХ та за відсутністю аномалій, характерних для серпня як індикаторів подальшої модифікації стану антарктичної стратосфе-

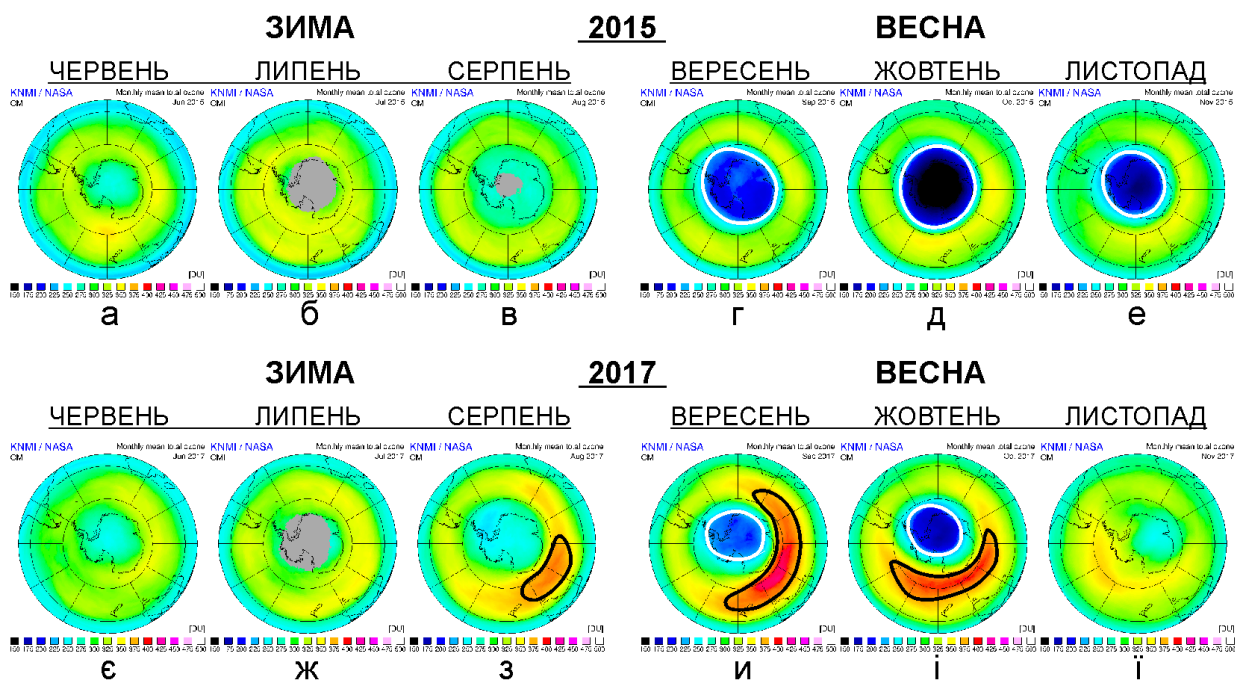


Рис. 4. Загальний вміст озону у південній півкулі у червні–листопаді 2015 р. (а – е) та 2017 р. (є–ї). Білий контур обмежує рівні ЗВО нижчі 220 ОД для озонної діри, а чорний — вищі 380 ОД для зонально асиметричного максимуму ЗВО. Дані супутникових спостережень Ozone Monitoring Instrument (OMI) Європейського космічного агентства (<https://www.temis.nl/protocols/O3global.html>).

ри [8, 10]. Помітною різниця між 2015 та 2017 рр. стає у серпні (рис. 4 в та 4 з). Зонально асиметрична аномалія ЗВО до 380 ОД виникає в австралійському секторі у серпні 2017 р. (контур на рис. 4 з), тоді як у серпні 2015 р. (рис. 4 в) поле ЗВО залишається мало-змінним у порівнянні з червнем та липнем. Ця відмінність відбилася в амплітуді КСХ, яка на широті 60°S була на рівні 3°C та 10°C у 2015 та 2017 рр., відповідно (див. рис. 2 б). Отже, у 2015 р. вплив вулканічних аерозолів (див. вступ) поєднувався з низькою активністю планетарних хвиль, що сприяло сильно-му охолодженню антарктичної стратосфери.

Різницю у збуреності атмосфери південної півкулі у серпні 2015 і 2017 рр. видно на рис. 5, де за даними реаналізу NCEP–NCAR порівнюється потік Ельяссена–Пальма (ЕП). Потік ЕП є мірою моменту, який передається планетарними хвилями із тропо-

сфери в стратосферу [12]. Інтенсивний потік ЕП спостерігався у серпні 2017 р. у нижній та середній стратосфері середніх та високих широт південної півкулі (рис. 5 б), сильно контрастуючи з низькою хвильовою активністю у серпні 2015 р. (рис. 5 а).

Це позначилося на утворенні великої озонної діри у вересні–листопаді 2015 р. (білий контур на рис. 4 г–е обмежує рівень 220 ОД, прийнятий для визначення площі озонної діри). Слід відзначити, що хоча значні втрати озону у 2015 р. спричинені вулканічними викидами [9, 16], вони могли бути ослабленими в разі підвищеної хвильової активності. Таке явище спостерігалось у 2017 р. (рис. 5 б) і саме у серпні були закладені передумови (див. рис. 4 з) наступного значного зменшення площі озонної діри у вересні та жовтні (білий контур на рис. 4 и та 4 і) та зникнення діри у листопаді (див. рис. 4 ї). Дія

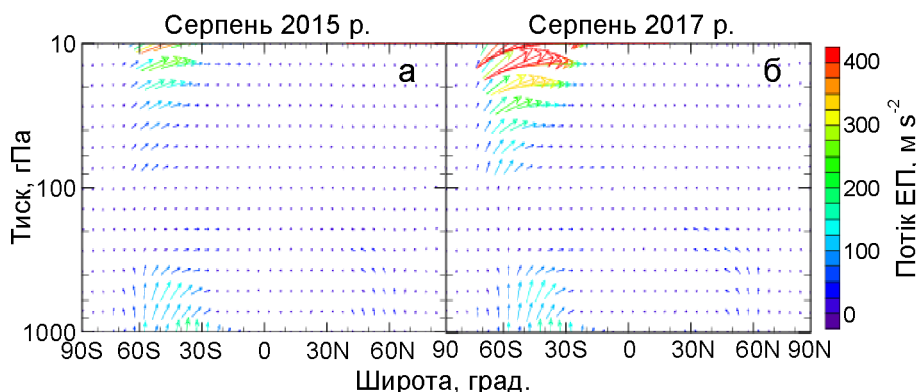


Рис. 5. Потік Ельяссена–Пальма у серпні 2015 та 2017 рр.

КСХ великої амплітуди у 2017 р. проявилася також у помітному зміщенні озонної діри відносно південного полюса (див. рис. 4 і та 4 і), тоді як у 2015 р. вона залишалася практично центрованою над полюсом (див. рис. 4 г–4 е).

Причини зростання амплітуди КСХ у серпні 2017 р. потребують окремого аналізу. Відзначимо, що тропічне явище Ель Ніньо перебувало у фазі, близькій до нейтральної, і не могло помітно змінити атмосферну циркуляцію у південній півкулі. Джерело збурень, ймовірно, виникло у басейні одного з океанів середніх чи високих південних широт, на що вказує широтне розташування посиленого потоку ЕП на рис. 5 б.

З наведених результатів видно, що запропонований критерій, який ґрунтується на визначенні амплітуди КСХ у розподілі стратосферної температури напередодні сезону озонної діри, дозволяє за 1–3 місяці передбачити можливу аномалію її площі. Це важливо не лише для прогнозування аномальних втрат озону у весняні місяці, а й для оцінок можливих змін в ультрафіолетовій радіації, яка досягає поверхні та впливає на екосистему морів та океанів у субантарктичній зоні.

Висновки

Озонна діра над Антарктидою у весняні місяці (вересень–листопад) 2017 р. формувалася під впливом передумов, пов'язаних з активізацією хвильових збурень в атмосфері південної півкулі в кінці зими (у серпні). Значне зменшення площі озонної діри було відгуком на зростання амплітуди квазістаціонарної складової планетарних хвиль в антарктичній стратосфері у серпні. Розроблена авторами методика оцінки ймовірної еволюції озонної діри дає статистично значущі результати і показала узгодженість із спостережними даними на прикладі стратосферних збурень у зимово–весняний сезон 2017 р. Визначення амплітуди квазістаціонарної хвилі у зональному розподілі стратосферної температури напередодні сезону озонної діри дозволяє за 1–3 місяці передбачити можливу аномалію її площі. Це важливо не лише для прогнозування аномальних втрат озону чи їх суттєвого зменшення, а й для оцінок можливих змін в ультрафіолетовій радіації, яка досягає поверхні та є фактором впливу на екосистему морів та океанів південного полярного регіону.

Література

1. Зміни в розподілі загального вмісту озону в атмосфері над Антарктикою [Електронний ресурс] / А. В. Грицай, Г. П. Міліневський, О. М. Євтушевський, А. Р. Клекочук // Український журнал дистанційного зондування Землі. — 2016. — № 10. — С. 1–14. — Режим доступу до журналу: <http://www.ujrs.org.ua> (07.07.18). — Назва з екрану.
2. Розподіл озону в Антарктиці за даними 30-літніх супутникових спостережень / А. В. Грицай, О. М. Євтушевський, Г. П. Міліневський, З. І. Грицай // Космічна наука і технологія. — 2010. — Т. 16. — № 1. — С. 20–27.
3. An assessment of changing ozone loss rates at South Pole: Twenty-five years of ozonesonde measurements / B. Hassler, J. S. Daniel, B. J. Johnson [et al.] // J. Geophys. Res. — 2011. — Vol. 116. — D22301, doi:10.1029/2011JD016353.
4. Emergence of healing in the Antarctic ozone layer / S. Solomon, D. J. Ivy, D. Kinnison [et al.] // Science. — 2016. — Vol. 252. — № 6296. — P. 269–274.
5. Estimates of ozone return dates from Chemistry-Climate Model Initiative simulations / S. S. Dhomse, D. Kinnison, M. P. Chipperfield [et al.] // Atmos. Chem. Phys. — 2018. — Vol. 18. — P. 8409–8438.
6. Evolution of Antarctic ozone in September–December predicted by CCMVal-2 model simulations for the 21st century / J. M. Siddaway, S. V. Petelina, D. J. Karoly [et al.] // Atmos. Chem. Phys. — 2013. — Vol. 13. — P. 4413–4427. — doi:10.5194/acp-13-4413-2013.
7. Farman J. C. Large losses of total ozone in Antarctica reveal seasonal ClO_x/NO_x interaction / J. C. Farman, B. G. Gardiner, J. D. Shanklin // Nature. — 1985. — Vol. 315. — P. 207–210.
8. Grytsai A. V. Anomalous quasi-stationary planetary waves over the Antarctic region in 1988 and 2002 / A. V. Grytsai, O. M. Evtushevsky, G. P. Milinevsky // Ann. Geophys. — 2008. — Vol. 26. — P. 1101–1108.
9. Observing the impact of Calbuco volcanic aerosols on South polar ozone depletion in 2015 / K. A. Stone, S. Solomon, D. E. Kinnison [et al.] // J. Geophys. Res. — 2017. — Vol. 122. — № 21. — <https://doi.org/10.1002/2017JD026987>.
10. Quasi-stationary planetary waves in late winter Antarctic stratosphere temperature as a possible indicator of spring total ozone / V. O. Kravchenko, O. M. Evtushevsky, A. V. Grytsai [et al.] // Atmos. Chem. Phys. — 2012. — Vol. 12. — P. 2865–2879.
11. Randel, W. J. The seasonal evolution of planetary waves in the southern hemisphere stratosphere and troposphere / W. J. Randel // Q. J. Roy. Meteor. Soc. — 1988. — Vol. 114. — P. 1385–1409.
12. Salby, M. Changes of the Antarctic ozone hole: Controlling mechanisms, seasonal predictability, and evolution / M. Salby, E. Titova, L. Deschamps // J. Geophys. Res. — 2012. — Vol. 117. — doi:10.1029/2011JD016285.
13. Salby, M. Rebound of Antarctic ozone / M. Salby, E. Titova, L. Deschamps // Geophys. Res. Lett. — 2011. — Vol. 38. — L09702, doi:10.1029/2011GL047266.
14. Shindell, D. T. Interannual variability of the Antarctic ozone hole in a GCM. Part I: The influence of tropospheric wave variability / D. T. Shindell, S. Wong, D. J. Rind // Atmos. Sci. — 1997. — Vol. 54. — P. 2308–2319.
15. Strahan, S. E. Decline in Antarctic ozone depletion and lower stratospheric chlorine determined from Aura Microwave Limb Sounder observations / S. E. Strahan, A. R. Douglass // Geophys. Res. Lett. — 2017. — Vol. 44. — <https://doi.org/10.1002/2017GL074830>.

16. The influence of the Calbuco eruption on the 2015 Antarctic ozone hole in a fully coupled chemistry-climate model / D. J. Ivy, S. Solomon, D. Kinnison [et al.] // *Geophys. Res. Lett.* — 2017. — Vol. 44. — <https://doi.org/10.1002/2016GL071925>.
17. Unusual stratospheric transport and mixing during the 2002 Antarctic winter / D. R. Allen, R. M. Bevilacqua, G. E. Nedoluha [et al.] // *Geophys. Res. Lett.* — 2003. — Vol. 30. — 1599, doi:10.1029/2003GL017117.

ПРЕДПОСЫЛКИ УМЕНЬШЕНИЯ ОЗОНОВОЙ ДЫРЫ В 2017 ГОДУ

В. А. Кравченко, А. М. Евтушевский, А. В. Грицай, Г. П. Милиневский, А. Р. Клекочук

Озоновая дыра над Антарктидой в весенние месяцы сентябрь–ноябрь 2017 г. оказалась одной из наименьших за время ее существования. Анализ ежегодных предпосылок формирования озоновой дыры, выполненный авторами ранее, определил критерий для оценки ее возможного состояния в следующий весенний сезон. Критерием является амплитуда планетарных волн в стратосферной температуре, усредненная за август (последний месяц антарктической зимы). Динамические возмущения, вызванные планетарными волнами в зимние месяцы, дают значительный вклад в вариации потерь озона весной. Уже к концу августа 2017 г. был сделан вывод о вероятном ослаблении озоновой дыры в последующие месяцы до примерно третьего наименьшего значения ее площади за последние два десятилетия. Спутниковые наблюдения подтвердили существенное уменьшение площади озоновой дыры и потерь стратосферного озона в южном полярном регионе в 2017 г. Результаты работы важны не только для прогнозирования аномальных потерь озона в весенние месяцы, но и для оценок возможных изменений в ультрафиолетовой радиации, достигающей поверхности и влияющей на экосистему морей и океанов в субантарктической зоне.

Ключевые слова: озоновая дыра, антарктическая стратосфера, квазистационарные планетарные волны, температура

PRECONDITIONS FOR THE OZONE HOLE DECREASE IN 2017

V. O. Kravchenko, O. M. Evtushevsky A. V. Grytsai, G. P. Milinevsky, A. R. Klekociuk

The Ozone Hole over Antarctica in the spring months of September–November 2017 was one of the smallest during the period of its existence. The analysis of the annual preconditions for the formation of the ozone hole, made by the authors earlier, determined the criterion for estimation of its possible state in the next spring season. The criterion is the amplitude of planetary waves in the stratospheric temperature averaged for August (last month of the Antarctic winter). Dynamical disturbances caused by planetary waves in the winter months make a significant contribution to the variations in ozone losses in the spring. Already in the late August 2017, a conclusion was made on the possible ozone hole weakening in the following months to about the third smallest value of its area in the past two decades. Satellite observations have confirmed a significant decrease in the ozone hole area and stratospheric ozone losses in the southern polar region in 2017. The results of the work are important not only for predicting anomalous ozone losses in the spring months, but also for estimations of possible changes in ultraviolet radiation that reaches the surface and influences the ecosystem of the seas and oceans in the subantarctic zone.

Key words: ozone hole, antarctic stratosphere, quasi-stationary planetary waves, temperature

ПРАВИЛА ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ ДЛЯ АВТОРІВ

Дані Правила складено на основі “Вимог ВАК до наукової статті, опублікованої у фаховому виданні” (<http://lib.exdat.com/docs/740/index-3150.html>) а також “Положення про електронні наукові фахові видання” (<http://vak.org.ua/fv/>).

Представлення рукописів. Рукописи надсилають до редакції в електронному вигляді за адресою: o.kudriashov@ujrs.org.ua. До рукопису додають акт експертизи установи де виконана робота, відомості про авторів (ім'я, по-батькові, прізвище, посада, науковий ступінь та вчене звання, повна офіційна назва установи, адреса, телефон та електронна адреса відповідального автора), а також “Авторську згоду” за підписом відповідального автора (скан у форматі JPEG або PDF) (Додаток).

Загальні вимоги. Стаття може бути написана українською, російською або англійською мовами і повинна мати резюме (abstract), а також ключові слова (keywords). Анотація повинна висвітлювати результати досліджень а не перелік питань, що розглядаються у статті. Рекомендується розбити матеріал статті на розділи (вступ, висновки і т. ін.). У кінці рукопису розміщують список використаних джерел, а після нього — назву статті, ініціали та прізвища авторів, резюме та ключові слова двома мовами, (російською та англійською, українською та англійською, українською та російською, відповідно до мови статті).

Оформлення рукопису. Формат документу — Word 2003–2007 (doc). Текст форматують *без переносів, абзацних відступів та інтервалів до та після рядка*. Формат графічних додатків — TIFF, розрізнення (фактичне!) 300 dpi/inch у форматі документа. Формат документу — A4.

Структура рукопису:

- УДК
- Назва статті
- Ініціали та прізвище автора (авторів)
- Повна офіційна назва установи (установ) де виконано роботу, місто, країна (якщо автори працюють у різних установах *перед* назвою установи та *після* прізвища автора ставлять однакову цифру (верхній індекс)
- Електронна адреса та/або тел./факс відповідального автора. Перед нею та після прізвища відповідального автора ставлять астериск (зірочку)
- Резюме мовою статті (слово “Резюме” не пишуть)
- Ключові слова мовою статті
- Знак авторського права, ініціали та прізвища авторів. Рік
- Текст статті
- Список літератури (“Література”)
- Назва статті, ініціали та прізвища авторів, резюме, а також ключові слова двома мовами окрім мови статті (мається на увазі, що йдеться про три мови: українську, російську та англійську)

Текст. Якщо Ви пишете українською мовою зверніть увагу на відмінювання прізвищ які закінчуються на приголосний або **о**. Адже жіночі прізвища не відмінюються, а чоловічі обов'язково відмінюються.

Формули набирайте у редакторі Microsoft Equation і не вставляйте їх у текст як зображення. Будь ласка, не користуйтеся програмою Math Type.

Таблиці. Треба всіляко прагнути аби таблиці мали книжну орієнтацію. Формат таблиць — MS Word.

Ілюстрації (знімки, діаграми, схеми) вмонтовують у документ Word і представляють їх *окремими файлами* у форматі TIFF. Розрізнення — 300 dpi/inch у масштабі публікації. Рисунки повинні мати умовні позначення, наприклад, у вигляді прямокутників з цифрою поруч. *Назву рисунка та пояснювальні надписи треба винести у текст.*

Література. Список літератури складають відповідно до ДСТУ ГОСТ 7.1:2006.

Посилання на літературне джерело подають у квадратних дужках. У дужках вказують порядковий номер роботи, яку включено у список джерел.

Список літератури складають за абеткою (алфавітом).

ДОДАТОК

Авторська згода

Автори, направляючи рукопис у редакцію Українського журналу дистанційного зондування Землі, погоджуються з тим, що редакції передаються права на захист і використання рукопису (журналу переданого до редакції матеріалу, в т. ч. такі охоронювані об'єкти авторського права як фотографії автора, рисунки, схеми, таблиці тощо), в тому числі на відтворення у пресі та мережі Інтернет, на поширення, на переклад рукопису на будь-які мови, експорту та імпорту примірників журналу зі статтею авторів з метою розповсюдження, на доведення до загального відома. Зазначені вище права автори передають редакції без обмеження терміну і на території всіх країн світу без обмеження в т. ч. на території України.

Автори гарантують наявність у них виняткових прав на використання переданого редакції матеріалу. Редакція не несе відповідальності перед третіми особами за порушення даних авторами гарантій. За Авторами залишається право використання їх опублікованого матеріалу, його фрагментів і частин в особистих, у тому числі наукових і освітніх цілях. Права на рукопис вважаються переданими Авторами редакції з моменту підписання до друку випуску журналу, в якому він публікується. Передрук матеріалів, опублікованих у журналі, іншими фізичними та юридичними особами можливий тільки зі згоди редакції, з обов'язковим зазначенням випуску журналу, в якому було опубліковано матеріал.

Я, (відповідальний автор), підтверджую, що я достатньою мірою брав участь у розробці концепції/дизайну цієї роботи, аналізі даних, а також написанні рукопису для прийняття відповідальності за це. Я ознайомлений з остаточним варіантом рукопису і затвердив його для публікації. Жодного рукопису з аналогічним змістом не було опубліковано під моїм авторством і не розглядається для публікації в інших виданнях. Я також ознайомлений з вищенаведеними умовами опублікування рукопису та приймаю їх.

Дата, підпис

ПРАВИЛА И РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ АВТОРОВ

Данные Правила составлены на основе “Требований ВАК Украины к научной статье, опубликованной в научном издании” (<http://lib.exdat.com/docs/740/index-3150.html>), а также “Положения об электронных научных изданиях” (<http://vak.org.ua/fv/>).

Редакция рассматривает и принимает материалы на украинском, русском и английском языках с соблюдением авторских прав и этических норм научной публикации.

Представление рукописей. Рукописи представляют в редакцию в электронном виде по адресу: o.kudriashov@ujrs.org.ua.

К рукописи прилагается акт экспертизы учреждения, где выполнена работа, сведения об авторах (учреждения, должности, научные степени и ученые звания), а также “Авторское соглашение” за подписью ответственного автора (скан в формате JPEG/PDF, см. Приложение).

Общие требования. Статья может быть написана на украинском, русском или английском языках и должна иметь резюме (abstract), а также ключевые слова (keywords). Аннотация должна содержать основные результаты исследований, а не перечень вопросов, рассмотренных в статье. Рекомендуется разбить материал статьи на разделы (введение, выводы и т. д.). В конце рукописи размещают список использованной литературы, а после него — название статьи, инициалы и фамилии авторов, резюме и ключевые слова на двух языках (русском и английском, украинском и английском, или на украинском и русском, соответственно языку, на котором написана статья).

Оформление рукописи. Формат документа — Word 2003–2007 (doc). Формат графических приложений — TIFF, разрешение — 300 dpi/inch. Размер страницы — A4. Текст форматируют *без переносов*,

абзацных отступов, выступов и интервалов до и после строки.

Структура рукописи

- УДК
 - Название статьи (желательно без аббревиатур)
 - Инициалы и фамилия автора (авторов)
 - Официальное название учреждения (учреждений) где выполнена работа, город, страна
- Если авторы работают в разных учреждениях, *перед* названием учреждения и *после* фамилии ставят одинаковую цифру (верхний индекс)
- Электронный адрес или тел/факс ответственного автора. Перед ним и после фамилии ставят астериск (звездочку)
 - Резюме на языке статьи (слово “Резюме” не пишут)
 - Ключевые слова на языке статьи
 - © (знак авторского права), инициалы и фамилии автора/авторов. Год
 - Текст статьи
 - Список литературы (“Литература”)
 - Название статьи, инициалы и фамилии авторов, резюме (abstract), а также ключевые слова на двух языках (русском и английском; русском и украинском, украинском и английском соответственно).

Таблицы, формулы. Формат таблиц в тексте — MS Word. Формулы следует набирать в редакторе *Microsoft Equation* и не вставлять их в текст в виде изображений.

Пожалуйста, не набирайте формулы в программе Math Type.

Иллюстрации. Иллюстрации (снимки, схемы, диаграммы) вмонтируют в документ Word и представляют *отдельными файлами* в формате TIFF с разрешением не меньшим 300 dpi/inch в масштабе публикации. Рисунки должны иметь условные зна-

ки — например в виде “кирпичиков” с цифрой справа. *Название рисунка и легенду нужно вынести в текст.*

Литература. Список литературы составляют в соответствии с ДСТУ ГОСТ 7.1:2006. Ссылки на ли-

тературный источник в тексте подают в квадратных скобках. Список литературы упорядочивают *по алфавиту*. В алфавитном порядке сначала идут источники на русском и украинском языках, а после — на иных языках — в порядке латинского алфавита.

ПРИЛОЖЕНИЕ

Авторское соглашение (документ должен быть подписан ответственным автором публикации)

Авторы, направляя рукопись в редакцию “Украинского журнала дистанционного зондирования Земли”, соглашаются с тем, что редакции передаются права на защиту и использование рукописи (переданного в редакцию журнала материала, в т. ч. такие охраняемые объекты авторского права как фотографии автора, рисунки, схемы, таблицы и т. д.), в том числе на воспроизведение в печати и в сети Интернет; на распространение; на перевод рукописи на любые языки; экспорта и импорта экземпляров журнала статьи авторов с целью распространения, на доведение до всеобщего сведения. Указанные выше права авторы передают редакции без ограничения срока их действия и на территории всех стран мира без ограничения, в т. ч. на территории Украины. Авторы гарантируют наличие у них исключительных прав на использование переданного редакции материала. Редакция не несет ответственности перед третьими лицами за нарушение данных авторами гарантий. За авторами сохраняется право использования опубликованного материала, его фрагментов и частей в личных, в том числе научных и образовательных целях. Права на рукопись считаются переданными авторами редакции с момента подписания в печать выпуска журнала, в котором он публикуется. Перепечатка материалов, опубликованных в журнале, другими физическими и юридическими лицами возможно только с согласия редакции, с обязательным указанием выпуска журнала, в котором был опубликован материал.

Я, (ответственный автор), подтверждаю, что я в достаточной степени участвовал в разработке концепции/дизайна этой работы, анализе данных, а также написании рукописи для принятия ответственности за это. Я ознакомлен с окончательным вариантом рукописи и утвердил его для публикации. Ни одна рукопись с аналогичным содержанием не была опубликована под моим авторством и не рассматривается для публикации в других изданиях. Я также ознакомлен с вышеуказанными условиями опубликования рукописи и принимаю их.

Дата, подпись

Адрес редакции: Украина, 01601, г. Киев, МСП, ул. Олесь Гончара, 55-Б, Редакция “Украинского журнала дистанционного зондирования Земли”. Тел.: + (38044) 486 9405, 484 04 85; факс: + (38044) 486 9405, 486 1430. www.ujrs.org.ua/ujrs, E-mail: info@ujrs.org.ua

2.16. Прогнозування нафтогазоносності у Чорному морі з використанням аерокосмічних методів

Висока вартість глибокого буріння при пошуках і розвідці нафтогазоперспективних об'єктів на морі обумовлює необхідність підвищення точності визначення їх положення. Вивчення обсягів вертикальної міграції нафти і газу має важливе значення для оцінки нафтогазоперспективності структур і може служити критерієм при виборі об'єктів для бурових робіт.

В результаті аналізу розподілу запасів в межах родовищ ВВ встановлено кореляційний зв'язок щільності запасів із зонами тектонічної напруженості і неотектонічної активності, зв'язок з їх вертикальною міграцією та стовбуватий характер покладів, а також обумовлених ними аномалій, за рахунок локального прояву міграції ВВ по зонах тектонічних порушень до дна і поверхні моря.

Активізація тектонічних рухів може посилювати міграцію з глибинних покладів ВВ по зонах підвищеної флюїдопровідності осадових відкладів, зокрема, по глибинних розломах. Аерокосмічні методи дозволяють оперативно і з відносно з невеликими витратами виявляти прояви процесів міграції ВВ на поверхню моря у вигляді плівок нафти або аномалій пониження температури (АПТ) поверхні моря у теплі сезони року. На морі ці аномалії пов'язані з виверженнями газу з дна моря і спливанням бульбашок газу з дна до поверхні моря. В процесі спливання бульбашок газу відбувається захоплення ними холодних придонних вод, що і призводить до пониження температур води поверхневого шару моря у теплий сезон року.

При вирішенні складної проблеми прогнозування нафтогазоносності площ Чорного моря важливу роль має комплексне використання космічних знімків, отриманих різними КА. Умови використання аерокосмічних методів на морі відрізняються від умов суходолу за рахунок двох основних чинників. Першим є вплив товщі морської води, яка являє собою додатковий шар, що відділяє геолога від глибинних структур, а другим чинником є вплив динамічних гідрологічних процесів, які можуть зносити ВВ при їх спливанні у товщі морської води і на поверхні моря. Враховуючи періодичність пульсаційних процесів вертикальної міграції ВВ, для підвищення надійності прогнозування нафтогазоносності потрібно здійснювати супутниковий моніторинг морської поверхні.

2.16.1. Зміст супутникової технології прогнозування покладів нафти і газу на морі

Комплексне вивчення процесів міграції ВВ у Чорному морі базується на використанні гідроакустичного, сейсмоакустичного і аерокосмічних методів. В результаті досліджень встановлено, що процеси міграції ВВ в даному регіоні проявляються у вигляді

ореолів вторгнення флюїдів у придонні відклади (на глибинах до 20–30 м нижче дна моря), а також виділень газу і нафти з дна моря.

Прогноз покладів ВВ базується на супутниковому моніторингу поверхні моря у тепловому і радіохвильовому діапазонах, що дозволяє відбирати знімки з найкращими метеорологічними і гідродинамічними умовами під час зйомок.

У тепловому діапазоні виявляють аномалії пониження температур поверхні моря за рахунок виносу холодних придонних вод газами, які мігрують з глибинних покладів. За умов малих за обсягами виділень ВВ використовують накопичення супутникових зображень з врахуванням зносу ВВ течіями у товщі моря [255–257].

Прогноз покладів нафти оснований на виявленні сліків на радіохвильових зображеннях, що утворюються за рахунок плівок природної нафти на поверхні моря. Врахування зносу нафти у морській товщі проводять з врахуванням тривимірної моделі течій [255–257].

Технологія прогнозу ВВ на морі повинна включати такі основні етапи робіт:

- аналіз апіорної геолого-геофізичної інформації;
- аналіз метеорологічної і гідрологічної ситуації і відбір на цій основі супутникових зображень;
- обробка та і накопичення супутникових зображень, зареєстрованих у тепловому діапазоні з врахуванням зносу течіями у шарах морської товщі при спливанні ВВ;
- побудова інтегрованих карт геологічних структур і супутникових аномалій у тепловому діапазоні;
- виявлення сліків на радіохвильових зображеннях і виносу їх на інтегровану карту геологічних структур і супутникових аномалій;
- комплексна інтерпретація супутникових аномалій з використанням результатів попередніх геолого-геофізичних робіт та прогноз положення покладів нафти і газу.

З метою визначення спектральних діапазонів хвиль для виявлення плівок природної нафти на поверхні моря за допомогою супутникових зйомок було проведено дослідження в районі гідрографічної платформи в районі смт. Кацивелі (Крим) та на моделях, для чого був використаний спектро радіометр FieldSpec3FR [64,73]. За його допомогою вимірювались спектральні коефіцієнти відбиття плівок. З рис. 2.97 видно, що за рахунок відбиття сонячного випромінювання від поверхні моря з вилитим на неї бензином на графіку спектрального розподілу значень коефіцієнта відбиття плівки виділяється екстремум у діапазоні електромагнітних хвиль 1 380...1 420 нм.

Подібні дослідження було здійснено в умовах лабораторії по вимірам спектральних характеристик поверхні солоної води з вилитою на неї природною

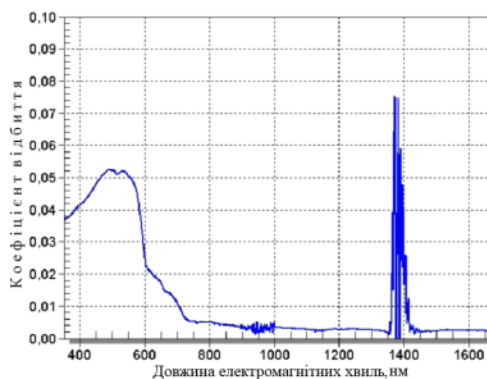


Рис. 2.97. Спектральний коефіцієнт відбиття сонячного випромінювання від поверхні моря з вилитим на неї бензином

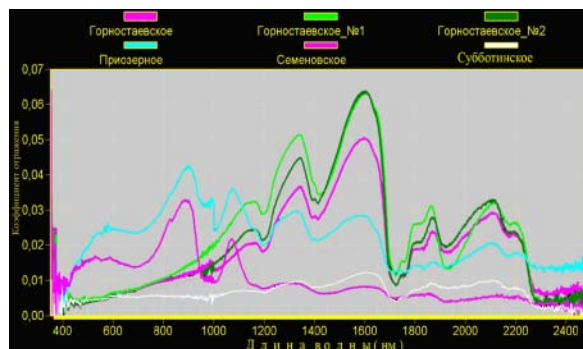


Рис. 2.98. Спектральні характеристики плівок нафти з родовищ Субботинське, Горностаївське-1, Горностаївське-2, Семенівське і Приозерне

нафтою. Зразки нафти для моделювання в лабораторних умовах були попередньо відібрані на морському родовищі (структура Субботіна) та на ряді нафтових родовищ Керченського півострова (Горностаївське, Приозерне, Семенівське та ін.).

При дослідженнях впливу товщини плівки нафти й типу нафти на відбиття геометрія спостережень і освітлення зберігалася постійною. Товщина плівки нафти визначалася за даними вимірів діаметра сліку і загального об'єму нафти в сліку. Для того, щоб одержати більш товсті плівки, використовувалась менша склянка. Значення спектрального коефіцієнту відбиття від плівок сирової нафти отримані зі спектральною розрізненністю 1 нм у діапазоні довжин хвиль 350–2500 нм (рис. 2.98).

З рис. 2.98 видно, що графіки спектральних розподілів для різних плівок відрізняються між собою, що пов'язано із різною щільністю зразків нафти і різними розмірами плівок. Слід відзначити, що чітко виражені екстремуми спостерігаються на спектральних характеристиках зразків нафти, відібраних з родовищ Горностаївське і Горностаївське-1. Проведене моделювання показало, що найбільш доцільним для виявлення плівок нафти високої щільності за допомогою супутникових зйомок є спектральний діапазон від 1 200 до 1 650 нм*.

2.16.2. Особливості виділення метану з дна моря на Північно-Західному шельфі Чорного моря

У даному пункті наведено результати дослідження геологічної природи макропросочувань метану у північно-західній частині Чорного моря на основі співставлення їх положення відносно нафтогазоперспективних структур та аналізу сейсмічної інформації. Зв'язок положення ділянки макропросочувань метану з перетином двох глибинних розломів свідчить про глибинну природу метану. Аналіз рядів су-

путникових знімків після їх оброблення і аналізу свідчить про епізодичні прояви макропросочувань метану у вигляді аномалій на супутникових зображеннях.

Відомо [258–267], що макропросочування метану з дна моря є важливим пошуковим критерієм для виявлення скупчень ВВ. Локальні макропросочування метану (сипи) з дна моря виявлено в багатьох регіонах Світового океану і сьогодні можна стверджувати, що це явище носить глобальний характер.

У Чорному морі виділення метану виявлені за допомогою гідроакустичних методів у різних регіонах — у північно-західній його частині (біля берегів Болгарії та України), на південь від Кримського півострова (западина Сорокіна), у північно-східній частині Чорного моря, у південно-східній частині Чорного моря (континентальний схил його Кавказького узбережжя).

Макропросочування метану з дна моря. В останні десятиріччя у шельфових зонах і на континентальних окраїнах виявлено виділення бульбашок газу з дна моря у ряді регіонів Землі. Серед них, зокрема, басейн *Guayamas* (Merewether, 1985), Мексиканська затока (Macdonald, 2002), хребет *Blake* (Paull, 1995), континентальний схил Сахаліну в Охотському морі (Salyuk, 2002) [64, 73].

Значні обсяги досліджень по виділенням метану з дна моря виконані у Чорному морі. Серед цих досліджень слід відзначити роботи Інституту біології південних морів НАН України (В. М. Єгоров, Ю. Г. Артемов, С. Б. Гулін та ін.) [258–260], Відділення морської геології та осадового рудоутворення НАН України (Є. Ф. Шнюков та ін.) [261–263] та інших організацій НАН України. Системи акустичного зондування на частотах 12.5 і 18 кГц підтвердили корисність їх застосування для відображення потоків бульбашок газу при виявленні й вивченні місць виходу (Suess, 2001; Torres, 2002) потоків метану з дна моря.

Для виявлення макропросочувань за матеріалами

* Експериментальні спектрометричні дослідження С. С. Дугіна

супутникових знімків важливе значення має досягнення потоку бульбашок метану верхніх шарів морської товщі. На збереження потоку бульбашок газу при їх спливанні з дна до поверхні моря впливає ряд факторів.

Факели бульбашок газу утворюються на глибинах дна моря від 2 500 м і можуть іноді підніматися на висоту до 900 м від дна моря (Merewether, 1985). Мінімальна глибина моря, на якій зникають бульбашки газу, погано визначається. Відомо тільки, що в деяких випадках факели газу досягають поверхні моря. Вивчаючи зв'язок між розміром бульбашок газу і глибиною їх спливання, Merewether прийшов до висновку, що пухирці метану при спливанні у товщі моря захищені плівкою нафти або газогідрату метану. За результатами досліджень у Мексиканській затоці Macdonald показав, що покриття газогідрату відділяється, коли пухирці виходять із зони стабільності газогідратів, а покриття нафти захищає бульбашки газу від розкладання, поки вони не досягнуть поверхні моря.

Tryon (2002), Heesch and Collier (2002) встановили, що на інтенсивність виділень газу можуть впливати численні фактори. Зміни в інтенсивності виділень газу з дна моря можуть бути пояснені часовими змінами в газовому викиді в атмосферу, який іноді слабшає або навіть зникає при високому припливі (Torres, 2002).

Для оцінювання геологічної природи макропросочувань метану у даній роботі виконано співстав-

лення їх положення відносно нафтогазоперспективних геологічних структур у північно-західній частині Чорного моря, які вивчалися за допомогою різних геофізичних методів і даних глибокого буріння. Буде показано, що найбільша за розмірами і кількістю макропросочувань метану у північно-західній частині Чорного моря пов'язана з ділянкою перетину двох зон глибинних розломів.

Для більш детального аналізу геологічної природи макропросочувань використано карту нафтогазогеологічного районування Північно-Західного шельфу Чорного моря з позицій розломно-блокової тектоніки за [264] та результати детальних акустичних досліджень.

Геологічна природа просочувань метану в межах Північно-Західного шельфу Чорного моря. На рис. 2.99 наведено інтегровану карту нафтогазогеологічного районування Північно-Західного шельфу Чорного моря з позицій розломно-блокової тектоніки за [264] із доповненнями авторів даної роботи. На цій карті авторами роботи [264] в умовних позначеннях у лівому нижньому куті показано: червоним кольором відображені розломні зони (1), межі нафтогазоносних провінцій (НПП) (2), нафтогазоносних та перспективних районів (3), щільність потенційних ресурсів (тис.м³ на 1 км²): 20–30, 10–20, 5–10, <5 та малоперспективні підписана у межах відповідних районів. На карті наведено лінії ізобат (5), положення зон, перспективних для пошуків ВВ

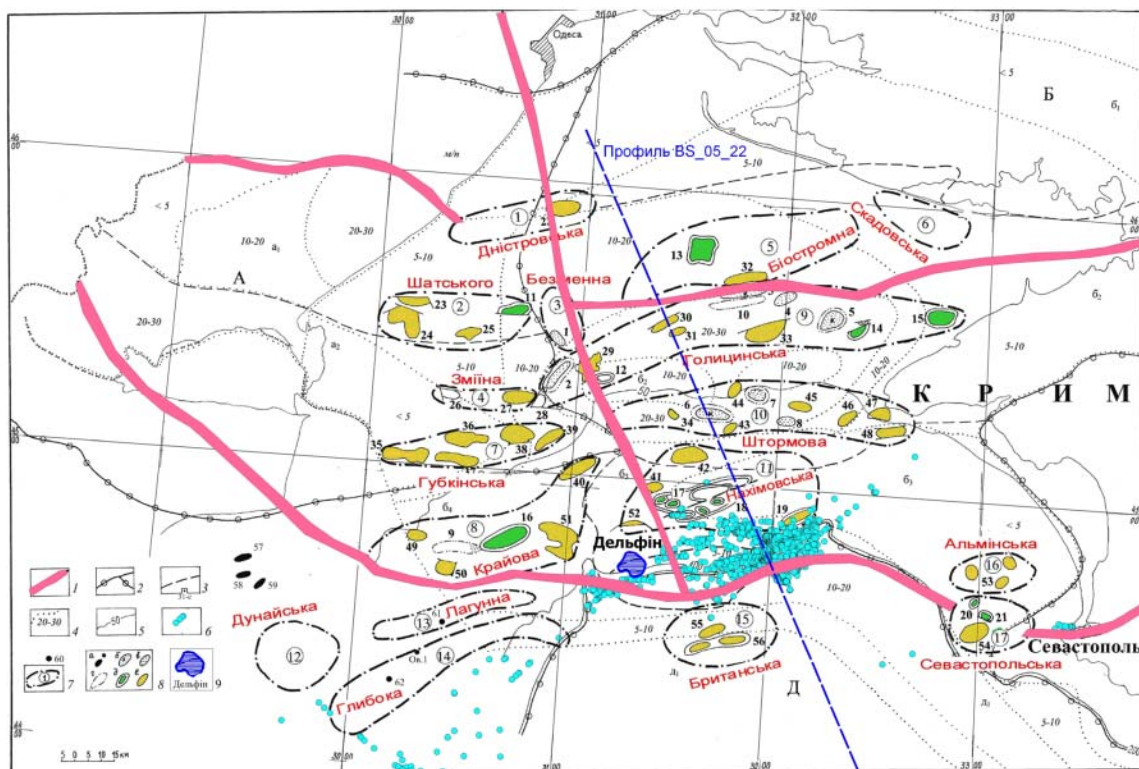


Рис. 2.99. Інтегрована карта нафтогазогеологічного районування Північно-Західного шельфу Чорного моря [268], положення макропросочувань метану за [267] та профіля BS 05-22 [269] з позицій розломно-блокової тектоніки за [264] із доповненнями авторів даної роботи

(7), назви яких підписано червоним кольором, родовища:

А — вуглеводнів Румунії (57–62);

б — газоконденсатні родовища (3 — Голіцинське, 5 — Шмідтівське, 6 — Штормове);

в — газові родовища (1 — Безіменне, 2 — Одеське, 4 — Південно-Голіцинське, 7 — Архангельське, 8 — Кримське, 9 — Олімпійське);

г — об'єкти та родовища у бурінні (1 — Безіменне, 2 — Одеське, 5 — родовище Шмідта, 6 — Штормове, 7 — Архангельське, 9 — Олімпійська, 10 — структура Гордієвича);

д — об'єкти (структури), підготовлені до буріння (11 — Сундучна, 12 — Осетрова, 13 — Біостромна, 14 — Східношмідта, 15 — Міжводненська, 16 — Крайова, 17 — Нахімова, 18 — Корніловська, 19 — Каламітська, 20 — Форум, 21 — Вікторія). Назви цих структур підписані червоним кольором.

е — виявлені перспективні об'єкти (22 — Дністровська зона, 23 — Сейсмічна, 24 — Медуза, 25 — Шатського, 26 — Янтарна, 27 — Катран, 28 — Кутова, 29 — Рифтова, 30 — Бортова (Чарівна), 31 — Мирна, 32 — Північно-Голіцинська, 33 — Бортова, 34 — Понтійська, 35 — Губкінська, 36 — Губкінська Центральна, 37 — Губкінська Південна, 38 — Губкінська Східна, 39 — Н-58, 40 — Зональна, 41 — Альбатрос, 42 — Сельського, 43 — Дипломна, 44 — Миколаївська, 45 — Прибійна, 46 — Мартівське, 47 — Західнокрейдяна, 48 — Тарханкутська, 49 — Мушкетова, 50 — Нептун, 51 — Комсомольська, 52 — Н-53, 53 — Альмінська, 54 — Севастопольська, 55 — Британська-2, 56 — Британська-1). Контури виявлених перспективних об'єктів залито жовтим кольором.

На карту (рис. 2.99) авторами також винесено положення макропросочувань метану (б), положення сейсмічного профіля BS 05-22, відпрацьованого за проектом BS 05, і положення структури Дельфін. На рис. 2.100 наведено часовий і сейсмологічний розрізи по цьому профілю, а також умовні позначення для них у правому нижньому куті цього рисунку. У нижньому лівому куті рисунку чорним кольором також показано карту з положенням профіля BS 05-22.

З рис. 2.100 видно, що положення ділянки потужних макропросочувань метану з дна моря контролюється двома глибинними розломами. Один з них — Одеський субмеридіональний розлом, другий — субширотний глибинний розлом, обмежує розвиток ділянки виділень метану на південь. Видно, що ділянка макропросочувань метану знаходиться у перехідній зоні від шельфу до континентального схилу.

За прогнозом авторів роботи [267], Нахімовська зона (див. рис. 2.99), яку з заходу і з півдня обмежують глибинні розломи, має низьку щільність потенційних ресурсів (5–10). В межах цієї зони знаходиться ділянка макропросочувань. Низька перспективність Нахімовської зони підтвердилась за результатами буріння на структурі Дельфін, яка виявилася неперспективною. З сейсмічного розрізу,

представленого на рис. 2.100, видно, що до зони макропросочувань метану прилягає Каламітський вал, в межах якого спостерігається досить сітка глибинних розломів, які мають падіння з півночі на південь у бік зростання глибини моря. Ще один важливий факт — зменшена потужність осадової товщі, яка складена четвертинними, верхньоміоценовими, олігоценними (середньоміоценовими) відкладами.

У той же час в межах цієї зони знаходиться ділянка потужного макропросочування метану. Макропросочування метану на цій ділянці північно-західного шельфу Чорного моря виявлені за допомогою гідроакустичних методів під час експедиційних досліджень у 2004 році [267]. Ділянка макропросочувань знаходиться в перехідній зоні між шельфом і континентальним схилом в межах палеодельти Дніпра на глибинах моря 66–825 м.

У 2003–2004 роках були проведені детальні сейсмічні і детальні гідроакустичні дослідження водної товщі, для вивчення зв'язку між просторовим розподілом виділень метану, морфологією дна моря і глибинними структурами. Було виявлено 2 778 нових виділень метану на записах ехолотування на площі 1 540 км². У 2005 році А. Ю. Леїн виявив, що головним компонентом газу, що виділяється на цій ділянці з дна моря, є метан (до 80%), а обсяг потоку метану становить 212 л / м² за добу.

Можна погодитись з авторами роботи [267], що макропросочування метану на цій ділянці підживлюються з покладу газогідратів метану, який знаходиться у осадових відкладах під дном моря. На нашу думку, зв'язок ділянки макропросочування метану з перетином глибинних розломів свідчить про більшу вірогідність глибинного походження метану в цьому районі моря.

Прояви макропросочувань метану з дна моря на космічних знімках. При певних обсягах макропросочування метану з дна моря можуть проявлятися на космічних знімках у теплий сезон року у вигляді аномалій пониження температури (АПТ) поверхні моря і аномалій хмарності. Останні можуть утворюватися за рахунок виносу бульбашками газу придонних холодних вод до поверхневого шару моря. Цей процес, який називають газліфтингом [64], є передумовою для використання аерокосмічних методів для виявлення потужних виділень метану з дна моря. При виявленні АПТ найбільше використовувались матеріали архівних зйомок у тепловому діапазоні метеорологічного супутника NOAA.

Оброблення космічних знімків (географічна прив'язка, перегляд знімків, побудова спектральних профілів, візуалізація зображень тощо) виконувалось за допомогою прикладного програмного забезпечення (ENVI, ERDAS Imagine, MapInfo Professional та ін.). Програма MapInfo Professional використовувалась при винесенні контурів виявлених супутникових аномалій на геологічну, тектонічну чи іншу карту для визначення їх положення відносно відомих нафтогазоперспективних структур.

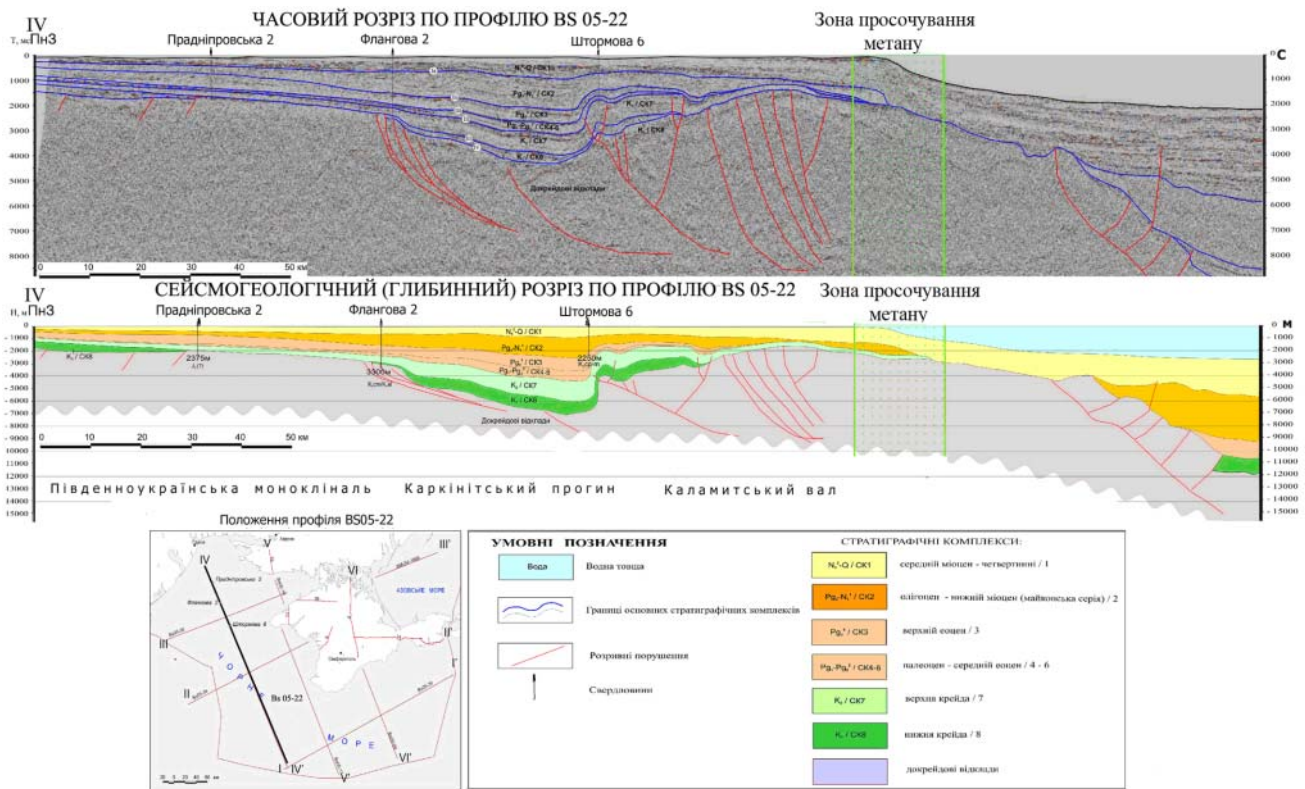


Рис. 2.100. Фрагменти часового і сейсмологічного розрізів по профілю BS05-22 [261], на яких показано положення зони макросочування метану

тур, розломів, покладів ВВ та інших геологічних об'єктів. На заключному етапі проводилась геологічна інтерпретація отриманих даних і встановлення положення АПТ відносно відомих нафтогазоперспективних структур.

Враховуючи ефект підвищення обсягів макросочування метану під час сейсмічної активності у регіоні, було проведено пошук супутникових знімків, починаючи з початку січня 2000 року. В цей період часу функціонували метеорологічні супутники AQUA і TERRA, на яких було встановлено сенсор MODIS. Було виявлено аномалію хмарності, зареєстровану сенсором MODIS 3 березня 2000 року о 9:20 (рис. 2.101). Координати центру цієї аномалії становлять 32° 11' сх. д. та 45° 25' пн. ш.

На рис. 2.101 чітко виділяється аномалія хмарності (показана у червоному квадраті), положення якої співпадає з ділянкою масових виділень метану, показаних на рис. 2.100. Виявлена аномалія має більш-менш чіткі контури та фіксується на більшості спектральних діапазонів. При винесенні контурів аномалії на геологічну карту з виділеннями метану з дна Чорного моря (рис. 2.99) видно, що переважна частина виділень розташована в межах зафіксованої аномалії в районі дельти палеорусла Дніпра.

На рис. 2.102 наведено результати оброблення знімку за допомогою програми ENVI. На рис. 2.102 А представлено зображення, зареєстроване у 5-му спектральному каналі: (ближній інфрачервоний діапазон),

довжина хвилі: 1 230...1 250 нм; просторове розрізнення 500 м. На фрагменті знімку у вікні А показано аномалію хмарності (виділено прямокутником), а графіки у вікнах Б, В і Г відображають кількісне співвідношення яскравості на ділянці аномалії та за її межами.

Аналіз часових рядів космічних знімків свідчить про те, що прояви макросочування метану з дна Чорного моря реєструються епізодично, що, очевидно, пов'язано із зміною температури придонного шару води за рахунок теплих течій, що призводить до порушення стабільності газогідратів, які залягають нижче дна моря, і викликає виверження метану у водну товщу [267]. Автори приділяють значну увагу аналізу впливу покладів газогідратів на розподіл макросочування метану у цьому районі Північно-Західного шельфу Чорного моря. Ці дослідження базуються на детальних сейсмічних і гідроакустичних даних, отриманих під час експедицій в травні-червні 2003 року і у 2004 році в межах проекту "Крим" [267]. Границя глибини для 99,5% виявлених макросочування метану збігається з фазовою межею чистого газогідрату метану на глибині води 725 м. Важливо також, що газогідрати відіграють роль покрівлі, яка перешкоджає значним обсягам вертикальної міграції метану у вигляді бульбашок газу з дна у морську товщу.

Наші дослідження по виявленню аномалій АПТ за допомогою знімків з КА NOAA, зареєстрованих на протязі 1999–2001 років у північно-західній частині

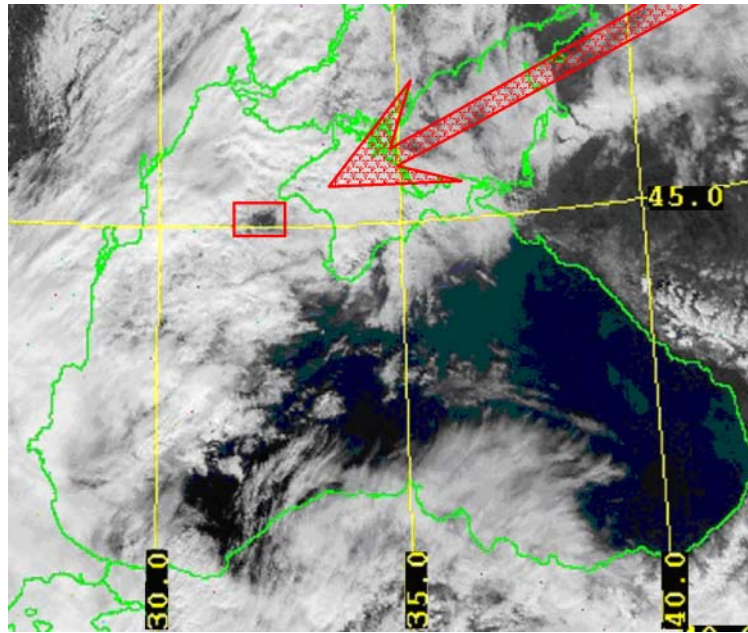


Рис. 2.101. Аномалія хмарності, виявлена за матеріалами супутникових зйомок сенсором MODIS над ділянкою макропросочувань метану на ділянці дельти Палеодніпра (зйомка 3 березня 2000 р. о 9:20)

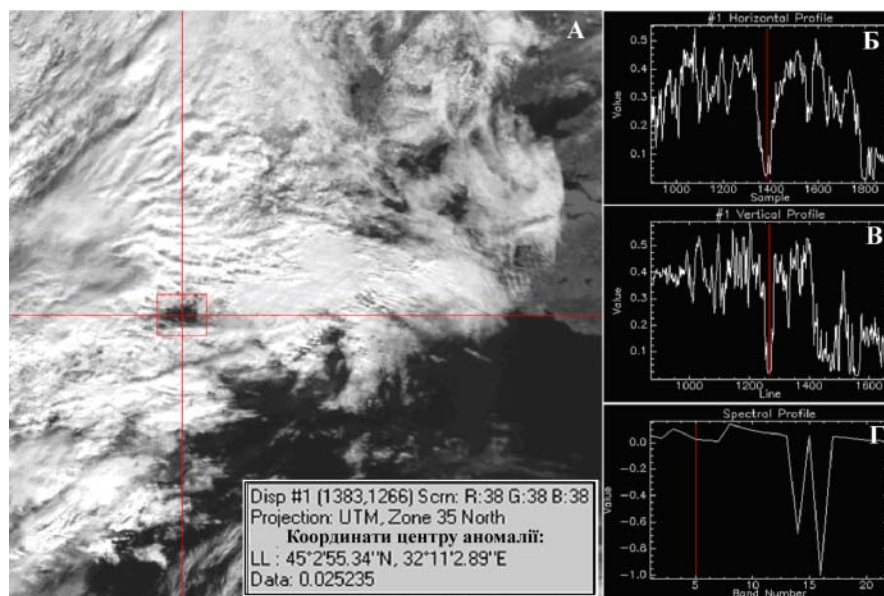


Рис. 2.102. Фрагмент космічного знімку, зареєстрованого сенсором MODIS (зйомка 3 березня 2000 р. о 9:20) з аномалією та графіками яскравості. А — фрагмент знімку з аномалією хмарності, Б, В і Г — графіки яскравості по горизонталі, вертикалі і по каналах відповідно

Чорного моря, дали такі результати [269–270]: найбільшу кількість АПТ виявлено за матеріалами супутникових зйомок NOAA протягом травня-серпня 1999 року у північно-західній частині Чорного моря у період найбільшої сейсмічної активності, яка спостерігалась в цей період часу в межах західної частини Північно-Анатолійського розлому (Туреччина). Виявлено та підраховано кількість АПТ поверхні моря, які пов'язані з підвищенням тектонічної активності, що стимулює збільшення обсягів вертикальної міграції вуглеводневих газів у осадовій товщі до дна моря, а потім їх спливання до поверхні моря.

Виконані дослідження дозволяють зробити висновки про те, що найбільш ефективно супутникові методи можна використовувати для виявлення виділень газу у періоди підвищення сейсмічної активності у регіоні. За допомогою аерокосмічних зйомок Землі можна виявляти не тільки виділення газу з дна моря, а і глибинні розломи, положення яких можна прогнозувати за лінійними аномаліями хмарності, що утворюються за рахунок виверження потужного теплового флюїдопотoku з глибинних шарів земної кори під час тектонічної активізації регіону перед сильними землетрусами.

2.16.3. Результати використання супутникових методів при нафтогазопошукових роботах у Чорному морі

Ранжування структур Північно-Західного шельфу Чорного моря за газоперспективністю за результатами накопичення теплових космічних знімків. Зважаючи на те, що об'єми витоків газу з дна моря і величини пов'язаних з ними аномалій АПТ поверхні моря звичайно невисокі, важливе значення має розробка методів підвищення ефективності виявлення цих аномалій за рахунок використання і спільного оброблення часових рядів космічних знімків. Аналіз можливостей застосування супутникових зображень для оцінки газоперспективності ділянок шельфових зон Чорного моря виконано за алгоритмом, який використовує апіорну інформацію про положення контурів структур, виявлених за даними сейсморозвідки (рис. 2.103). Для обчислення аномалій середнього пониження температур поверхні моря (в межах контурів структур) алгоритм використовує сукупність (ряд) зображень супутника NOAA, зареєстрованих у інфрачервоному діапазоні у теплий сезон року. Визначення усереднених аномалій АПТ виконувалось за знімками, зареєстрованими у літні місяці 2007 року.



Рис. 2.103. Положення контурів структур, виявлених сейсморозвідкою на Північно-Західному шельфі Чорного моря

Відомо, що після міграції з глибинних родовищ у осадовий товщі і просочувань ВВ з придонних відкладів у морську товщу вони спливають на поверхню моря. Для ранжування газоперспективності структур Північно-Західного шельфу проводилось обчислення середніх значень температури за часовими рядами знімків в межах контурів структур, координати яких відомі. На основі проведених в цьому регіоні нафтогазопошукових робіт встановлено, що більшість структур є газоносними.

На рис. 2.104 наведено графіки, які відображають результати накопичення значень температури поверхні моря в межах контурів структур (Безіменна, Одеська, Осетрова, Гамбурцева, Флангова,

Сельського, Штормова, Голіцинська, Шмідта, Каркінська, Шельфова, Штілева і Центральна). При цьому обчислювались значення середніх понижень температур, за якими проводилось ранжування структур за газоперспективністю. При накопиченні було використано 39 знімків, зареєстрованих з початку червня по кінець серпня 2007 року.

У лівій верхній частині рис. 2.104 а зверху прямокутниками показано значення і знак аномалій середнього пониження температур поверхні моря в межах відповідних структур, назви яких підписані на прямокутниках, після накопичення всіх 39 знімків. Нижче на рис. 2.104 б прямокутниками показано значення і знак аномалій середнього пониження температур поверхні моря після накопичення 20 знімків. Колір прямокутників на рис. 2.104 а і 2.104 б відображають ранг, а їх висота — величину аномалії. У таблицях в правій верхній частині (рис. 2.104 г) наведено ранг газоперспективності структур після накопичення всіх 39 знімків (рис. 2.104 в) і після накопичення 20 знімків.

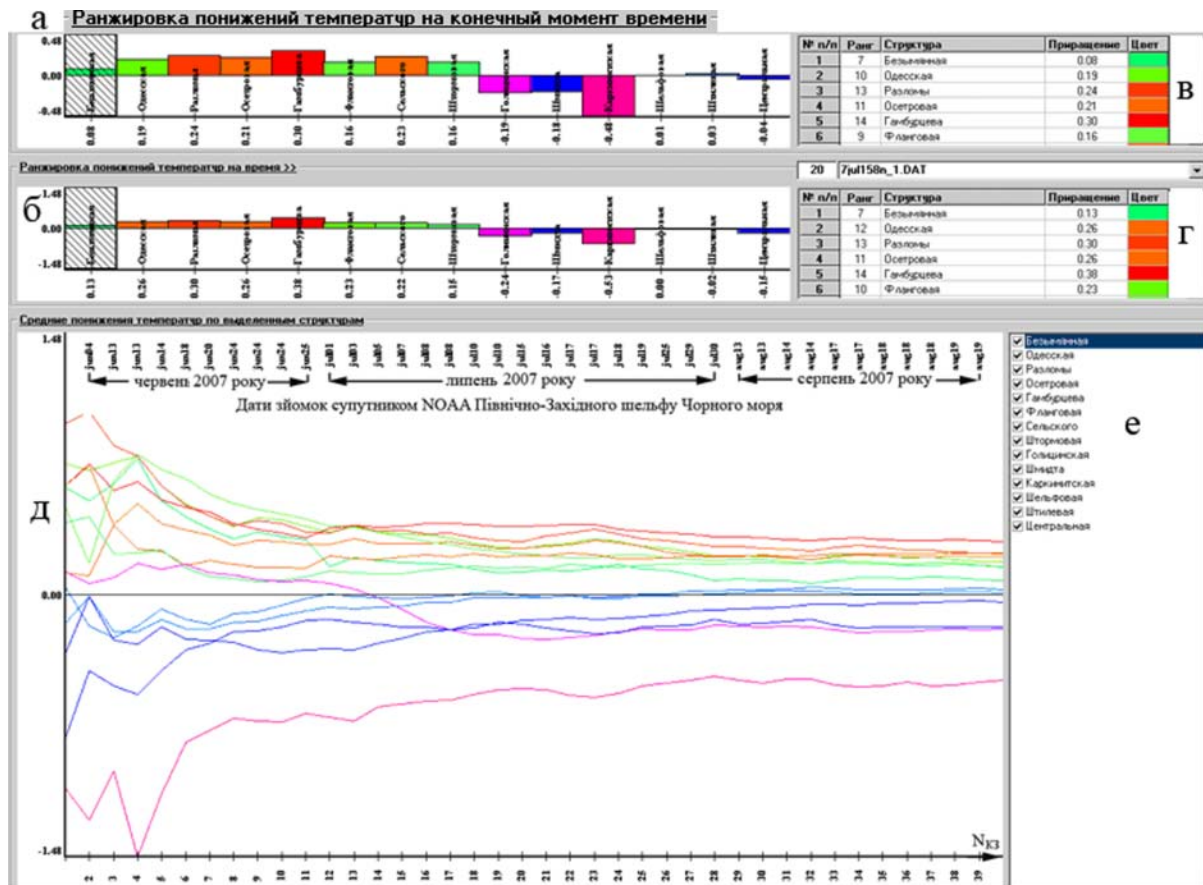
У нижній частині рисунку (2.104 д) наведено графіки зміни середнього пониження температур поверхні моря в межах наведених вище структур в процесі накопичення. Із цих графіків видно, що зі збільшенням числа оброблених зображень стабілізується рівень аномалії температури поверхні моря. На рис. 2.104 е наведено результати ранжування структур за газоперспективністю. Серед структур з високим рангом є структури, на яких відкрито родовища газу (Голіцинське та Штормове).

На рис. 2.105 показано контури структур, які заливо кольорами залежно від значень аномалій середнього пониження температур поверхні моря за рядом зображень КА NOAA.

Структури 9 (Голіцинська) і 8 (Штормова) заливо синім і фіолетовим кольорами, що свідчить про більш високу газоперспективність цих структур Північно-Західного шельфу, що підтверджено результатами буріння. Слід відзначити похибку у визначенні рангу Одеської структури, що свідчить або про вплив гідродинаміки, або про низьку проникність шарів, перекриваючих поклади газу, які відкрито тут. Для вияснення цього факту необхідно провести додаткові дослідження.

Прогнозування нафтогазоносності структур Керченського шельфу Чорного моря

Комплексування даних сейсморозвідки, електро-розвідки, магніторозвідування й гравіро-розвідки дозволяє виконати більш глибокий геологічний аналіз природи супутникових аномалій. В результаті використання супутникових методів для нафтогазопошукових досліджень на Керченському шельфі Чорного моря отримані аномалії за матеріалами зйомок у радіохвильовому і тепловому діапазонах. На рис. 2.106 наведена інтегрована карта аномалій, от-



2.104. Прогнозування нафтогазоносності у Чорному морі з використанням аерокосмічних методів

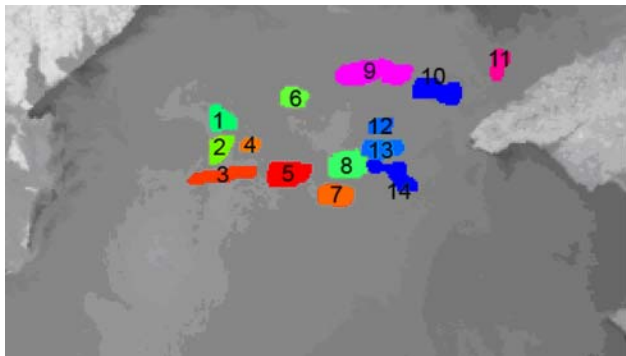


Рис. 2.105. Ранжування структур Північно-Західного шельфу за аномаліями середнього пониження температур поверхні моря. Кожному рівню аномалій відповідає свій колір

риманих за різними методами, які використовувались при прогнозуванні нафтогазоносності структур Керченського шельфу Чорного моря.

Аналіз положення супутникових теплових аномалій (показані синім кольором) на рис. 2.106 свідчить про те, що останні розташовані в північній, північно-західній і північно-східній, а також у південно-східній (розломна зона) частинах Керченського шельфу Чорного моря. Крім того, теплові аномалії виявлено в північно-східній час-

тині структури Абіха, що свідчить про наявність тут газових виділень із дна моря. З рис. 2.106 видно, що підвищена щільність плівок нафти виявлена на структурах Керченська, Суботіна і на північ від неї. Підвищена щільність плівок нафти може служити критерієм наявності на глибині покладів нафти.

На рис. 2.107 і 2.108 представлено більш детальні карти аномалій, отримані на структурах Суботіна і Абіха. На рис. 2.111 винесено аномалії геохімічних, геофізичних (зокрема, за методом електрофізичного прогнозу нафтогазоносності) а також супутникових методів, які були використані при нафтогазоперішувочних роботах на структурі Суботіна. На цьому рисунку на карту ізогіпс структури Суботіна по відбиваючому горизонту II а (P3mk) винесено тектонічні порушення (скиди і підкидо-насуви), геохімічні та супутникові аномалії.

Показана на рис. 2.107 радіохвильова аномалія (її контур показано зеленим кольором) дозволила прогнозувати в районі структури Суботіна родовище нафти (за даними О. А. Кички). Результати глибокого буріння на структурі Суботіна свердловини № 403 підтвердили наявність родовища нафти.

Той же комплекс методів, що і на структурі Су-

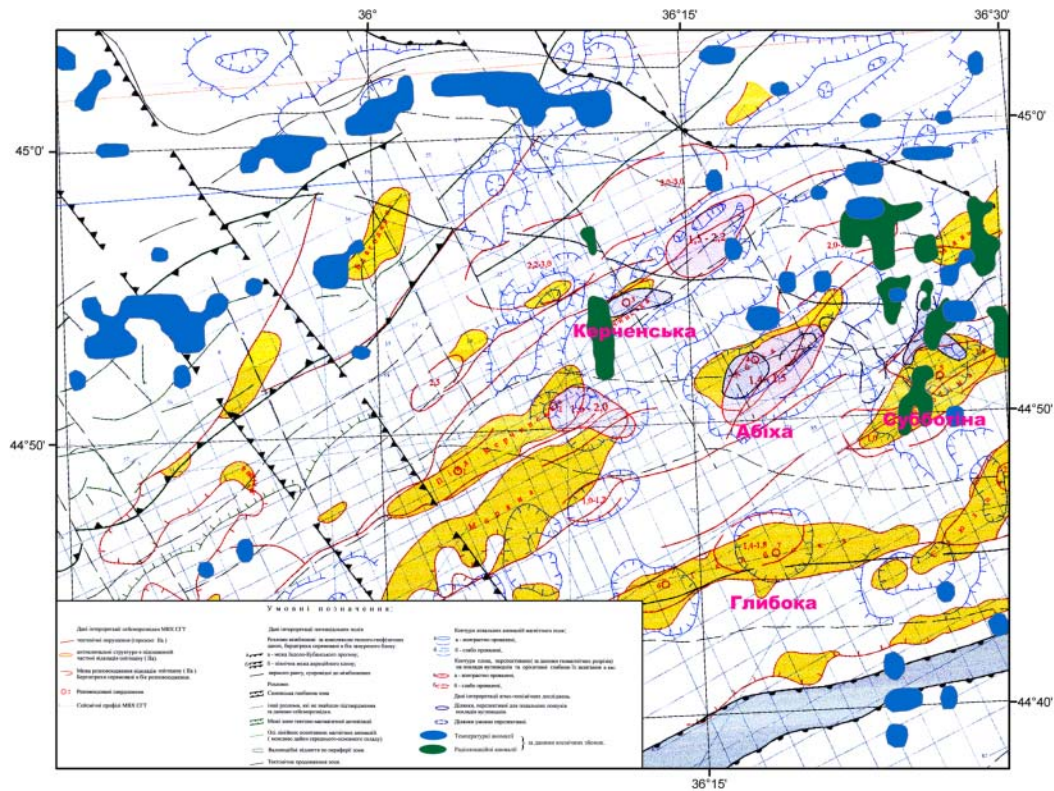


Рис. 2.106. Результати ранжування газоперспективності структур Північно-Західного шельфу за аномаліями середнього пониження температури поверхні моря

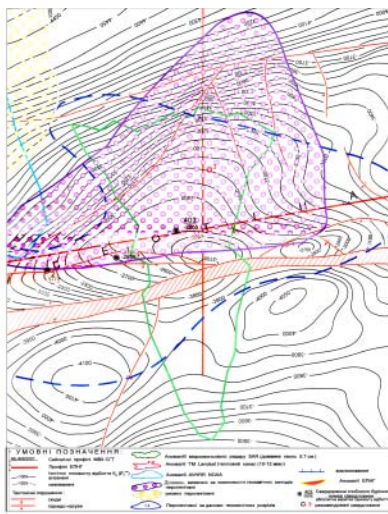


Рис. 2.107. Підтвердження радіохвильової аномалії (її контур показано зеленим кольором) за результатами буріння на структурі Суботіна свердловини № 403

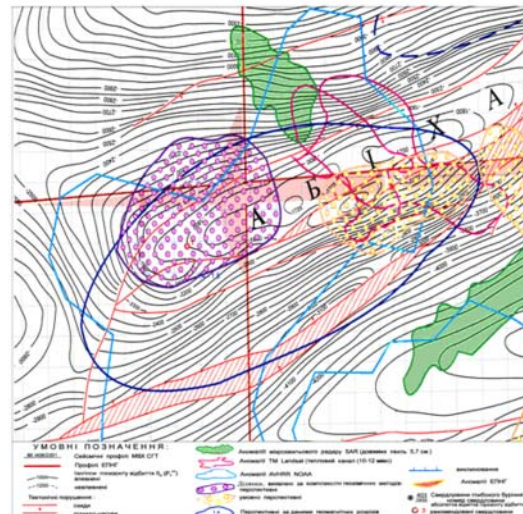


Рис. 2.108. Прогноз нафтогазоперспективності структури Абіха за комплексом методів

ботіна, був використаний при проведенні нафтогазопошукових досліджень на структурі Абіха. Результати цих досліджень наведено на інтегрованій карті рис. 2.108. З рисунку видно, що контури ряду аномалій (геохімічна, геомагнітна та супутникова у тепловому діапазоні) співпадають з антиклінальним підняттям на структурі Абіха. Дуже важливо те, що сліки природної нафти, що виявляються у радіохвильовому діапазоні, в межах цієї структури не виявлені. Зважаючи на те, що на

структурі Абіха виділена крупна аномалія АПТ, можна прогнозувати відкриття на ній родовища газу або газоконденсату.

Отримані результати свідчать про позитивні результати використання супутникових методів у тепловому і радіохвильовому діапазонах при пошуках покладів ВВ у шельфових зонах Чорного моря. Для підвищення ефективності цих робіт необхідно використовувати супутникові сенсори високого просторового розрізнення.

2.16.4. Виявлення розломних зон і каналів міграції вуглеводнів у Північно-Східній частині Чорного моря

Для побудови моделі розподілу родовищ нафти і газу у регіоні важливе значення мають виявлення каналів міграції ВВ з глибинних шарів до пасток і до дна моря. При цьому значну роль відіграють тектонічні розломи і пов'язані з ними зони розривних порушень. Діяльність регіональних розломів приводить до виникнення систем мікро- і макротріщин, що простежуються не тільки в щільних карбонатних і сульфатних породах, але й у теригенних піщано-глинистих породах. У деяких регіонах в межах приразломних зон відзначається збільшення проникності як карбонатних, так і теригенних порід. З наближенням до розривів збільшується число тріщин. Ширина зони впливу розломів залежить від масштабу тектонічного розриву: для локальних порушень вона становить не більше 60–70 м, а для регіональних — досягає 1,5 км і більше [255].

Стискуючі напруги приводять до погіршення колекторських властивостей порід. Спостерігається збільшення числа родовищ ВВ у міру наближення до розлому (максимум кількості родовищ спостерігається у прирозломній зоні шириною до 15–30 км) [268]. Іноді вздовж регіональних розломів збільшується діапазон нафтогазонасичення розрізу і на цих ділянках виявлено майже всі найбільші поклади нафти й газу. Звичайно, дрібні й середні за розмірами поклади тяжіють до бортових частин басейну. До приразломних структур тяжіють 64% нафтових, 61% газових і 81% газонафтових родовищ [268]. Однак деякі унікальні й великі родовища газу розташовані осторонь від великих розломів.

Вплив розломів залежно від часу прояву може бути конседиментаційним і постседиментаційним. У першому випадку цей вплив позначається на зміні літології й потужності покришки (аж до повного виклинювання). Післяседиментаційний вплив розломів на покришки позначається після формування останніх виражається в утворенні зон проникнення (перетікання) підземних вод і ВВ з одних колекторів в інші по вертикалі, що сприяє вертикальній міграції ВВ. Іноді розломи створюють наскрізні канали, які з'єднують колектори, що залягають під і над регіональними покришками. Іноді у зонах розломів відбувається різке поліпшення колекторських властивостей покришок за рахунок утворення мікро- і макротріщинуватості. З подібними зонами розломів зв'язані гідрологічні й гідрохімічні аномалії й відзначається збільшення вертикального діапазону нафтогазоносності.

Зони перетікань часто знаходяться в областях розломів безперервного розвитку. Постседиментаційний вплив регіональних розломів на покришки може приводити до порушення їхньої герметичності й збільшення вертикального діапазону нафто-

газоносності. Діяльність розломів переривчастого розвитку може приводити до повного або часткового руйнування покладів нафти й газу.

На рис. 2.109 наведено карту геологічних структур північно-східної частини Чорного моря, а також положення регіональних сейсмічних профілів, які були використані для виявлення каналів міграції ВВ. Простеження шляхів міграції ВВ має важливе значення для виявлення родовищ нафти і газу в інтервалах геологічного розрізу з пастками ВВ. При виявленні каналів міграції ВВ у північно-східній частині Чорного моря авторами були проаналізовані часові розрізи по 10 регіональним сейсмічним профілям, відпрацьованим за проектом BS05 на замовлення НАК “Нафтогаз України” [271]. Положення цих профілів показано лініями синього кольору на карті фонду структур цього регіону (див. рис. 2.109). На цій карті на початку і в кінці лінії кожного профіля підписано їх номери.

Виділення каналів міграції вуглеводнів за часовими сейсмічними розрізами

На рис. 2.110–2.113 представлено по два часових розрізи, обчислених по регіональних сейсмічних профілях. У ряді точок винесено шкали, які дозволяють визначати глибину дна моря.

Слід відзначити досить високу якість часових сейсмічних розрізів, на яких на значну глибину чітко виділяються і простежуються відбиваючі горизонти, різні геологічні структури, в тому числі глибинні розломи, вздовж яких відбувається міграція ВВ.

За часовими розрізами виявлено різні геологічні структури, серед яких грязьові діапіри, антиклінальні структури, аномалії АТП, зони розломів, з якими пов'язані канали міграції ВВ. Положення виявлених АТП і каналів міграції винесено на лінії профілів, представлених на карті рис. 2.113. У верхній частині всіх часових розрізів з інтервалом 80 вказано номери пікетів, що при інтервалі між пікетами 12,5 м відповідає 1 000 м.

Аналіз часових розрізів по сейсмічних профілях bs05-01 і bs05-02

На рис. 2.110 наведено часові розрізи сейсмічних профілів bs05-01 і bs05-02, перший з яких було відпрацьовано з півночі на південь, другий — з півдня на північ. Для кращого співставлення часових розрізів по профілях bs05-01 і bs05-02 останній було обернено на 180 градусів. У лівій частині часового розрізу профіля bs05-01 на пікетах 2 883–4 003 чітко виділяється зона тектонічного стискання і розриву шарів геологічного розрізу всього осадового комплексу аж до фундаменту, по якому чітко виділяється Північно-Чорноморське підняття.

Ця зона стискання є сприятливою для струмінєвої міграції ВВ з глибинних шарів осадової товщі, в яких відбувається генерація нафти і газу. В інтервалі пікетів 4 560–6 200 також виділяються канали мі-

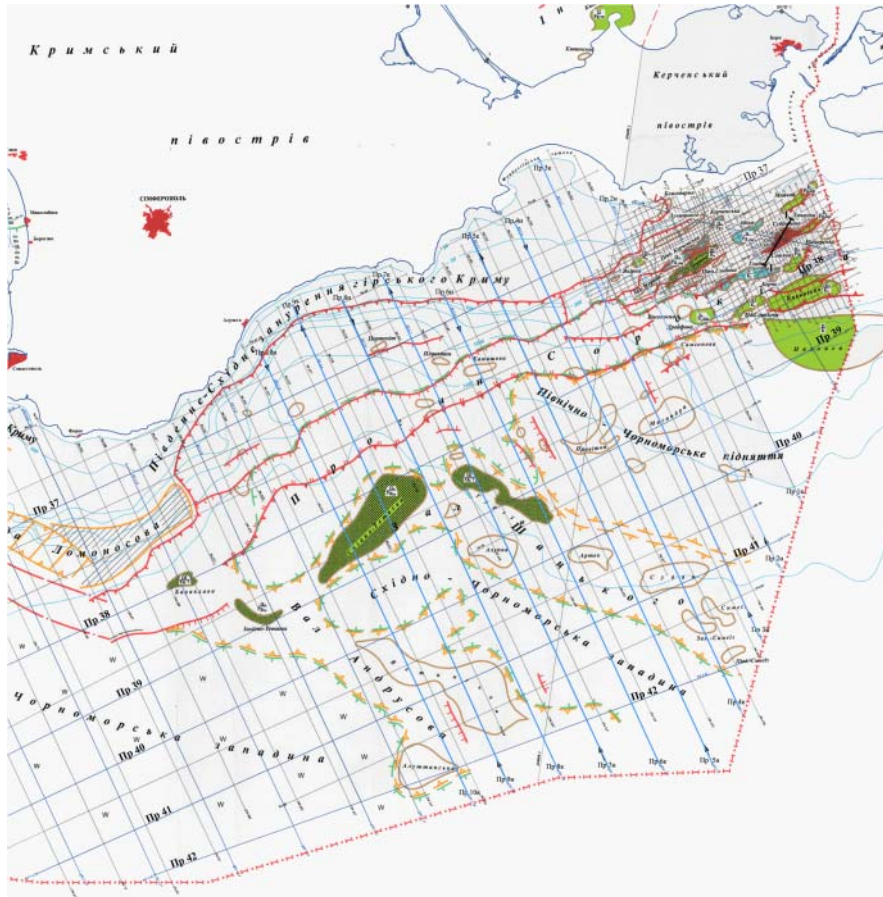


Рис. 2.109. Карта геологічних структур північно-східної частини Чорного моря і регіональних сейсмічних профілів, відпрацьованих на замовлення НАК «Нафтогаз України» [271]

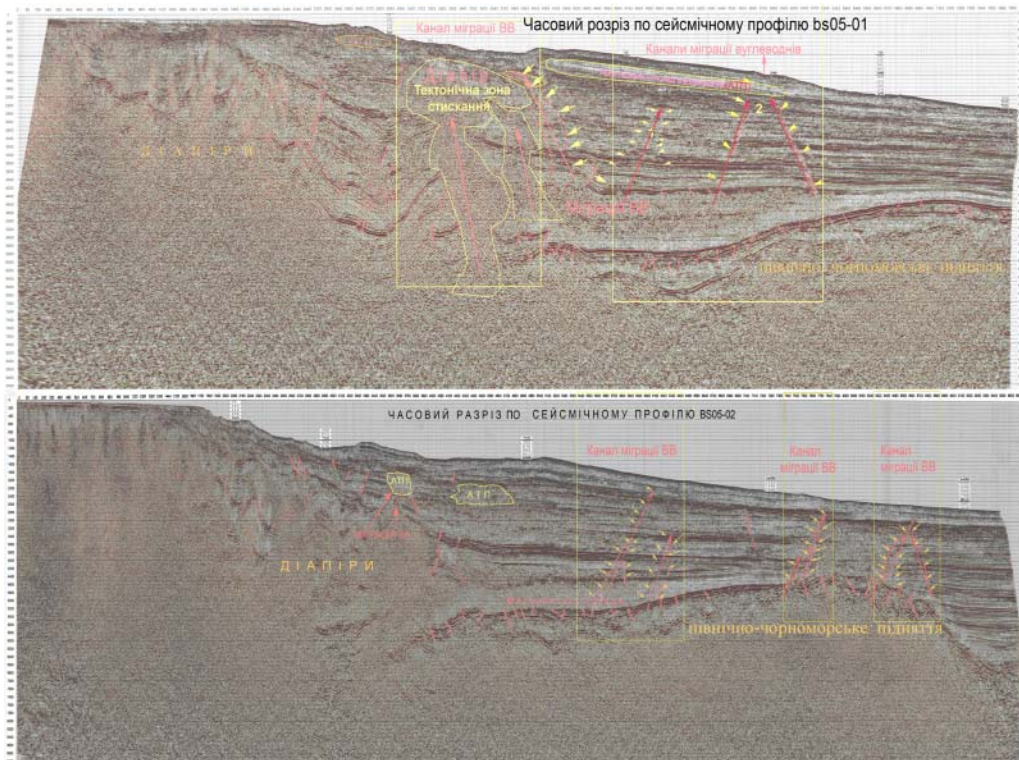


Рис. 2.110. Канали міграції ВВ по зонах розломів на часових розрізах по сейсмічних профілях bs05-01 і bs05-2

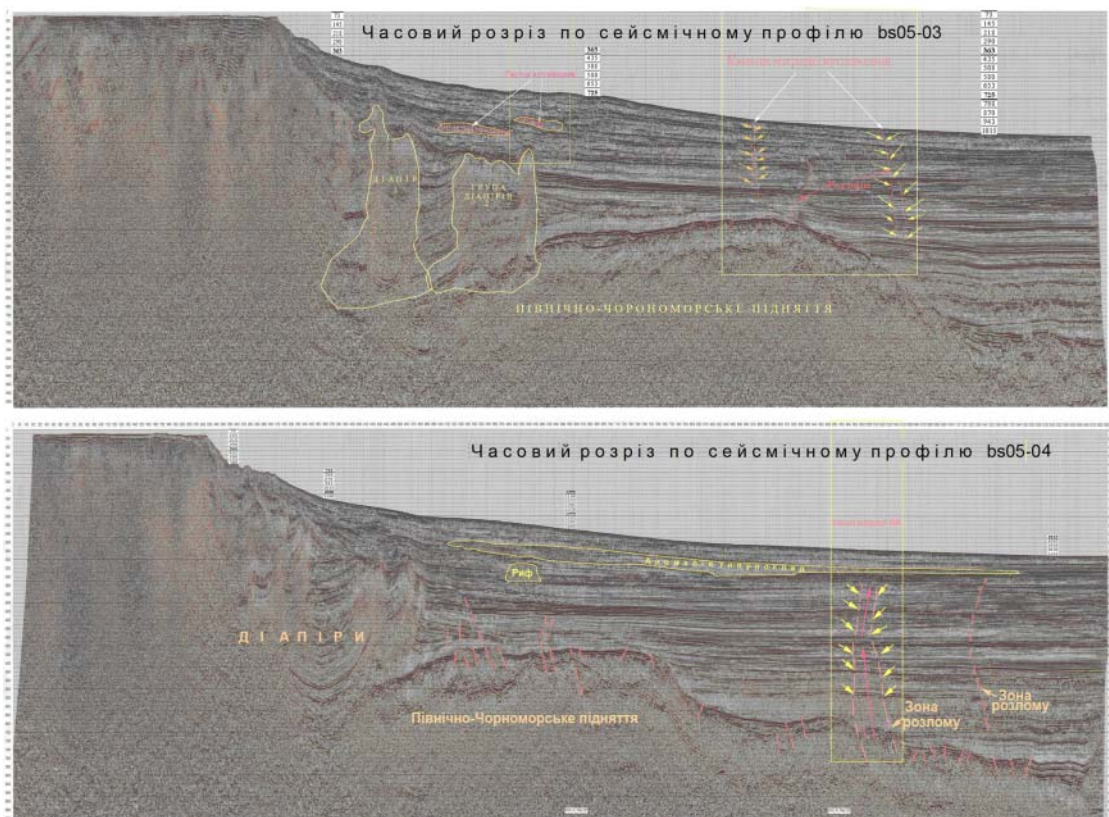


Рис. 2.111. Канали міграції ВВ по зонах розломів, виділені на часових розрізах по сейсмічним профілям bs05-03 і bs05-4

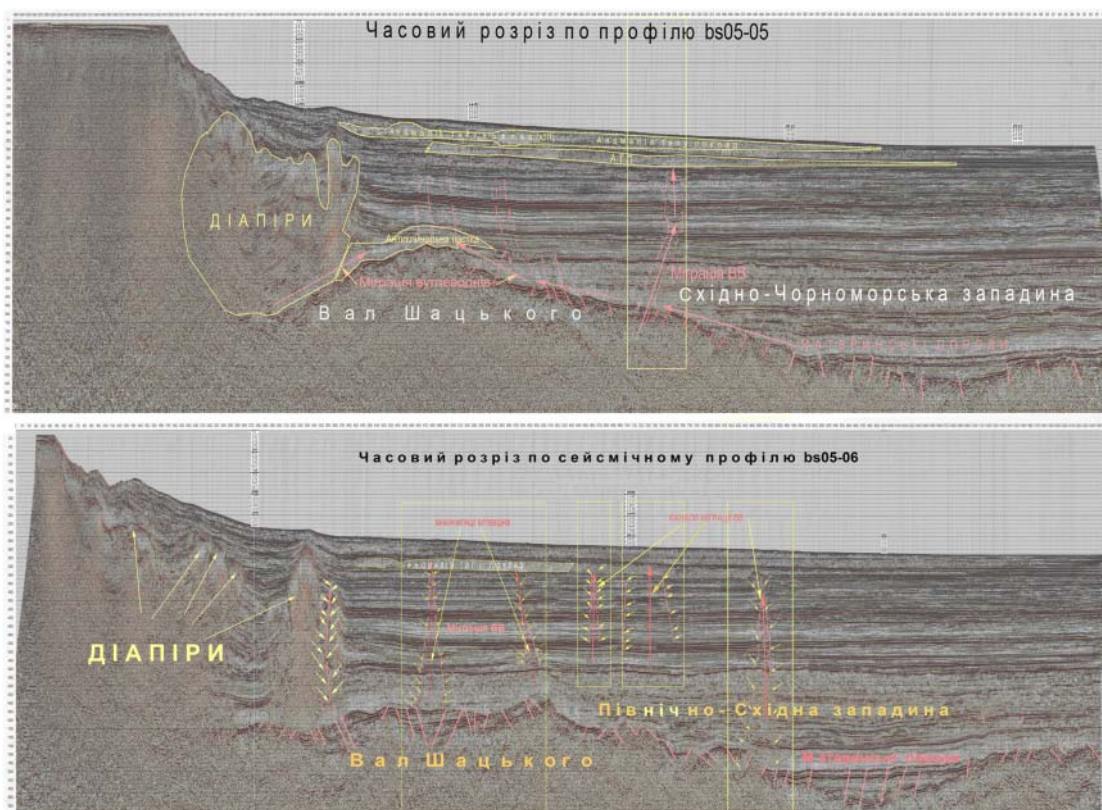


Рис. 2.112. Канали міграції ВВ по зонах розломів на часових розрізах сейсмічних профілів bs05-05 і bs05-6

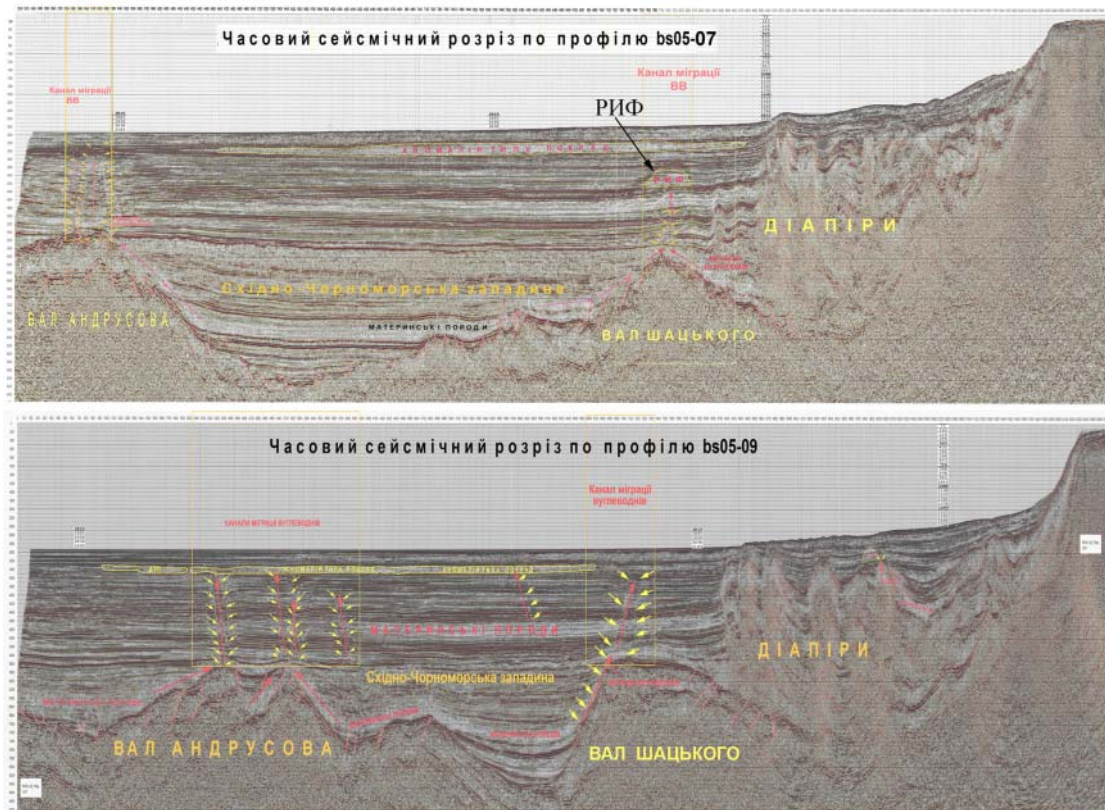


Рис. 2.113. Канали міграції ВВ по зонах розломів і аномалії типу поклад на часових розрізах сейсмічних профілів bs05-07 і bs05-9

грації ВВ, через які підживлюються газоперспективні об'єкти, що проявляються у вигляді аномалій АТП, одна з яких виділена жовтим кольором. В межах цього цього каналу міграції ВВ в околиці пікетів 5680–5840 на дні моря спостерігається віспина (*rockmark*), яка пов'язана з міграцією ВВ по двох розломах, які перетинають дно моря. Виходячи з того, що відстань між пікетами становить 12,5 м, діаметр цієї віспини становить приблизно 2 000 м.

У нижній частині рис. 2.110 наведено часовий розріз по профілю bs05-02, на якому також виявлено грязьові діапіри, розломні зони, що слугують каналами міграції ВВ. Особливо інтенсивна міграція ВВ спостерігається в інтервалі пікетів 7800–8640. В цій частині профіля спостерігається значна порушеність порід кристалічного фундаменту Північно-Чорноморського підняття, що свідчить про значні обсяги генерації ВВ у відкладах крейдового та більш древнього віку.

Аналіз часових розрізів по сейсмічних профілях bs05-03 і bs05-04

На рис. 2.111 наведено часові розрізи по профілях bs05-03 і bs05-04. З часового розрізу профіля bs05-03 видно, що у глибоководній частині (глибина моря складає близько 1 900 м) на пікетах профіля 900–2300 у південній частині валу Північно-Чорноморського підняття спостерігається зона тектонічних деформацій, вздовж якої очевидно

відбувається струмінєва міграція ВВ з глибинних шарів земної кори.

Поблизу від цієї зони на часовому розрізі за критерієм підвищеної освітленості (пониження кореляції і послаблення амплітуд відбиваючих горизонтів) виділяється аномалія АТП. У лівій частині часового розрізу профіля bs05-03 над діапірами виявлено дві пастки ВВ, які можуть бути продуктивними, зважаючи на значний потік вертикальної міграції ВВ, який спостерігається у північно-східній частині Чорного моря.

У нижній частині рис. 2.111 представлено часовий розріз по профілю bs05-04, на якому також виділяються зони розломів, з якими пов'язані канали міграції ВВ. У верхній частині розрізу виділяється аномалія АТП, а також риф.

Найбільш глибокі відбиваючі горизонти на сейсмічному розрізі відображають значну кількість розривних порушень у геологічному розрізі відкладів крейдового віку, що свідчить про можливість вертикальної міграції геофлюідів з глибинних шарів земної кори.

Аналіз часових розрізів по сейсмічних профілях bs05-05 і bs05-06

На рис. 2.112 наведено часові розрізи по профілях bs05-05 і bs05-06. У верхній частині часових розрізів по цим профілям спостерігаються аномалії типу поклад, а у нижній частині розрізів — розломні зони, з якими пов'язуються канали міграції ВВ.

На профілях bs05-05 і bs05-06 у нижній частині геологічного розрізу, яка відповідає відкладам крейдового періоду, спостерігається їх висока порушеність на валі Шацького і у Північно-східній западині. Особливо значна кількість розломів (7) і пов'язаних з ними каналів міграції ВВ спостерігається на часовому розрізі профіля bs 05-05. Всі ці канали міграції ВВ автори пов'язують із значною порушеністю геологічного розрізу порід крейдового віку.

Аналіз часових розрізів по сейсмічних профілях bs05-07 і bs05-09, виявлення нафтогазоперспективного карбонатного рифу

Аналіз місць положення розломних зон і пов'язаних з ними каналів міграції на часових розрізах профілів bs05-07 і bs05-09 свідчить про те, що вони приурочені до крупних позитивних структур (валів). Про це свідчить, наприклад, дуже потужна міграція ВВ, яка спостерігається в інтервалі пікетів 2800–3300 профіля bs05-07 над валом Андрусова. У північній частині профіля bs05-07 в районі валу Шацького в інтервалі пікетів 7400–8100 в інтервалі часу 3 600–4 400 мс авторами даної роботи виявлено крупний риф, потужність якого при швидкості сейсмічних хвиль у рифових карбонатах 4 000 м/с становить приблизно 1 600 м. Зважаючи на потужну вертикальну міграцію ВВ з валу Шацького до цього рифу, яка чітко проявляється на сейсмічному розрізі профіля bs05-07, цей об'єкт становить значний інтерес з точки зору виявлення родовища нафти і газу. Значно менший за розмірами риф вияв-

лено над діапíрами у північній частині профіля bs05-09. Три канали міграції ВВ спостерігаються над валом Андрусова в інтервалі пікетів 2000–4000 цього профіля.

Аналіз часових розрізів по сейсмічних профілях bs05-08 і bs05-10. У верхній частині геологічного розрізу профілів bs05-08 і bs05-10 (рис. 2.114) під дном моря спостерігаються аномалії АТП. Як і на інших часових розрізах, розломні зони і пов'язані з ними канали міграції спостерігаються над валами Шацького і Андрусова.

На рис. 2.115 представлено фрагмент часового розрізу субширотного профіля bs 05-39. З рисунку видно, що розломи і 4 потужні ділянки каналів вертикальної міграції ВВ виділяються на цьому часовому розрізі більш чітко за рахунок більш крупного масштабу.

На рис. 2.116 наведено інтегровану карту, на яку винесено положення геологічних структур, супутникових аномалій температури поверхні моря, аномалій АТП, рифів та каналів міграції ВВ, виявлених за часовими розрізами регіональних сейсмічних профілів bs05-01— bs05-0, відпрацьованих у північно-східній частині Чорного моря.

На рис. 2.117 представлено фрагмент часового розрізу по сейсмічному профілю bs 05-39, на якому чітко виділяються і простежуються 4 канали міграції ВВ. На трьох з них 1, 3 і 4 міграція ВВ простежується аж до поверхні моря і тільки на каналі 2 міграція не простежується вище відбиваючого горизонту І_р. Це свідчить про те, що тільки на ділянці каналу 2 не руйнується поклад ВВ. В цьому інтервалі автори прогно-

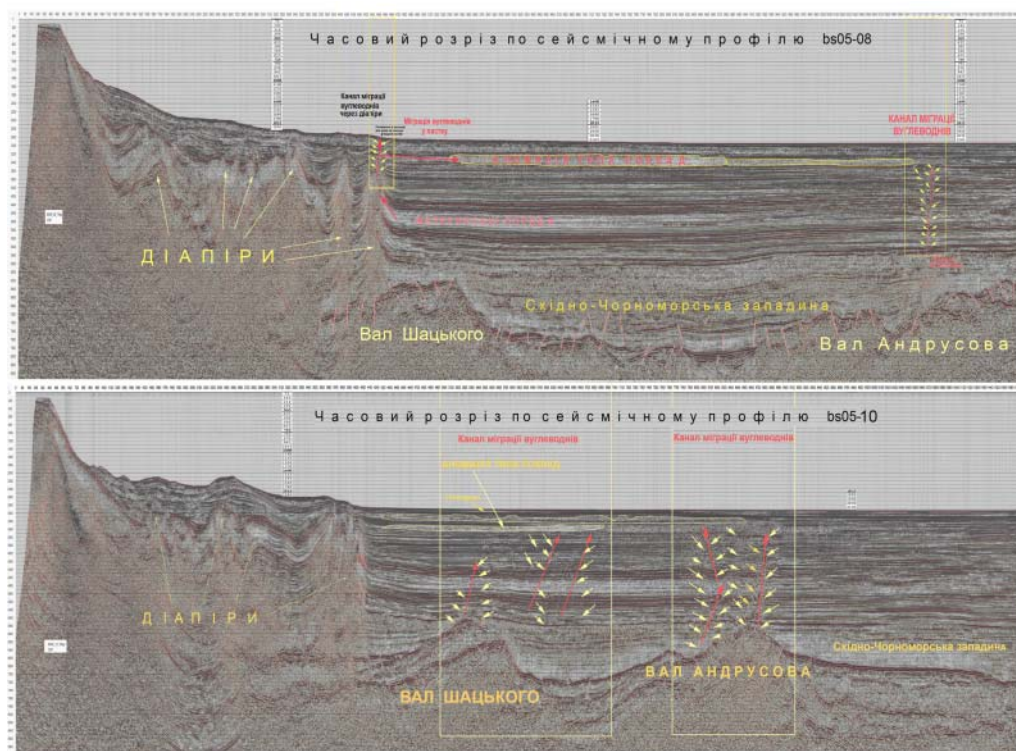


Рис. 2.114. Канали струменевої міграції ВВ по зонах розломів на часових розрізах сейсмічних профілів bs05-08 і bs05-10

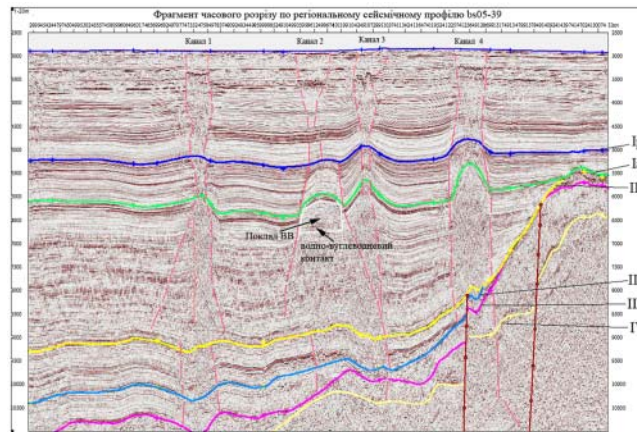


Рис. 2.115. Канали міграції ВВ, виявлених за часовим розрізом субширотного сейсмічного профіля bs05-39. Північно-східна частина Чорного моря

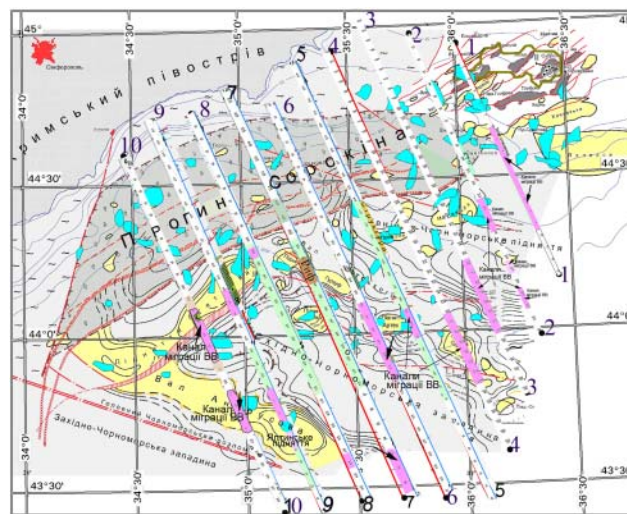


Рис. 2.116. Карта аномалій температури поверхні моря, виявлених за супутниковими зйомками, з виєсним рифом, аномаліями АТП і каналами міграції ВВ. Північно-східна частина Чорного моря

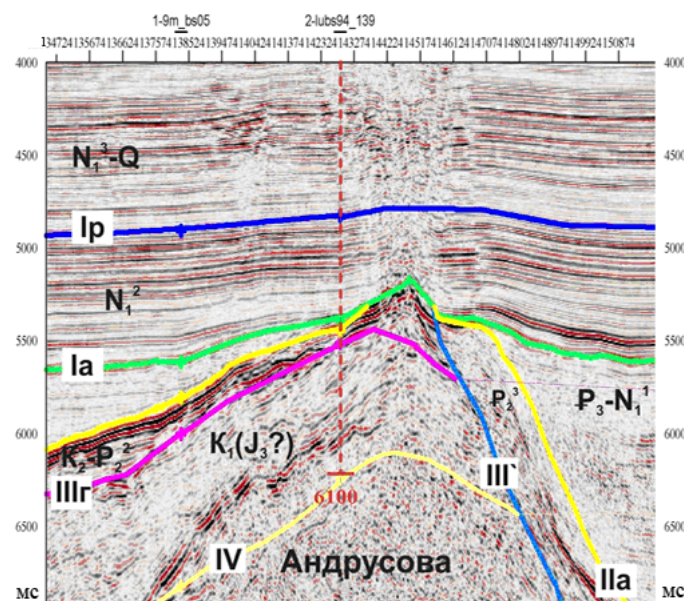


Рис. 2.117. Фрагмент часового розрізу профіля bs05-41, який перетинає Ялтинське підняття [271]

зують поклад ВВ (показано стрілкою). Крім того, на нижній границі покладу виділяється водо-вуглеводневий контакт, який також показано на рис. 2.115 стрілкою. Наявність цього контакту підтверджує наявність покладу.

На карті (див. рис. 2.116) супутникові аномалії пониження температур поверхні моря винесено синім кольором. Аномалії АПТ, які спостерігаються у верхній частині розрізу, показано зеленим кольором, риф — коричневим кольором, а ділянки каналів міграції ВВ — рожевим кольором. З рис. 2.115 видно, що кількість виявлених супутникових аномалій АПТ в межах западини Сорокіна значно перевищує їх кількість у інших частинах Північно-східної частини Чорного моря. Це може бути пов'язано з неотектонічною активністю цієї частини моря, яка пов'язана з рухом діапінрів, що приводить до підвищення процесів міграції ВВ. На валу Шацького аномалії АПТ поверхні моря виявлені на ділянках локальних структур Гурзуф і Артек. На структурі Артек з трьох аномалій дві крупні за розмірами виявлені в її південно-східній частині. Супутникові аномалії пониження температури моря виявлені також на структурах Масандра і Привітна, які знаходяться в межах Північно-Чорноморського підняття. Окремо слід відзначити чотири аномалії температури поверхні моря, які зареєстровані у західній частині структури Палласа, яка знаходиться в межах економічної зони України. Положення супутникових аномалій пониження температури поверхні моря на рис. 2.116 демонструє тяжіння до крупних структур і каналів міграції ВВ.

В результаті проведених досліджень можна зробити висновок про те, що значна більшість виявлених в цій частині Чорного моря супутникових аномалій знаходиться в межах таких регіональних структур, як вал Андрусова (зокрема, Ялтинська структура), вал Шацького (структури Гурзуф, Артек і Алушка), Північно-Чорноморське підняття (структури Привітна і Масандра) та підняття Тетяєва.

На рис. 2.117 наведено фрагмент часового розрізу по профілю bs 05-41, що перетинає Ялтинське підняття на валу Андрусова. У звіті ДП «Науканафтогаз» [271] дана рекомендація на буріння на цій структурі пошуково-розвідувальної свердловини глибиною 6100 м. На наш погляд, буріння на цій структурі недоцільно тому, що над нею спостерігається потужна міграція ВВ, яка призводить до руйнування покладу.

На основі вище наведеного можна зробити висновки про те, що комплексування сейсмічних і супутникових даних дозволило отримати додаткову інформацію про напрямки і обсяги міграції ВВ у регіоні. Одним з критеріїв оцінки нафтогазоперспективності об'єкту є наявність пастки на шляху каналу міграції ВВ. Нажаль, рідка сітка регіональних профілів не дає можливості оконтурити найбільш перспективні об'єкти ділянки, на яких необхідно проводити детальні пошукові роботи.

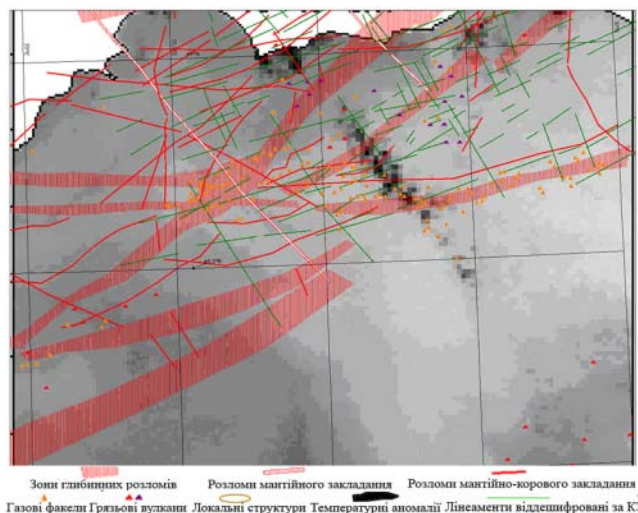


Рис. 2.118. Співставлення космічного знімку AVHR за 5 вересня 2001 року з “Зведеною структурно-тектонічною картою Прикерченського шельфу” та динамопарою систем лінементів 345–750 (за даними А. І. Воробйова і О. О. Янцевича)

2.16.5. Відображення розломних зон Керченського шельфу на космічних знімках NOAA

За останні десятиріччя виявлені й описані великі поклади газогідратів, глибоководні грязьові вулкани [262] і струминні метанові газовиділення [260]. З моменту виявлення полів метанових газовиділень в українському і болгарському секторах Чорного моря інтерес до цієї проблеми був виявлений у зв'язку з необхідністю вивчення їх приуроченості до порід, що підстилають, геологічним розломам та родовищам ВВ.

Дослідження газового розвантаження у моря Світового океану показали, що струминні газовиділення із дна Чорного моря можуть бути класифіковані як холодні сіпи. Поля струминних газовиділень у Чорному морі розташовані, в основному, на кромці шельфу й материковому схилі Чорного моря, у палеорусласх рік Дніпро, Дунай, Дон і в пригирлових районах ряду річок Кавказу та підводних каньйонах. Ці дослідження дозволили встановити, що у літню пору, при великих градієнтах сезонного термокліма, зареєстровано зниження температури в шарі над сипом на 0.6°C. Поперечні розміри ділянок газового розвантаження часто досягають 300 і більше метрів [260].

Детальними сейсмоакустичними, гідроакустичними дослідженнями й прямими спостереженнями з підводних апаратів було встановлено, що численні виходи окремих газових сіпів, факелів і їх груп тяжіють до розломних зон — ділянок тектонічного розривоутворення, дроблення й зминання порід. На ряді ділянок дна утворюються так звані газові «болота» різного розміру й форми. Часто поряд з газовими факелами спостерігаються грязьові вулкани.

Геоморфологія материкового схилу в районі досліджень ускладнюється терасами (уступами) схилу, а також каньйонами, хребтами, долинами й терасами долин. Виділення газу спостерігаються переважно на перегінах поверхні дна і пов'язані як з позитивними формами — підводні сопки, хребти, уступи, так і з негативними — каньйони, палеодолини, лощини, провалля [267].

З метою аналізу відображення геолого-тектонічних структур Прикерченського шельфу на космічних знімках супутника NOAA, зареєстрованих у тепловому діапазоні, були виконані такі види робіт: прив'язка космічних знімків, прив'язка та векторизація геологічних, тектонічних та геофізичних карт, створення геолого-тектонічної векторної основи досліджуваної території. Для аналізу були відібрані безхмарні знімки супутника NOAA, які були зареєстровані в період сейсмічної активізації Азово-Чорноморського регіону у 2001–2002 роках.

Прив'язка, дешифрування та оброблення космознімків виконувались з використанням програмного пакету ERDAS Imagine. Прив'язка та векторизація різних карт виконувались також у середовищі ГІС MapInfo Professional. Створювані бази даних можуть бути об'єктами запитів і вибірок за певними критеріями. Зібрані та систематизовані при структурно-тектонічних дослідженнях матеріали узагальнювались за допомогою MapInfo, що дозволяє співставляти та узгоджувати карти різні за змістом, масштабом та рівнем інформативності.

Таким чином, була створена “Зведена структурно-тектонічна карта Прикерченського шельфу”, в основу якої лягли: “Карта фонду нафтогазоперспективних структур акваторії Азовського та Чорного моря”, автори — З. Я. Войцицький, В. В. Топлюк та ін., 2013 р., а також “Карта-схема техногенного навантаження на геологічне середовище північно-східної частини Чорного моря і Азовського моря”, автори О. Д. Степаняк і Є. Г. Тихоненкова, 2005 р.

У результаті співставлення структурно-тектонічної інформації зі знімків супутника NOAA було отримано ряд результатів, які, зокрема, представлено на рис. 2.118. На знімку, зареєстрованому 5 вересня 2001 року, чітко виділяється протяжна вузька температурна аномалія північно-західного простягання. З цією аномалією співпадає лінеамент динамопар систем 345–750, яка була віддешифрована за космознімком радарного сенсора. Північно-західна частина аномалії співпадає з розломом, в цілому аномалія співпадає з ланцюжком виділень газу, виявлених за даними гідроакустичного профілювання.

Аналіз розміщення та форма температурних аномалій на космознімках AVHRR за період з 26.08.2001 р. по 05.09.2001 р. (див. рис. 2.118) свідчить про те, що більшість аномалій мають вигляд ланцюжків, витягнутих у північно-західному напрямку, причому ано-

малії на знімках, зареєстрованих 26, 27 і 28 серпня, знаходяться поряд з аномалією, яка відображена на знімку від 5 вересня, але зміщені на захід або на схід від неї. З рис. 2.118 видно, що АПТ поверхні моря, зареєстрована 5.09.2001 року, має простягання з південного сходу на північний захід. Вона покриває смугу, в межах якої розташована значна кількість виділень газу.

У цілому можна зробити висновок, що температурні аномалії, відображені на знімках з КА NOAA за період з 26.08 по 05.09.2001 року ймовірно пов'язані з виділеннями газів, які мігрують по розривних порушеннях північно-західного простягання з азимутом 3450. Поряд з цими аномаліями знаходяться два великих розломи мантіїного закладання того ж самого простягання. Це не суперечить висновкам інших дослідників [264, 268], які на основі структурно-парагенетичного аналізу мережі розломів північно-західного шельфу Чорного моря довели, що зони розвантаження газу співпадають з зонами ростягнень розломів, які утворюються при зсувних рухах вздовж глибинних розломів широтного та північно-східного простягання.

Висновки і рекомендації

У даному підрозділі обґрунтована методологія та результати комплексного вирішення нафтогазопошукових задач з використанням супутникових методів, зокрема, методика прогнозування газоперспективних ділянок за супутниковими зображеннями теплового діапазону та методичні аспекти пошуку покладів нафти на морі за радіохвильовими зображеннями.

При вирішенні нафтогазопошукових задач для виявлення макропросочувань метану з дна моря за допомогою акустичного методу необхідне відпрацювання щільної мережі профілів, що потребує значних фінансових витрат. При певних обсягах макропросочувань метану з дна моря вони можуть проявлятися на супутникових знімках у теплий сезон року у вигляді АПТ поверхні моря або аномалій хмарності. Останні можуть утворюватись за рахунок виносу бульбашками газу придонних холодних вод до поверхневого шару моря. Цей процес, який називають газліфтингом [64], є передумовою для використання аерокосмічних методів для виявлення потужних виділень метану з дна моря.

Матеріали супутникових зйомок у радіохвильовому діапазоні повинні стати важливою складовою комплексної технології побудови моделі шляхів міграції і розподілу ВВ на морі.

Для вирішення нафтогазопошукових робіт широко використовують також сейсмічну інформацію. Сейсмічні методи дозволяють вирішувати як регіональні, так і локальні задачі прогнозування. При використанні низькочастотного спектрального діапазону (10...60 Гц) глибина вивчення геологічного розрізу може досягати 10...15 км, а при використа-

нні високочастотного спектрального діапазону (5...200 *Hz*), який забезпечує високе просторове розрізнення, може досягати 1.0...1.5 *км*.

Інтерпретація часових розрізів по 10 регіональним сейсмічним профілям, відпрацьованим у північно-східній частині Чорного моря за проектом bs 05, дозволила авторам розділу виявити розломні зони і пов'язані з ними канали міграції В, аномалії АТП, зокрема, значний за розмірами риф. Виявлені канали міграції ВВ дозволяють простежувати на сейсмічних розрізах шляхи їх руху, що може бути використано для прогнозування нафтогазоносності структур і пасток у осадовій товщі геологічного розрізу.

Аналіз інтегрованої карти геологічних структур північно-східної частини Чорного і супутникових аномалій пониження температур поверхні моря свідчить про те, що більшість цих аномалій виявлена в околиці крупних тектонічних структур, закартованих сейсморозвідкою.

Супутникові аномалії пониження температури поверхні моря, за якими прогноуються газоперспективні об'єкти, виявлено на таких регіональних структурах, як вал Андрусова (Ялтинська структура),

підняття Шатського (структури Гурзуф, Артек і Алупка), Північно-Чорноморське підняття (структури Привітна, Массандра) та підняття Тетяєва. Зважаючи на рідку сітку регіональних сейсмічних профілів проекту bs 05 (відстань між ними складає 20...25 *км*). Виявлені нафтогазоперспективні структури рекомендуються для більш детального вивчення сейсморозвідувальними роботами.

При проведенні подальших пошукових робіт у північно-східній частині Чорного моря необхідно підвищити щільність сейсморозвідувальних профілів на ділянках виявлених нафтогазоперспективних структур. Зокрема, дуже перспективним уявляється виділений на сейсмічному розрізі по профілю bs 05-7 крупний риф, під яким виявлено канал потужної вертикальної міграції ВВ, що свідчить про високу вірогідність насичення колекторів цього об'єкту ВВ. В той же час, структура Ялтинська, на якій автори звіту ДП "Науканафтогаз" рекомендують буріння глибокої свердловини (проектна глибина 6 100 м), на наш погляд, не є перспективною тому, що над нею виявлена потужна струмінєва міграція ВВ, що свідчить про руйнування покладів ВВ. Тому перед бурінням глибокої свердловини на цій структурі необхідно виконати детальні сейсморозвідувальні роботи.

Література до розділу 2

1. Лялько В. И. Геотермические поиски полезных ископаемых / В. И. Лялько, М. М. Митник, Л. Д. Вульфсон, З. М. Шпортюк. — К.: Наук думка. — 1979. — 148 с.
2. Чекалюк Э. Б. Полевая геотермическая съемка / Э. Б. Чекалюк, И. М. Федорцов, В. Г. Осадчий. — К.: Наук. думка, 1974. — 102 с.
3. Van Orstrand C.E. Some possible application of geothermics to geology / C. E. Van Orstrand // Bull. Amer. Assoc. Petrol. — 1934. — 18. — № 1. — Р. 13–38.
4. Думанский С. Г. Применения геотермических исследований ниже глубины "нейтрального" слоя для поисков залежей углеводородов в условиях Днепровско-Донецкой впадины / С. Г. Думанский, И. В. Ягнышак // В кн.: Прямые методы поисков залежей нефти и газа: тез. Докл. Всесоюз. науч. конф. Ивано-Франковск, 1974. — С. 230–232.
5. Малащенко Ю. Р. Участие микроорганизмов, окисляющих газообразные углеводороды в круговороте углерода в биосфере / Ю. Р. Малащенко, В. А. Романовская, В. И. Лялько // Изв. АН СССР. Сер. биол. — 1975. — № 5. — С. 682–693.
6. Соколов В. А. Геохимия природных газов / В. А. Соколов. — М.: Недра, 1971. — 334 с.
7. Лялько В. И. Дистанционные геотермические поиски полезных ископаемых / В. И. Лялько, М. М. Митник // Геол. журн. — 1975. — 35. — № 6. — С. 27–46.
8. Геологическая деятельность углеводородокисляющих микроорганизмов / В. И. Лялько, Ю. Р. Малащенко, М. М. Митник [и др.] // Докл. АН УССР. Сер. Б. — 1978. — № 4. — С. 306–309.
9. Прямые геохимические методы поисков нефтяных и газовых месторождений в СССР / Ф. А. Алексеев [и др.] // В кн.: Проблемы геохимических поисков нефти и газовых месторождений и вопросы ядерной геологии. — М.: Недра, 1968. — С. 5–57.
10. Лялько В. И. Исследование особенностей температурного поля поверхности земли на нефтегазовых площадях Днепровско-Донецкой впадины для выявления критериев дистанционных поисков нефти и газа / В. И. Лялько, М. М. Митник, Л. Д. Вульфсон // Докл. АН УССР. — Сер. Б. — 1997. — № 7. — С. 600–602.
11. Лялько В. И. Тепломассоперенос в литосфере / В. И. Лялько. — К.: Наук. думка, 1985. — 260 с.
12. Poley J. Ph. Geothermal prospecting. — In: Delineation of shallow salt Domes and surface faults by temperature measurements / J. Ph. Poley, J. Van Stevenick // Geoph. Prospect. — 1970. — 18. — № 4. — Р. 666–699.
13. Куртнер Д. А. Расчет и регулирование теплового режима в открытом и защищенном грунте / Д. А. Куртнер, А. Ф. Чудновский. — Л.: Гидрометеиздат, 1969. — 299 с.
14. Чудновский А. Ф. Теплофизика почвы / А. Ф. Чудновский. — М.: Наука, 1976. — 352 с.
15. Кондратьев К. Я. Радиационный режим наклонных поверхностей / К. Я. Кондратьев, Э. И. Пивоваров, М. П. Федорова. — Л.: Гидрометеиздат, 1978. — 215 с.
16. Лялько В. И. Исследование процессов переноса тепла и вещества в земной коре / В. И. Лялько, М. М. Митник. — К.: Наук. думка, 1978. — 150 с.
17. Лялько В. И. Геотермические поиски полезных ископаемых / В. И. Лялько [и др.]. — К.: Наук. думка, 1979. — 147 с.
18. Лялько В. И. Об одной математической модели про-

- цесса гидротермального рудообразования / В. И. Лялько, М. М. Митник, В. Г. Ткаченко // В кн.: Гидрогеология и инженерное грунтоведение. — К.: Наук. думка, 1970. — С. 237–250.
19. Лялько В. И. Использование дистанционной тепловой и спектрометрической съемки для поисков нефтегазовых залежей и термальных вод / В. И. Лялько, М. М. Митник, Л. Д. Вульфсон. — Киев, препринт, ИГН АН УССР, 1981. — 46 с.
 20. Гладун В. В. Нафтогазоперспективні об'єкти України: Дніпровсько-Донецький авлакоген / В. В. Гладун. — К.: Наук. думка, 2001. — 324 с.
 21. Нефтегазоперспективные объекты Украины: Нефтегазоносность фундамента осадочных бассейнов / И. И. Чебаненко, В. А. Краюшкин, В. П. Ключко [и др.]. — К.: Наук. думка, 2002. — 296 с.
 22. Доленко Г. Н. Закономерности размещения месторождений нефти и газа Днепровско-Донецкой нефтегазоносной провинции / Г. Н. Доленко [и др.]. — К.: Наук. думка, 1968. — 215 с.
 23. Розанов Л. Н. Связь размещения нефтегазоносности в платформенных областях с новейшими движениями по разломам фундамента / Л. Н. Розанов // Закономерности образования и размещения промышленных месторождений нефти и газа: Сб. ст. / АН УССР. — К.: Наук. думка, 1975. — С. 104–110.
 24. О возможной роли динамики напряженного состояния земной коры в формировании и размещении залежей нефти и газа / В. В. Иванов [и др.] // Докл. АН СССР. — 1978. — № 4. — С. 930–933.
 25. Hunt J. M. Petroleum geochemistry and geology. — San Francisco: W. H. Freeman and Co., 1979. — 617 p.
 26. Солдатенко В. П. Результаты применения новой методики оценки перспектив нефтегазоносности осадочных бассейнов в условиях Днепровско-Донецкой впадины / В. П. Солдатенко, М. М. Довбнич, Я. В. Мендрий // Доповіді НАН України. — 2006. — № 12. — С. 106–110.
 27. Тяпкин К. Ф. Проблемы изучения разломно-блоковой тектоники докембрия с позиций новой ротационной гипотезы формирования структур в земной коре / К. Ф. Тяпкин // Геол. журн. — 1977. — 37. — вып. 6. — С. 3–17.
 28. Результаты использования систем разломов фундамента для оценки перспектив нефтегазоносности Днепровско-Донецкой впадины / К. Ф. Тяпкин [и др.] // Геоинформатика. — 2007. — № 1. — С. 38–45.
 29. Вершовский В. Г. Тектонодинамические критерии формирования природных резервуаров УВ / В. Г. Вершовский, В. А. Гридин, М. П. Голованов // Обз. инфор. Сер.: геология и разведка газовых и газоконденсатных месторождений. — М.: ООО "ИРЦ Газпром", 2001. — 47 с.
 30. Новое направление геологоразведочных работ на нефть и газ в Днепровско-Донецкой впадине / В. В. Крот [и др.] // Геол. журн. — 1991. — № 5. — С. 21–27.
 31. Азімов О. Т. Тектонічні аспекти комплексної інтерпретації даних дистанційного зондування Землі та геолого-геофізичних робіт (на прикладі Охтирської ділянки Північного борту ДДЗ) / О. Т. Азімов // Теоретичні та прикладні аспекти геоінформатики: 36. наук. пр. — К.: ЦММ ІГН НАН України, 2007. — С. 187–205.
 32. Азімов О. Т. Комплексний аналіз даних аерокосмічних і геолого-геофізичних досліджень тектонічної будови південного борту ДДЗ (у зв'язку з оцінкою перспектив нафтогазоносності) / О. Т. Азімов // Теоретичні та прикладні аспекти геоінформатики: 36. наук. пр. — К.: ЦММ ІГН НАН України, 2007. — С. 263–280.
 33. Ключко В. П., Краюшкин В. А. и др. Геологические критерии поисков новых объектов на нефть и газ на территории Украины / В. Б. Порфирьев [и др.]. — К.: Наук. думка, 1977. — 152 с.
 34. Boulton P. J., Hillis R. R., Bierbrauer K. Basement controls on fault development in the Penola Trough, Otway Basin, and implications for fault-bounded hydrocarbon traps / P. J. Lyon [et al.] // Austral. J. Earth Sci. — 2007. — Vol. 54. — № 5. P. — 675–689.
 35. Лукін О. Ю. Прогноз пасток вуглеводнів комбінованого типу з використанням сучасних інформаційних технологій дистанційного зондування Землі / О. Ю. Лукін, В. В. Гладун, О. Т. Азімов // Азово-Чорноморський полігон изучення геодинамики и флюїдо-динамики формирования месторождений нефти и газа: Сб. тез. докл. X Междунар. конф. "Крым-2012" (г. Ялта, 10-14 сент. 2012 г.). — Симферополь: "Асоц. геологов г. Симферополя", 2012. — С. 50–53.
 36. Fault systems and their control of deep gas accumulations in Xujiaweizi area / S. Yonghe [et al.] // Acta Geologica Sinica (Engl. ed.). — 2012. — Vol. 86. — № 6. — P. 1547–1558.
 37. Differential hydrocarbon accumulation controlled by structural styles along the southern and northern Tianshan thrust belt / S. Yan [et al.] // Ibid. — 2013. — Vol. 87. — № 4 — P. 1109–1119.
 38. Азімов О. Т. До питання про використання дистанційних аерокосмічних методів при вивченні закономірностей просторового розташування покладів вуглеводнів (на прикладі Дніпровсько-Донецької западини) / О. Т. Азімов // Матеріали Міжнар. наук. конф. "Роль вищих навчальних закладів у розвитку геології" (до 70-річчя геологічного факультету Київського національного університету імені Тараса Шевченка) (31 берез.-3 квіт. 2014 р., Київ, Україна). — К.: ТОВ НВП "Ніка-Центр", 2014. — С. 112–113.
 39. Гладун В. В. Дистанционные аэрокосмические исследования с целью прогнозирования комбинированных углеводородных ловушек в Днепровско-Донецкой впадине / В. В. Гладун, А. Е. Лукин, А. Т. Азімов // Аерокосмічні спостереження в інтересах сталого розвитку та безпеки: Матеріали доп. четвертої Всеукр. конф. "ГЕО-UA 2014" (Київ, 26-30 травня 2014 р.). — К.: Наук. думка, 2014. — С. 133–134.
 40. Гавриш В. К. Роль глибинних розломів у міграції флюїдів / В. К. Гавриш // Геол. журн. — 1974. — № 34. — Вип. 4. — С. 16–26.
 41. Зарипов Р. Б. Обзор современных методов повышения детализации метеорологических полей // Дина-

- мика окружающей среды и глобальные изменения климата. — 2010. — № 1. — С. 1–11.
42. Оцінка нафтогазоперспективності територій з використанням системного підходу та космічної інформації для наступної геофізичної розвідки / Т. О. Архіпова [та ін.] // Геоінформатика. — 2006. — № 3. — С. 40–45.
 43. Козлов З. В. Прогноз залежностей углеводородов в Днепро-Донецкой впадине на основе комплексной оценки космической информации ДЗЗ и наземных наблюдений / З. В. Козлов, А. Е. Лукин, А. Д. Федоровский // Доп. НАН України. — 2007. — № 2. — С. 111–115.
 44. Колмогоров А. Н. Интерполирование и экстраполирование стационарных случайных последовательностей / А. Н. Колмогоров // Изв. АН СССР. Серия матем. — 1941. — № 5. — С. 3–11.
 45. Элементарное введение в геостатистику / М. Ф. Каневский, В. В. Демьянов, Е. А. Савельева [и др.] // Науч.-техн. информ. ВИНТИ РАН. Сер. Проблемы окружающей среды и природных ресурсов. — М., 1999. — 150 с.
 46. Азімов О. Т. Геоінформатика у проблемі створення технологічної схеми обробки/інтерпретації даних аерокосмічних зйомок при вирішенні геологічних завдань / О. Т. Азімов // Матеріали IX Міжнар. наук. конф. “Моніторинг геологічних процесів” (Київ, 14–17 жовтня, 2009 р.). — К.: КНУ ім. Т. Шевченка, 2009. — С. 235–238.
 47. Азімов О. Геоінформаційні технології у концепції створення узагальненої схеми обробки/інтерпретації даних дистанційного зондування Землі / О. Азімов // Вісн. Київ. нац. ун-ту ім. Т. Шевченка. Геологія. — 2010. — Вип. 50. — С. 37–40.
 48. Azimov O. The modular flowchart of transformation, decoding and interpretation of remote sensing data (geologic objectives solving) [Електронний ресурс] / O. Azimov // Xth Intern. Conf. on Geoinformatics — Applied Aspects / Archives / EAGE. — Режим доступу: <http://www.earthdoc.org/detail.php?pubid=51624>. — Назва з екрану.
 49. Азімов О. Т. Методологія розрізнення диз’юнктивних дислокацій за матеріалами дистанційних зйомок. Ст. 6. Комп’ютеризовані методи тематичного дешифрування та інтерпретації даних дистанційного зондування Землі / О. Т. Азімов // 36. наук. пр. УкрДГРІ. — К., 2011. — № 2. — С. 102–142.
 50. Азімов О. Т. Технологічна модульна схема оброблення-дешифрування-геологічної інтерпретації матеріалів аерокосмічних знімків / О. Т. Азімов // Геоінформатика. — 2014. — № 2 (50). — С. 43–55.
 51. Азімов О. Т. Комп’ютерна технологія комплексного аналізу та інтерпретації аерокосмічних і геолого-геофізичних даних (вирішення нафтогазоперспективних завдань) / О. Т. Азімов, В. І. Лялька // Азово-Чорноморський полігон изучения геодинамики и флюидодинамики формирования месторождений нефти и газа: Сб. докл. X Междунар. конф. “Крым-2012”. — Симферополь: “Ассоц. геологов”, 2012. — С. 139–145.
 52. Аэрокосмические методы геологических исследований / Под ред. А. В. Перцова. — СПб.: Изд-во СПб карт-фабрики ВСЕГЕИ, 2000. — 316 с.
 53. Смирнова И. О. ГИС-технология обработки и интерпретации материалов дистанционного зондирования для изучения тектонических критериев размещения месторождений углеводородов / И. О. Смирнова, А. А. Русанова // Отч. геология. — 1999. — № 6. — С. 32–40.
 54. Словник з дистанційного зондування Землі / [за ред. В. І. Лялька та М. О. Попова]. — К.: СМП “Аверс”, 2004. — 170 с.
 55. Чирвинская М. В. Глубинная структура Днепровско-Донецкого авлакогена по геофизическим данным / М. В. Чирвинская, В. Б. Соллогуб. — Киев: Наук. думка, 1980. — 180 с.
 56. Хоменко В. А. Девон Днепровско-Донецкой впадины (и сопредельных территорий) / В. А. Хоменко. — Киев: Наук. думка, 1986. — 116 с.
 57. Геология и нефтегазоносность Днепровско-Донецкой впадины. Стратиграфия / Д. Е. Айзенберг [и др.]. — Киев: Наук. думка, 1988. — 148 с.
 58. Отчет о региональных работах КМПВ и МОГТ на Хухрянской площади, выполненных сейсморазведочной партией 2 86 в 1986-1987 гг. / КГРЭ. Рук. М. И. Буцева. — № ГР 39-86-19/20. — Киев, 1988. — 77 с.
 59. Геология и нефтегазоносность Днепровско-Донецкой впадины. Глубинное строение и геотектоническое развитие / В. К. Гавриш [и др.]. — Киев: Наук. думка, 1989. — 208 с.
 60. Опыт-методические работы в северо-западной части ДДВ: Отчет ОМП 20 87 за 1987-1990 гг. (сейсмо-стратиграфические исследования) (в четырех книгах) / КГРЭ. Рук. В. А. Редколис. — № ГР 39-87-4/25. — Киев, 1990. — Книга III — текст. — 139 с.
 61. Стратиграфия девона Днепровско-Донецкой впадины / В. А. Разницын [и др.] // Тектоника и стратиграфия. — 1992. — Вип. 32. — С. 74–83.
 62. Анализ эффективности геофизических исследований ГПП “Укргеофизика”: Отчет по теме 113/89 (в 8 книгах) / [отв. исполнитель] / ГПП “Укргеофизика”. Рук. С. Н. Стомба. — № ГР 39-91-82/2. — Киев, 1993. — Книга II. Текстовое приложение: Интерпретация и обобщение сеймо-стратиграфических исследований по региональным профилям МОГТ в северо-западной части ДДВ, выполненные тематической партией 21 КГРЭ в 1990–1993 гг. — 122 с.
 63. Теоретичні основи нетрадиційних геологічних методів пошуку вуглеводнів / М. І. Євдошук [та ін.]. — К.: НТП “Нафтогаз-прогноз”, 2001. — 288 с.
 64. Тектоника нефтегазоносных областей юго-запада СССР (Объясн. записка к Тектон. карте нефтегазонос. областей юго-запада СССР с использованием материалов косм. съемок. — М-б 1:500 000) / Р. Г. Гарецкий [и др.]. — М.: Наука, 1988. — 85 с.
 65. Геологические критерии поисков новых объектов на нефть и газ на территории Украины / В. Б. Порфирьев [и др.]. — Киев: Наук. думка, 1977. — 152 с.
 66. Геология и нефтегазоносность Днепровско-Донецкой впадины. Глубинные разломы и комбинированные

- нефтегазоносные ловушки / В. К. Гавриш [и др.]. — К.: Наук. думка, 1991. — 172 с.
67. Багатоспектральні методи дистанційного зондування Землі в задачах природокористування / [Лялько В.І. та ін.]; за ред. В. І. Лялька і М. О. Попова. — К.: Наук. думка, 2006. — 358 с.
 68. Бусыгин Б. С. ГИС-технология поисков золота в Западном Узбекистане / Б. С. Бусыгин, С. Л. Никулин, В. А. Бойко // Геоінформатика. — 2006. — № 1. — С. 44–49.
 69. Временные методические рекомендации по аэрокосмогеологическим исследованиям и использование их при нефтегазопроисловых работах / В. С. Готынин [и др.]. — М.: ИГиРГИ, 1987. — 158 с.
 70. Нікулін С. Л. Геоінформаційна технологія вирішення прогнозно-пошукових задач за комплексом геолого-геофізичних і космічних даних: автореф. дис. ... д-ра геол. наук: 04.00.05 “Геологічна інформатика” / С. Л. Нікулін. — Київ: нац. ун-т ім. Тараса Шевченка. — К., 2013. — 44 с.
 71. Серокуров Ю. Н. Космические методы при прогнозе и поисках месторождений алмазов / Ю. Н. Серокуров, В. Д. Калмыков, В. М. Зуев. — М.: ООО “Недра-Бизнес-центр”, 2001. — 198 с.
 72. Системний підхід до вивчення нафтогазоносних територій дистанційними методами на прикладі ДК “Укргазвидобування” / В. В. Дячук [та ін.] // Геоінформатика. — 2002. — № 1. — С. 70–76.
 73. Спутниковые методы поиска полезных ископаемых / [Азимов А. Т., Апостолов А. А., Архипов А. И. и др.]; под ред. акад. НАН Украины В. И. Лялька и докт. техн. наук М. А. Попова. — Киев: Карбон-Лтд, 2012. — 436 с.
 74. Suzen M. L. Filtering of satellite images in geological lineament analyses: an application to a fault zone in Central Turkey / M. L. Suzen, V. Toprak // Int. J. Remote Sensing. — 1998. — Vol. 19. — № 6. — P. 1101–1114.
 75. Геоиндикационное моделирование (с использованием материалов аэро- и космических съемок) / Б. Н. Можаяв [и др.]. — Л.: Недра, 1984. — 247 с.
 76. Азімов О. Т. Тектонічні аспекти комплексної інтерпретації даних дистанційного зондування Землі та геолого-геофізичних робіт (на прикладі Охтирської ділянки Північного борту ДДЗ) / О. Т. Азімов // Теоретичні та прикладні аспекти геоінформатики: 36. наук. пр. — К.: ЦММ ІГН НАН України, 2007. — С. 187–205.
 77. Дворянин Є. С. Структурно-тектонічна карта Дніпровсько-Донецької западини (Поясн. записка, м-б 1:200 000) / Є. С. Дворянин. — К.: ДГП “Укргеофізика” Держкомгеології України, 1996. — 45 с.
 78. Рослий І. С. Геологічні дослідження на Великобагачанській площі й перспективи дорозвідки її структур / І. С. Рослий, М. О. Скребець // Мінерал. ресурси України. — 2011. — № 4. — С. 28–35.
 79. Стрижак В. Перспективні напрями параметричного буріння в східному нафтогазоносному регіоні України / В. Стрижак, І. Рослий, С. Вакарчук // Геолог України. — 2011. — № 3–4. — С. 70–76.
 80. Узагальнення геолого-геофізичних даних по геологічній будові ДДЗ та палеогеографічних умовах формування нижньокам'яновугільних відкладів за результатами регіональних сейсмостратиграфічних досліджень та ГДС: Звіт по темі 113/96 (в 4 книгах) / ДГП “Укргеофізика”. Кер. С. М. Стовба. — № ДР У-96-56/13. — К., 1999. — Книга 1 — текст. — 168 с.
 81. Чирвинская М. В. Глубинная структура Днепровско-Донецкого авлакогена по геофизическим данным / М. В. Чирвинская, В. Б. Соллогуб. — К.: Наук. думка, 1980. — С. 50–67.
 82. Хоменко В. А. Девон Днепровско-Донецкой впадины (и сопредельных территорий) / В. А. Хоменко. — К.: Наук. думка, 1986. — С. 60–70.
 83. Стратиграфия девона Днепровско-Донецкой впадины / В. А. Разницын [и др.] // Тектоника и стратиграфия. — 1993. — Вып. 33. — С. 74–83.
 84. Анализ эффективности геофизических исследований ГПП “Укргеофізика”: Отчет по теме 113/89 (в 8 книгах) / ГПП “Укргеофізика”. Рук. С. Н. Стовба. — № ГР 39-91-82/2. — Киев, 1993. — Книга I. Текст. — 235 с.
 85. Теоретичні основи нетрадиційних геологічних методів пошуку вуглеводнів / [Євдошук М. І. та ін.]; під ред. М. І. Євдошука. — К.: НТП “Нафтогаз-прогноз”, 2001. — 288 с.
 86. Оценка нефтегазо-перспективности участков территории методом пространственной интерполяции Колмогорова / Л. Ф. Даргейко [и др.] // Доп. НАН України. — 2011. — № 11. — С. 100–103.
 87. Azimov O. T. Study the regularities of the area variability of oil and gas prospective sediments with using the spatial interpolation computerized methods [Електронний ресурс] / О. Т. Azimov, L.F.Dargeiko // XIIth Intern. Conf. on Geoinformatics — Applied Aspects / Archives / EAGE. — Режим доступу: <http://www.earthdoc.org/publication/publicationdetails/?publication=68167>. — Заголовок з екрану.
 88. Азімов А. Т. Использование компьютеризованных методов пространственной интерполяции данных для оценки закономерностей площадной изменчивости толщин нефтегазоперспективных отложений / А. Т. Азимов, Л. Ф. Даргейко, А. Г. Мычак // Азово-Черноморский полигон изучения геодинамики и флюидодинамики формирования месторождений нефти и газа: Сб. тез. докл. XI Междунар. конф. “Крым-2013” (Ялта, 16-20 сент. 2013 г.). — Симферополь: АГЕО, 2013. — С. 43–44.
 89. Азімов О. Т. Програмно-методичне забезпечення просторової інтерполяції даних для оцінки закономірностей площевої мінливості товщин нафтогазоперспективних відкладів / А. Т. Азімов, Л. Ф. Даргейко // Азово-Черноморский полигон изучения геодинамики и флюидодинамики формирования месторождений нефти и газа: Сб. докл. XI Междунар. конф. “Крым-2013”. — Симферополь: АГЕО, 2013. — С. 158–165.
 90. Азімов О. Т. Інформаційно-аналітичне забезпечення регіональної оцінки мінливості товщин відкладів, перспективних на пошуки вуглеводнів / А. Т. Азімов, Л. Ф. Даргейко // Теоретичні та прикладні аспекти гео-

- інформатики: Зб. наук. пр. — Вип. 11. — К.: ЦММ ІГН НАН України, 2014. — С. 43–58.
91. Атлас геологического строения и нефтегазоносности Днепровско-Донецкой впадины / Ред. коллегия: Ю. А. Арсирый [и др.]. — Киев: Мин-во геологии СССР, УкрНИГРИ, 1984. — 190 с.
 92. Атлас родовищ нафти і газу України: в 6 т. / Колектив авт. — Т. II: Східний нафтогазоносний регіон — Львів: Вид-во “Центр Європи”, 1998. — С. 497–924.
 93. Вивчення літолого-фаціальних, біостратиграфічних та структурно-геологічних особливостей будови нижнього карбону ДДЗ як основи прогнозу нафтогазоносності: Звіт про НДР (заключний; 2001–2004 рр.; договір 288) / ЧВ УкрДГРІ. Кер. А. Вертюх — № ДР 0104U006685. — Чернігів, 2004. — Розділ 2. Виконати біостратиграфічне розчленування та розробити принципи кореляції різнофаціальних комплексів нижнього карбону Дніпровсько-Донецької западини (загальна кількість кн. — 3). — Кн. 2. Каталог. — Чернігів, 2004. — 264 с.
 94. Лазарук Я. Г. Теоретичні аспекти та методика пошуків покладів вуглеводнів у неантиклінальних пастках (на прикладі відкладів ХІа мікрофауністичного горизонту Дніпровсько-Донецької западини) / Я. Г. Лазарук. — К.: УкрДГРІ, 2006. — 110 с.
 95. Редколіс В. Умови осаконакопичення, формування неантиклінальних пасток вуглеводнів в ХІа м.ф.г. за даними сейсмостратиграфічних досліджень у північній частині Срібнянської депресії Дніпровсько-Донецької западини / В. Редколіс, О. Вергуненко // Геолог України. — 2011. — № 3–4. — С. 77–84.
 96. Виявлення нових родовищ вуглеводнів з покладами в піщаних колекторах різного генезису: Звіт з НТП (заключний; договір № 12 від 01.03.2011 р. з НАН України) / ІГН НАН України. Кер. О. Лукін. — № ДР 0111U001844. — К., 2011. — 468 с.
 97. Элементарное введение в геостатистику / М. Ф. Каневский [и др.] // Науч.-техн. информ. ВИНТИ РАН. Сер. Проблемы окружающей среды и природных ресурсов. — М., 1999. — 150 с.
 98. Азімов О. Т. Нові можливості вивчення структурно-тектонічної будови нафтогазоносних територій із застосуванням просторової інтерполяції / О. Т. Азімов // Матеріали Міжнар. наук. конф. “Геологія горючих копалин: досягнення та перспективи” (2–4 верес. 2015 р., Київ). — К.: ІГН НАН України, ПВНЗ “Ін-т Тутковського”, 2015. — С. 31–34.
 99. Азімов О. Т. Нові можливості обробки та геологічної інтерпретації даних на основі використання математичних методів просторової інтерполяції / О. Т. Азімов // Матеріали Міжнар. наук.-техн. конф. “Перспективи нарощування ресурсної бази нафтогазової енергетики” (м. Івано-Франківськ, 25–27 трав. 2016 р.). — Івано-Франківськ: ІФТУНГ, 2016. — С. 267–272.
 100. Азімов О. Т. Кількісна оцінка аномалій геомагнітного поля від покладів вуглеводнів як елемент синергетичного методу обробки та інтерпретації комплексу дистанційних і геофізичних даних / О. Т. Азімов // Матеріали VI Міжнар. наук. конф. “Моніторинг небезпечних геологічних процесів та екологічного стану середовища” (Київ, 6–8 жовт. 2005 р.). — К.: КНУ ім. Т. Шевченка, 2005. — С. 66–68.
 101. Азімов О. Т. Аналітичний розрахунок аномалій магнітного поля від покладів нафти і газу / О. Т. Азімов // Вісн. Київ. нац. ун-ту ім. Т. Шевченка. Геологія. — 2006. — Вип. 38–39. — С. 90–93.
 102. Азімов О. Т. Аналітичний розрахунок аномалій магнітного поля від вуглеводневих покладів шельфових зон — складова синергетичного підходу обробки-інтерпретації дистанційних і геофізичних даних / О. Т. Азімов // Нафта і газ України: Матеріали 9-ої Міжнар. наук.-практ. конф. “Нафта і газ України-2013” (Яремче, 4–6 верес. 2013 р.). — Львів: “Центр Європи”, 2013. — С. 148–150.
 103. Магниторазведка. Справочник геофизика / Под ред. В. Е. Никитского, Ю. С. Глебовского. — М.: Недра, 1980. — 367 с.
 104. Логачев А. А. Магниторазведка / А. А. Логачев. — Л.: Недра, 1968. — 296 с.
 105. Березкин В. М. Применение магниторазведки для поисков месторождений нефти и газа / В. М. Березкин, А. М. Лощаков, М. И. Николаев // Прикладная геофизика. — 1982. — Вып. 103. — С. 128–136.
 106. Аналіз результатів бурових робіт на прикерченському шельфі Чорного моря / В. Гладун [та ін.] // Геодинаміка, тектоніка і флюїдодинаміка нафтогазоносних регіонів України: Сб. докл. на VII Міжнарод. конф. “Крим-2007” (АР Крим, Симферопольський р-н, пгт. Николаевка, 10–16 сент. 2007 г.). — Симферополь: “Асоц. геологов г. Симферополя”, 2008. — С. 179–289.
 107. Атлас родовищ нафти і газу України. В шести томах. Т. 6. Південний нафтогазоносний регіон / Колектив авт. — Львів: Вид-во “Центр Європи”, 1998. — 226 с.
 108. Нафтогазоносний потенціал акваторій Чорного і Азовського морів. У трьох томах. Т. 3. Нафтогазоносний потенціал Керченсько-Таманського шельфу Чорного моря, континентального схилу і глибоководної западини Чорного моря / Колектив авт. — К.: УНГІ, 1996. — 175 с.
 109. Звіт про пошукові сейсморозвідувальні роботи МВХ СГТ на Керченському шельфі Чорного моря в 2001–2003 рр. (титул 406) в двох книгах / ДГП “Укргеофізика”. Кер. М. В. Ночвай. — № ДР У-01-274/21. — К., 2003. — Кн. 1 — текст звіту. — 94 с.
 110. Звіт про дослідження з узагальнення та комплексної інтерпретації геолого-геофізичних матеріалів в межах Прикерченського шельфу Чорного моря / ДГП “Укргеофізика”. Кер. М. В. Ночвай. — № ДР У-01-274/21. — К., 2003. — 93 с.
 111. Азімов О. Т. Особливості комп’ютерної обробки та геологічної інтерпретації даних багатозональних космознімків для шельфових зон / О. Т. Азімов, П. М. Чепіль, В. І. Шульга // Нафта і газ України: Зб. наук.

- пр.: Матеріали 8-ої Міжнар. наук.-практ. конф. "Нафта і газ України — 2004" (Судак, 29 верес. — 1 жовт. 2004 р.) у 2-х т. — Львів, 2004. — Т. 1. — С. 31–34.
112. Азимов А. Т. Об эффективности использования современных информационных систем дистанционного зондирования Земли при нефтегазопроисловых работах на шельфе / А. Т. Азимов, П. М. Чепиль // Новые идеи в геологии и геохимии нефти и газа. Нефтегазовые системы осадочных бассейнов. — М.: ГЕОС, 2005. — С. 32–34.
 113. Багрій І. Д. Прогнозування розломних зон підвищеної проникності гірських порід для вирішення геоекологічних та пошукових задач / І. Д. Багрій. — К.: ІГН НАН України, 2003. — 150 с.
 114. Применение оптимального комплекса нетрадиционных методов с целью прогнозирования перспективных нефтегазоносных площадей на морских шельфах / И. Багрій [и др.] // Геолог України. — 2005. — № 3. — С. 20–29.
 115. Використання оптимального комплексу приповерхневих структурно-атмогеохімічних методів з метою прогнозування перспективних нафтогазоносних площ на північно-східному шельфі Чорного моря / І. Д. Багрій [та ін.]. // Проблеми геодинамики и нефтегазоносности Черноморско-Каспийского региона: Тез. докл. на V Междунар. конф. "Крым-2003" (пгт. Гурзуф, 8–13 сент. 2003 г.). — Симферополь, 2003. — С. 94–96.
 116. Березкин В. М. Применение магниторазведки для поисков месторождений нефти и газа / В. М. Березкин, А. М. Лошаков, М. И. Николаев // Прикладная геофизика. — 1982. — Вып. 103. — С. 128–136.
 117. Кобранова В. Н. Петрофизика / В. Н. Кобранова. — М.: Недра, 1986. — 392 с.
 118. Березкин В. М. Метод полного градиента при геофизической разведке / В. М. Березкин. — М.: Недра, 1988. — 190 с.
 119. Результаты комплексных геофизических исследований на Виноградовско-Дорошевской и других площадях ДДВ с целью прогнозирования нефтегазоперспективных структур: Отчет по титулу 235/87 за 1987-1989 гг. в 18-и книгах / ЦГЭ. Рук. В. С. Попович, А. И. Ингеров. — № ГР 39-87-61/16. — Днепропетровск, 1989. — Кн. I. Текст отчета. — 311 с.
 120. Магнитометрические исследования при региональном и локальном прогнозе нефтегазоносности земной коры Днепровско-Донецкой впадины / М. И. Орлюк [и др.]. // Геофиз. журн. — 1998. — 20, № 3. — С. 92–102.
 121. Орлюк М. И. Магнитная модель земной коры юго-запада Восточно-Европейской платформы: дис. ... д-ра геол. наук: 04.00.22 / Михаил Иванович Орлюк. — Ин-т геофизики НАН Украины. — Киев, 1999. — 401 с.
 122. Максимчук В. Ю. Магнітні властивості відкладів нижнього карбону Селюхівського родовища Дніпровсько-Донецької западини / В. Ю. Максимчук, Ю. М. Городиський, Р. С. Кудеравець / Зб. наук. пр. УкрДГРІ. — К., 2003. — № 1. — С. 120–125.
 123. Орлюк М. И. Магнітні моделі типових нафтогазових структур / М. И. Орлюк // Нафтова і газова пром-сть. — 1997. — № 2. — С. 9–11.
 124. Смахов Е. М. Современное состояние проблемы трещинных коллекторов / Е. М. Смахов // Труды Второго Всесоюзного совещания по трещинным коллекторам нефти и газа. — М.: Недра, 1965. — С. 13–24.
 125. Королев А. В. Структурные условия размещения послемагматических руд / А. В. Королев, П. А. Шехтман. — М.: Недра, 1965. — 507 с.
 126. Атлас "Геологія і корисні копалини України" / Л. С. Галецький. — К.: ДП "Такі Справи", 2001. — 168 с.
 127. Багатоспектальні методи дистанційного зондування Землі в задачах природокористування / За редакцією В. І. Лялька і М. О. Попова. — К.: Наукова думка, 2006. — 360 с.
 128. Аэрокосмические исследования на региональном этапе геологоразведочных работ на нефть и газ / Д. М. Трофимов, Л. П. Полканова. — М.: Недра, 1988. — 160 с.
 129. Кац Я. Г. Основы космической геологии / Я. Г. Кац, А. В. Тевелев, А. И. Полетаев. — М.: Недра, 1988. — 235 с.
 130. Кронберг П. Дистанционное изучение Земли. Основы и методы дистанционных исследований в геологии / П. Кронберг. — М.: Мир, 1988. — 349 с.
 131. Чебаненко И. И. Теоретические аспекты тектонической делимости земной коры / И. И. Чебаненко. — К.: Наукова думка, 1977. — 88 с.
 132. Тяпкин К. Ф. Физика Земли / К. Ф. Тяпкин. — К.: Вища шк., 1998. — 312 с.
 133. Незаметдинова С. С. Анализ ориентировки региональных разрывных нарушений нефтегазоносных областей на примере Предкавказья: автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата геол.-мин. наук / С. С. Незаметдинова. — Л., 1970. — 17 с.
 134. Ходоровский А. Я. Метод количественного выделения систем линеаментов / А. Я. Ходоровский, А. А. Апостолов // Доповіді НАН України. — 2013. — №1. — С.111–117.
 135. Муди Дж. Сдвиговая тектоника / Дж. Муди, М. Хилл // В сб.: Вопросы современной зарубежной тектоники. — М.: Изд-во ИЛ, 1960. — С. 265–333.
 136. Морфоструктурные методы изучения тектоники закрытых платформенных нефтегазоносных областей / И. Г. Гольбрайх [и др.]. — Л.: Недра, 1968. — 151 с.
 137. Космическая информация в геологии / Коллектив авторов. — М.: Наука, 1983. — 536 с.
 138. Ходоровский А. Я. Количественное изучение разрывных нарушений для целей прогнозирования в условиях Украинского щита (по материалам аэрофотосъемки): Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата геол.-мин. наук. / Артур Яковлевич Ходоровский. — Львов, 1979. — 22 с.
 139. Ходоровский А. Я. Анализ зависимости количества выделяемых систем линеаментов от ширины интервала группирования / А. Я. Ходоровский, А. А. Апостолов // Доповіді Національної Академії наук України. — 2014. — № 9 — С. 79–85.
 140. Нечаев Ю. В. Анализ тектонической раздробленнос-

- ти очаговой области Спитакского землетрясения 1988 г. / Ю. В. Нечаев, Е. А. Рогожин // Докл. АН СССР. — 1991. — Т. 320, № 6. — С. 1441–1445.
141. Саньков В. А. Глубины проникновения разломов / В. А. Саньков // Новосибирск: Наука, 1989. — 136 с.
 142. Шерман С. И. Физический эксперимент в тектонофизике и теория подобия / С. И. Шерман // Геология и геофизика. — 1984. — №3. — С. 8–18.
 143. Нагорский В. А. Оценка сопряженности геологических объектов и признаков как основа количественного прогнозирования / В. А. Нагорский // В сб. Вопросы геохимии, минералогии, петрологии и рудообразования. — К.: Наукова думка, 1970. — С. 163–169.
 144. Нагорский В. А. Система “Киев-Геопрогноз” как новый уровень пространственно-стохастического геолого-геофизической, геохимической и аэрокосмической информации для эффективного прогнозирования месторождений полезных ископаемых / В. А. Нагорский, А. В. Нетреба, В. С. Тепикин // Теоретичні та прикладні аспекти геоінформатики. — Київ, 2004. — Т.1. — С. 181–189.
 145. Пространственно-вероятностное прогнозирование / В. А. Нагорский [и др.] // Основы научного прогноза месторождений рудных и нерудных ископаемых. — Л.: ВСЕГЕИ, 1971. — С. 168–169.
 146. Возможности современных технологий ДЗЗ и ГИС при прогнозировании месторождений нефти и газа / материалы Девятой Международной Конференции пользователей ESRI и Leica Geosystems в Украине “Геоинформационные технологии в управлении территориальным развитием” / В. И. Лялько [и др.]. — Ялта, 22–26 мая, 2006 г.
 147. Ходоровский А. Я. Прогноз перспективности территории на обнаружение залежей полезных ископаемых по материалам ДЗЗ / А. Я. Ходоровский, А. А. Апостолов, А. Б. Востоков // Восьмая Всероссийская открытая конференция “Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса”, Москва, ИКИ РАН, 15–19 ноября 2010. — М.: ИКИ РАН, 2010. — С. 264–265.
 148. Атлас родовищ нафти та газу України. В шести томах. Т. I. Східний нафтогазоносний регіон / Колектив авт. — Львів: Вид-во “Центр Європи”, 1998. — 1421 с.
 149. Структурно-тектонічна карта ДДЗ масштаб 1:200000 / головний редактор Є. С. Дворянин, 1996. — 45 с.
 150. Атлас родовищ нафти і газу України Південний нафтогазоносний регіон т. IV / Колектив авт. — Львів: Вид-во “Центр Європи”, 1998. — 224 с.
 151. Пасынков А. А. Морфотектоника Крымского полуострова и ее связь с развитием экзогенных геологических процессов / А. А. Пасынков, Л. Г. Плахотный, В. М. Горбатюк // Геологический журнал, 1992. — №2. — С. 79–91.
 152. Сучасна динаміка рельєфу України / В. П. Палієнко, А. В. Матюшко, М. Є. Барщевський [та ін.]. — К.: Наук. думка, 2005. — 268 с.
 153. Багатоспектральні методи дистанційного зондування Землі в задачах природокористування / За ред. В. І. Лялька і М. О. Попова. — К.: Наукова думка, 2006. — 360 с.
 154. Тектоника нефтегазоносных областей юго-запада СССР (Объяснительная записка к Тектонической карте нефтегазоносных областей юго-запада СССР с использованием материалов космических съемок; масштаб 1:500000) / Р. Г. Гарецкий, В. В. Глушко, Н. А. Крылов [и др.]. — М.: Наука, 1988. — 85 с.
 155. О роли структурно-кинематической идентификации тектонических разрывных нарушений в формировании представлений о структуре и геодинамике Крымского региона / Ю. М. Вольфман [и др.] // Геофизический журнал. — 2008. — №1. — С. 49–61.
 156. Юдин В. В. Предскифский краевой прогин / В. В. Юдин // Сборник докладов: Геодинамика и нефтегазоносные системы Черноморско-Каспийского региона. — Крым, Гурзуф, 17–21 сентября 2001. — Симферополь, Таврия-Плюс. — 2001. — С. 177–183.
 157. Краснощек А. Я. Системы разломов фундамента и их взаимосвязь со структурами Северного Причерноморья / А. Я. Краснощек // Геологический журнал. — 1976. — Т.36. — №5. — С. 10–18.
 158. Абашин А. А. Результаты дешифрирования космических снимков Крыма / А. А. Абашин, А. А. Пасынков, О. Г. Седенко // Тектоника и стратиграфия, 1982. — №2. — С. 35–39.
 159. Палиєнко В. П. Новейшая геодинаміка і її відображення в рельєфі України / В. П. Палиєнко. — К.: Наук. думка, 1992. — 116 с.
 160. Звіт з НДР. Вивчення неотектонічного і флюїдодинамічного факторів формування сигналу на космічних зображеннях як основи розробки супутникової технології прогнозу родовищ корисних копалин. — ЦАКДЗ, 2004. — 385 с.
 161. Бондаренко В. М. Общий курс геофизических методов разведки / В. М. Бондаренко, Г. В. Демур, А. М. Ларионов. — М.: Недра. — 1986. — 453 с.
 162. Тархов А. Г. Комплексирование геофизических методов / А. Г. Тархов, В. М. Бондаренко, А. А. Никитин. — М., Недра, 1982. — 295 с.
 163. Козлов Е. А. Определение экономической эффективности геофизических методов на нефть и газ / Е. А. Козлов. — М., Недра, 1980. — 195 с.
 164. Новые возможности изучения особенностей геологического строения и оценки перспективности нефтегазоносных объектов на основе применения технологии интегральной интерпретации комплекса геолого-геофизических данных / А. П. Петровский [и др.] // Геоинформатика. — 2005. — № 3. — С. 24–26.
 165. Кулапов С. М. Комплексный анализ геолого-геофизических и космических данных для обеспечения геологоразведочных работ. ООО “Газпром ВНИИГАЗ”. — 2010. — № 10. — С.40–47.
 166. Станкевич С. А. Інтеграція дистанційних та геолого-геофізичних просторових даних при пошуку вуглеводнів на морському шельфі / С. А. Станкевич, О. В. Седлєрова // Геоінформатика. — 2007. — №3. — С. 77–81.

167. Седлєрова О. В. Обґрунтування комплексної методики прогнозу нафтогазоперспективних об'єктів українського сектора Азовського моря з використанням даних дистанційного зондування Землі: автореф. дис. канд. геолог. наук / Ольга Володимирівна Седлєрова. — К., 2008. — 20 с.
168. Философов В. П. Основы морфометрического метода поисков тектонических структур / В. П. Философов. — Саратов: Изд-во Саратов. ун-та, 1975. — 232 с.
169. Аристархова Л.Б. Морфоструктурный анализ аэрокосмических снимков и топографических карт / Л. Б. Аристархова. — М.: Изд-во Моск. ун-та, 2000. — 64 с.
170. Загоруйко В. А. Морфометрический анализ рельефа средствами ГИС-технологий (на примере Семинского перевала) / В. А. Загоруйко, В. И. Хамарин, А. Е. Тябаев // Геоморфология. — 2003. — № 4.
171. Чернова И. Ю. Обнаружение и исследование зон новейших движений земной коры инструментами ГИС / И. Ю. Чернова [и др.] // ArcReview. 2005. — № 1 (32). — С. 6–7.
172. Принципы геоинформационного обеспечения задач дистанционного поиска полезных ископаемых / М. А. Попов [и др.] // Ученые записки Таврического национального университета имени В. И. Вернадского, Серия “География”. — 2012. — Т. 25 (64). — № 1. — С. 177–190.
173. Атаков А. И. Новые технологии обработки дистанционных геолого-геофизических данных при нефтегазопроисловых работах [Электронный ресурс] / А. И. Атаков, Ю. Н. Гололобов, В. Г. Мавричев, А. А. Кирсанов, К. Л. Липияйнен // Материалы 8-ой Всероссийской научно-практической конференции “Геоинформатика в нефтегазовой и горной отраслях”. — М.: ГИСА, 2007. — 1 электрон. опт. диск (CD-ROM). — Системные требования: Pentium; 32 Mb RAM; Windows 98, 2000, XP; MS Word 97–2000. Название с экрана.
174. Фукунага К. Ведение в статистическую теорию распознавания образов / К. Фукунага. — М.: Наука, 1979. — 368 с.
175. Landgrebe D. A. Signal Theory Methods in Multispectral Remote Sensing / D. A. Landgrebe. — Hoboken: John Wiley, 2003. — 520 p.
176. Станкевич С. А. Алгоритм статистичної класифікації об'єктів дистанційного спостереження за їх спектрально-топологічними характеристиками / С. А. Станкевич // Науковий вісник Національного гірничого університету. — 2006. — № 7. — С. 38–40.
177. Архіпов О. І. Картування границь нафтогазоносних ділянок за даними наземного спектрометрування / О. І. Архіпов, С. А. Станкевич, О. В. Титаренко // Теоретичні та прикладні аспекти геоінформатики. — Київ: Всеукраїнська асоціація геоінформатики, 2009. — С. 123–131.
178. Нафтогазоперспективні об'єкти України. Наукові і практичні основи пошуків родовищ вуглеводнів у північно-західному шельфі Чорного моря / П. Ф. Гожик [та ін.]. — Київ: вид. дім ЕКМО, 2007. — 232 с.
179. Нафтогазоперспективні об'єкти України. Теоретичне і практичне обґрунтування пошуків нафти і газу в акваторіях України / П. Ф. Гожик [та ін.]. — К.: Вид. дім ЕКМО, 2007. — 232 с.
180. Галко Т.М. Критерії прогнозування нафтогазоносності українського сектора Азовського і Чорного морів / Т. М. Галко // Геология и полезные ископаемые Мирового океана. — 2013. — № 1. — С. 104–114.
181. Новые данные о разломно-блоковой структуре северо-западного шельфа Черного моря по данным аэрокосмогеологических исследований (в связи с нефтегазоносностью) / В. М. Перерва [та ін.] // Геол. журн. — 1994. — № 4–6. — С. 78–84.
182. Попов М. О. Підхід до інтеграції дистанційних та геолого-геофізичних даних на основі теорії свідчень Демпстера-Шейфера / М. О. Попов [та ін.] // Доповіді НАН України. — 2015. — № 4. — С. 94–98.
183. Попов М. О. Классификация объектов на многоспектральных / гиперспектральных аэрокосмических изображениях на основе теории свидетельств Демпстера-Шейфера / М. О. Попов, М. В. Топольницький // Математичні машини і системи. — 2014. — № 1. — С. 58–69.
184. Серебренникова О. В. Геохимические методы при поиске и разведке месторождений нефти и газа. Учебное пособие / О. В. Серебренникова. — Ханты-Мансийск: РИЦ ЮГУ, 2008. — 174 с.
185. Соболев И. С. Некоторые методические аспекты поисков месторождений нефти и газа радиогеохимическими методами / И. С. Соболев, В. П. Меркулов, Л. П. Рихванов // Геология и охрана недр. — 2004. — №2(11). — С. 57–65.
186. Геохимические предпосылки экологического мониторинга нефтегазоносных территорий СССР / Г. И. Бельчанский [и др.] // Природа и ресурсы. — Т. 26. — №1–2, 1990. — С. 61–70.
187. Перерва В. М. Состояние и пути совершенствования спутниковой технологии прогнозирования залежей нефти и газа / В. М. Перерва [и др.] // Космічна наука і технологія. — Т. 8. — №2/3. — 2002. — С. 201–206.
188. Глубинные разломы и методика аэрокосмических исследований при нефтегазопроисловых работах в Днепро-Припятьском авлакогене // И. И. Чебаненко, В. С. Готынян, Н. И. Жилковский [и др.]. — К., ИГН АН УССР, 1988. — 55 с.
189. Вершовский В. Г. Тектонодинамические критерии формирования природных резервуаров УВ / В. Г. Вершовский, В. А. Гридин, М. П. Голованов // Обз. инфор. Сер.: геология и разведка газовых и газоконденсатных месторождений. — М.: ООО “ИРЦ Газпром”, 2001. — 47 с.
190. Загоруйко В. А. Морфометрический анализ рельефа средствами ГИС-технологий (на примере Семинского перевала) / В. А. Загоруйко, В. И. Хамарин, А. Е. Тябаев // Геоморфология. — 2003. — № 4. — С. 40–46.
191. Чернова И. Ю. Обнаружение и исследование зон новейших движений земной коры инструментами ГИС / И. Ю. Чернова [и др.] // ArcReview. 2005. — № 1 (32). — С. 6–7.

192. Карионов Ю. И. Оценка точности матрицы высот SRTM / Ю. И. Карионов // Геофизический журнал. — 2010 — № 1. — С. 48–51.
193. Применение материалов космических съемок при геологических исследованиях древних и молодых платформ / Б. И. Можаяев [и др.]. — М.: ВИЭМС, 1978.
194. Рельеф, неотектонические движения и скейлинговые свойства линеаментных сетей (на примере Кольского полуострова) / Л. Н. Васильев [и др.] // Геоморфология. — 1999. — №3. — С. 15–22.
195. Будько В. М. К методике изучения анизотропности поля линеаментов. — в кн. Аэрокосмические съемки при изучении глубинного строения регионов СССР / В. М. Будько. — Л.: ВСЕГЕИ, 1990. — С. 78–92.
196. Інтегрування гетерогенної просторової інформації під час розв'язання нафтогазопішукових задач / С. Станкевич [та ін.] // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва, випуск II(24), 2012. — С. 105–110.
197. Фёрстер Э., Рёнци Б. Методы корреляционного и регрессионного анализа / Э. Фёрстер, Б. Рёнци. — М.: Финансы и статистика, 1983. — 304 с.
198. Принципы геоинформационного обеспечения задач дистанционного поиска полезных ископаемых / М. А. Попов [и др.] // Ученые записки Таврического национального университета имени В. И. Вернадского, Серия “География”, Том 25 (64). — 2012. — № 1. — С. 177–190.
199. Bayes T. An essay towards solving a problem in the doctrine of chances / T. Bayes // Biometrika. — 1958. — Vol. 45. — P. 293–315.
200. Wally P. Statistical reasoning with imprecise probabilities / P. Wally. — London: Chapman and Hall, 1991. — 706 p.
201. Fine Terrence L. Theories of probability / Terrence L. Fine. — New York: Academic Press, 1973. — 263 p.
202. Кузнецов В. П. Интервальные статистические модели / В. П. Кузнецов. — М.: Радио и связь, 1991. — 352 с.
203. Zadeh Lotfi. Fuzzy sets as the basis for a theory of possibility / Lotfi Zadeh // Fuzzy sets and Systems, 1978. — № 1. — P. 3–28.
204. Dubois Didier. Possibility theory, probability theory and multiple-valued logics: a clarification / Didier Dubois, Henri Prade // Annals of Mathematics and Artificial Intelligence, 2001. — № 32. — P. 35–66.
205. Dempster A.P. Upper and lower probabilities induced by a multivalued mapping / A.P. Dempster // The Annals of Statistics. — 1967. — Vol. 28. — P. 325–339.
206. Shafer G. A mathematical theory of evidence / G. Shafer. — Princeton: Princeton University Press, 1976. — 297 p.
207. Yager R.R. On the Dempster-Shafer framework and new combination rules / R.R. Yager // Information Sciences. — 1987. — Vol. 41. — P. 93–137.
208. Smets Ph. The combination of evidence in the transferable belief model / Ph. Smets // Pattern analysis and Machine Intelligence. — 1990. — Vol. 12. — P. 447–458.
209. Inagaki T. Interdependence between Safety-Control Policy and multiple-sensor schemes via Dempster-Shafer theory / T. Inagaki // IEEE Transactions on Reliability. — 1991. — Vol.40. — № 2. — P. 182–188.
210. Savage L.J. The Foundations of Statistics / L.J. Savage. — 2nd Revised Edition. — New York: Dover Publications, 2012. — 352 p.
211. Klir G.J. Uncertainty-Based Information: Elements of Generalized Information Theory (Studies in Fuzziness and Soft Computing) / G.J. Klir, M.J. Wierman. — Heidelberg: Physica, 1999. — 196 p.
212. Chokr B. How far are we from complete knowledge? Complexity of knowledge acquisition in the Dempster-Shafer approach / B. Chokr, V. Kreinovich // In: Yager R.R., Kacprzyk J., Pedrizzi M. (Eds.): Advances in the Dempster-Shafer Theory of Evidence. — New York: John Wiley, 1994. — P. 555–576.
213. Kramosil I. Probabilistic Analysis of Belief Functions / I. Kramosil. — New York: Springer, 2001. — 240 p.
214. Shafer G. Probability judgement in artificial intelligence / G. Shafer // Uncertainty in Artificial Intelligence, 1986. — Vol. 4. — P. 91–98.
215. Zadeh L.A. Review of Books: A Mathematical Theory of Evidence / L.A. Zadeh // The AI Magazine, 1984. — Vol. 5. — № 3. — P. 81–83.
216. Маннинг К. Д. Введение в информационный поиск / К. Д. Маннинг, П. Рагхаван, Х. Шютце: Пер. с англ. — М.: Вильямс, 2011. — 528 с.
217. Mengmeng M. Combination of evidence with different weighting factors: A novel probabilistic-based dissimilarity measure approach / M. Mengmeng, A. Jiyao // Journal of Sensors, 2015. — Vol. 2015. — P. 1–9.
218. Xinyang Deng. Multisensor information fusion based on Dempster-Shafer theory and power average operator / Deng Xinyang, Deng Yong // Journal of Computational Information Systems, 2013. — Vol.16. — No.9. — P.6417–6424.
219. Dezert J. Hierarchical DSmp transformation for decision-making under uncertainty / J. Dezert, D. Han, Z.-G. Liu, J.M. Tacnet // Proceedings of 15th International Conference on Information Fusion (Fusion 2012). — Singapore: IEEE, 2012. — P. 294–301.
220. Принципы геоинформационного обеспечения задач дистанционного поиска полезных ископаемых / М. А. Попов [и др.] // Ученые записки Таврического национального университета имени В. И. Вернадского, Серия “География”. — 2012. — Том 25 (64). — № 1. — С. 177–190.
221. Інтегрування гетерогенної просторової інформації при вирішенні нафтогазопішукових задач / С. А. Станкевич [та ін.] // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва, 2012. — Вип.2(24). — С. 105–110.
222. Gelman A. Bayesian Data Analysis / A. Gelman, J.B. Carlin, H.S. Stern, D.B. Rubin. — New York: Chapman & Hall, 2000. — 670 p.
223. Станкевич С. А. Методика картирования границ залежей углеводородов с использованием данных дистанционного зондирования / [Станкевич С. А., Титаренко О. В.]; под ред. В. Г. Бондура. — Аэрокосмический мониторинг объектов нефтегазового комплекса. — М.: Научный мир, 2012. — С. 425–430.
224. Інтеграція гетерогенної просторової інформації

- ции для решения задач поиска нефти и газа / М. А. Попов [и др.] // Электронные библиотеки, 2013. — Т.16. — Вып.2. — [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://www.elbib.ru/rus/journal/2013/part2/PSMZK>. — Дата обращения 01.12.2016. — Название с экрана.
225. Атлас родовищ нефти і газу України / За ред. М. М. Іванюти, В. О. Федішина, Б. І. Денегі, Ю. О. Арсірія, Я. Г. Лазарука. — Т.1: Східний нафтогазоносний район. — Львів: УНГА, 1998. — С. 273–282.
226. Дудніков М. Перспективи нафтогазоносності Південно-Східної частини Дніпровсько-Донецької западини / М. Дудніков // Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Геологія, 2012. — Вип. 58. — С. 36–40.
227. Междисциплинарные исследования в науке и образовании. Официальная страница электронного журнала “Междисциплинарные исследования в науке и образовании”. — [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://mino.esrae.ru/> — Дата обращения 08.04.2016. — Название с экрана.
228. Козубцов И. Н. Междисциплинарная область знаний — как новая научная специальность / И. Н. Козубцов // Будущее технической науки: сборник материалов XI Междунар. молодеж. научно-техн. конф.; НГТУ им. Р. Е. Алексеева. — Нижний Новгород: 2012. — С. 409–410.
229. Явление парагенезиса субвертикальных зонально-кольцеобразных геофизических, геохимических и биогеохимических полей в осадочном чехле diagenetic magnetite over oil filds // AAPG Bull. — 1979. — Vol. 6, N 2. — Р. 236–254.
230. Норенков И. П. Генетические методы структурного синтеза проектных решений / И. П. Норенков // Информационные технологии. — 1998. — №1. — С. 9–13.
231. Goldberg David E. Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning. USA: Addison — Wesley Publishing Company, Inc. 1989. — 315 p.
232. Федоровский А. Д. Основные требования к параметрам космического аппаратного комплекса зондирования Земли / А. Д. Федоровский, С. А. Рябоконеко, З. В. Козлов // Доповіді НАНУ, 2003. — № 7. — С. 118–122.
233. Fang H.L. Genetic algorithms in timetabling and scheduling. A dissertation. Department of Artifical Intelligence University of Edinburg, Edinburg. 2000. — 153 p.
234. Саати Т. Принятие решений при зависимостях и обратных связях: аналитические сети / Т. Саати. — М.: Книжный дом “ЛИБРОКОМ”, 2009. — 360 с.
235. Федоровский А. Д. Параметрический синтез космических систем зондирования Земли на основе генетического метода / А. Д. Федоровский, М. В. Артюшенко, З. В. Козлов // Космічна наука і технологія. — 2004. — Т.10. — № 1. — С. 54–60.
236. Саати Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий / Т. Саати. — М.: Радио и связь, 1993. — 186 с.
237. Атлас родовищ нефти і газу України / За ред. М. М. Іванюти, В. О. Федішина, Б. І. Денегі, Ю. О. Арсірія, Я. Г. Лазарука. — Львів: УНГА, 1998. Т. 1-3: Східний нафтогазоносний район.
238. Зіставлення супутникових та наземних гіперспектральних даних при визначенні позиції червоного краю спектрів відбиття / В. І. Лялько [та ін.] // Космічна наука і технологія. — 2010. — Т. 16. — № 3. — С. 39–45.
239. Дешифрування гіперспектральної космічної інформації на основі текстурних і спектральних характеристик досліджуваних об'єктів / В. Г. Якимчук [та ін.] // Доповіді Національної академії наук — 2008. — № 2. — С. 129–134.
240. Exelis. ENVI Tutorial: Vegetation Analysis [Електронний ресурс]. — Режим доступа: http://www.exelisvis.com/portals/0/pdfs/envi/Vegetation_Analysis.pdf. — Название с экрана.
241. Peña M.A. Constructing satellite-derived hyperspectral indices sensitive to canopy structure variables of a Cordilleran Cypress (Austrocedrus chilensis) forest / M. A. Peña, A. Brenning, A. Sagredo // ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing. — 2012. — № 74. — Р. 1–10.
242. Использование полного набора нормализованных межканальных индексов многоспектральных космических изображений при классификации покрытий ландшафта / М. А. Попов [и др.] // Ученые записки Таврического национального университета им. В. И. Вернадского. — 2007. — Т. 20 (59). — № 1. — С. 175–182.
243. National Aeronautics and Space Administration (NASA). Landsat 7 Science Data Users Handbook [Електронний ресурс]. — Режим доступа: http://landsathandbook.gsfc.nasa.gov/pdfs/Landsat7_Handbook.pdf. — Название с экрана.
244. Прогнозирование и поиск месторождений нефти и газа на основе спектрофотометрирования растительного покрова / А. Д. Федоровский [и др.] // Геоинформатика. — 2010. — №3. — С. 44–47.
245. Большев Л. Н., Смирнов Н. В. Таблицы математической статистики / Л. Н. Большев, Н. В. Смирнов. — М.: Наука, 1983. — 416 с.
246. Ruby [Електронний ресурс]. — Режим доступа: <https://www.ruby-lang.org/ru/>. — Название с экрана.
247. Li Lin. Application of AVIRIS data in detection of oil-induced vegetation stress and cover change at Jornada, New Mexico / Lin Li, Susan L. Ustin, Mui Lay // Remote Sensing of Environment. — 2004. — Vol. 94. — Р. 1–16.
248. Дослідження варіацій індексів червоного краю спектрів відбиття пшениці над газовим родовищем / В. І. Лялько [та ін.] // Космічна наука і технологія. — 2010. — Т. 6. — №6. — С. 5–10.
249. Артюшенко М. В. Фрактальний аналіз спектрограмм растительного покрова в задачах природопользования / М. В. Артюшенко, Л. В. Подгородецкая, А. Д. Федоровский // Доповіді Національної академії наук України. — 2010. — № 8. — С. 113–119.
250. Спосіб фрактальної спектрометричної фітоіндикації виявлення аномалій природного та техногенного походження [Текст] : ПАТЕНТ на винахід № 104360 / Артюшенко М. В., Дугін С. С., Федоровський О. Д. Власник патенту ДУ “Науковий центр аерокосмічних досліджень Землі Інституту геологічних наук НАН України”. — № а 2012 09155 ; заявл. 25.07.2012 ; опубл. 27.01.2014, Бюл. № 2.

251. Хит О. Фотосинтез: Физиологические аспекты / О. Хит. — М.: Мир, 1972. — 315 с.
252. Мерзляк М. Н. Пигменты, оптика листа и состояние растений [Электронный ресурс] // МГУ им. М. В. Ломоносова Режим доступа: <http://www.pereplet.ru/obrazovanie/stsoros/524.html>. — Название с экрана.
253. Эбелинг В. Образование структур при необратимых процессах / В. Эбелинг. — М.: Мир, 1979. — 277 с.
254. Федер Е. Фракталы / Е. Федер. — М.: Мир, 1991. — 254 с.
255. Патент України на винахід № 104515. Спосіб виявлення покладів газу з урахуванням зносу аномалій пониження температур поверхні моря / Лялько В. І., Коротяев Г. К., Воробйов А. І., Ратнер Ю. Б., Холод А. Л., Гейхман А. М. Бюлетень № 3 від 10.02.2014 р.
256. Патент України на винахід, № 107124. Спосіб пошуку покладів газу з урахуванням зносу аномалій пониження температур поверхні моря / Воробйов А. І., Лялько В. І., Гейхман А. М. Бюлетень № 22 від 25.11.2014 р.
257. Патент України на винахід № 109055. Спосіб виявлення покладів нафти і газу на основі детального моніторингу параметрів течій у шарах морської товщі / Воробйов А. І., Лялько В. І., Гейхман А. М. Бюлетень № 13 від 10.07. 2015 р.
258. Полікарпов Г. Г. Виявлено активні газовиділення з дна Чорного моря / Г. Г. Полікарпов, В. М. Егоров // Вісн. АН УРСР. — 1989. — № 10. — С. 108–111.
259. Явление активного газовыделения из поднятий на свале глубин западной части Черного моря / Г. Г. Поликарпов [и др.] // Докл. АН УССР. — 1989. — Сер. Б. — № 12. — С. 13–15.
260. Современные представления о средообразующей и экологической роли струй-ных метановых газовыделений со дна Черного моря / В. Н. Егоров [и др.] // Морський екологічний журнал. — 2003. — № 3. — Т. II.
261. Газовые факелы на дне Черноого моря / Е. Ф. Шнюков [и др.]. — Киев, ОМГОР НАН Украины, 1999. — 134 с.
262. Новые проявления газового и грязевого вулканизма в Черном море / Е. Ф. Шнюков [и др.] // Геология и полезные ископаемые Мирового океана. — 2007. — № 2. — С. 107–110.
263. Глубинная природа газовых факелов западной части Черного моря по результатам геофизических исследований / Е. Ф. Шнюков [и др.] // Геология и полезные ископаемые Мирового океана. — 2005. — № 1. — С. 70–82.
264. Занкевич Б.А. Тектоническая позиция зоны газовых факелов северо-западной части Черного моря / Б. А. Занкевич, Н.В. Шафранская // Геология и полезные ископаемые Мирового океана. — 2009. — № 3. — С. 35–54.
265. Dando P.R. Environmental effects of submarine seeping natural gas / P.R. Dando, M. Hovland // Continental Shelf Research. — 1992. — 12 (10). — P. 1197–1207.
266. Dimitrov L.I. Characteristics of gas-acoustic anomalies on the South Bulgarian Black Sea shelf // Oceanology. — 1989. — 19. — P. 34–41. (in Bulgarian).
267. Lieven Naudts. Geological and morphological setting of 2778 methane seeps in the Dnepr paleo-delta, northwestern Black Sea. / Lieven Naudts, Jens Greinert, Yuriy Artemov, Peter Staelens, Jeffrey Poort, Pieter Van Rensbergen, Marc De Batist. Marine Geology 227 (2006). — P. 177–199.
268. Нафтогазоперспективні об'єкти України. Перспективи нафтогазо-носності бортових зон закарпатської України. / І. І. Чебаненко, П. Ф. Гужик, В. О. Краюшкин [та ін.]. — К.: "Варта", 2005.—263 с.
269. Мельниченко Т. А. Комплексування літологічної і тектонічної інформації при вирішенні нафтогазових пошукових задач / Т. А. Мельниченко // Збірник наукових праць Інституту геологічних наук НАН України. — Т. 8 К. — 2015. — С. 95–102.
270. Мельниченко Т. А. Вплив геотектонічної активності на обсяги газових виділень у північній частині Чорного моря. / Т. А. Мельниченко, А. І. Воробйов, А. М. Гейхман / Доповіді НАН України. — К.—2016. — № 3. — С.55–60.
271. Обґрунтування перспектив нафтогазоносності осадкового чохла шельфу та глибоководної частини українського сектору Чорного моря / Кер. М. В. Ольшанецький. — Київ, 2010 р., в 3-х книгах. — 699 с.