



УКРАЇНСЬКИЙ ЖУРНАЛ ДИСТАНЦІЙНОГО ЗОНДУВАННЯ ЗЕМЛІ

ONLINE
ISSN 2313-2132

16' 2018



СУЧАСНІ МЕТОДИ ДИСТАНЦІЙНОГО ПОШУКУ КОРИСНИХ КОПАЛИН

NOVEL REMOTE SENSING METHODS
FOR MINERALS PROSPECTING



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

№ 16 • 2018

Засновник:	Електронний
Національна Академія наук України	науковий фаховий журнал.
Науковий центр аерокосмічних	Заснований у березні 2014 року.
досліджень Землі	Виходить щоквартально.
Інституту геологічних наук	Домашня сторінка: www.ujrs.org.ua
НАН України	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
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
С. М. ЄСИПОВИЧ	доктор геологічних наук
Л. В. КАТКОВСЬКИЙ	доктор фізико-математичних наук (Білорусь, Мінськ)
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
М. М. ПОНОМАРЕНКО	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
В. Г. ЯКИМЧУК	доктор технічних 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. Порущкевич / 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. Олесь 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

Проблеми використання інформації дистанційного дослідження Землі

СУПУТНИКОВИЙ МОНИТОРИНГ ПОВЕНЕЙ ЗА ДАНИМИ РАДАРНОЇ ЗЙОМКИ С-ДІАПАЗОНУ Д. К. Мозговий	4
ОПОЛЗЕНЬ НА ЖИЛОМ МАССИВЕ “ТОПОЛЬ” В г. ДНЕПР, ПРИЧИНЫ ЯВЛЕНИЯ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ И КОСМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ Н. Н. Шаталов	13
ОЦІНКА СОЦІАЛЬНО-ЕКОНОМІЧНОГО РОЗВИТКУ ОБЛАСТЕЙ УКРАЇНИ ЗА РОКИ НЕЗАЛЕЖНОСТІ НА ПІДСТАВІ ДАНИХ СУПУТНИКА DMSR/OLS ПРО НІЧНЕ ОСВІТЛЕННЯ В. І. Лялько, О. А. Апостолов, Л. О. Єлістратова, А. Я. Ходоровський	27
О ВОЗМОЖНОСТИ ДИСТАНЦИОННОГО ПОИСКА ЗАЛЕЖЕЙ УГЛЕВОДОРОДОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОМПЬЮТЕРНОГО АССИСТЕНТА ГЕОЛОГА М. А. Попов, С. А. Станкевич, А. И. Архипов, О. В. Титаренко	34
КУПОЛИ СЕРЕДНЬОПРИДНІПРОВСЬКОГО ТЕКТОНОКОНЦЕНТРУ УКРАЇНСЬКОГО ЩИТА С. М. Єсипович	41
Правила та рекомендації для авторів (ua, ru).....	54
Анонси. Нова монографія Центру	
СУЧАСНІ МЕТОДИ ДИСТАНЦІЙНОГО ПОШУКУ КОРИСНИХ КОПАЛИН РОЗДІЛ 2. МЕТОДИ ДИСТАНЦІЙНОГО ПОШУКУ ПОКЛАДІВ ВУГЛЕВОДНІВ Підрозділ 2.9–2.10 (С. 79–93).....	58

УДК 528.8

Супутниковий моніторинг повеней за даними радарної зйомки С-діапазону

Д. К. Мозговий*

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Дніпро, Україна

Запропоновано методику автоматизованої обробки супутникових знімків для здійснення всепогодного супутникового моніторингу повеней за радарними даними С-діапазону. Наведені результати визначення меж затоплених ділянок для оцінювання масштабів, динаміки і наслідків повеней на території моніторингу. Проведено порівняння результатів обробки сканерних і радарних знімків середнього просторового розрізнення супутників Sentinel-1 і Sentinel-2. Показані переваги радарної зйомки за наявності хмарності на території моніторингу.

Ключові слова: дистанційне зондування Землі, супутниковий моніторинг, повені, радарні знімки, поляризаційні композити, обробка зображень

© Д. К. Мозговий. 2018

Вступ

Серед найбільш масштабних і небезпечних стихійних лих, які щорічно відбуваються в різних країнах, одне з перших місць за регулярністю, площею поширення та сумарним обсягом матеріальних збитків, поряд з пожежами та землетрусами, займають повені. Затоплення місцевості в містах паралізує нормальну роботу практично всіх муніципальних служб, призводить до аварій на дорогах, викликає руйнування будівель та інженерних споруд, а в особливо важких випадках і до жертв серед населення. У сільській місцевості повені призводять до знищення посівів, до загибелі тварин і порушення природних екосистем.

Актуальність теми

Щороку повені спричиняють збитки на сотні мільярдів доларів та викликають загибель кількох сотень людей, не зважаючи на той факт, що більшість з них є сезонними, тобто очікуваними і прогнозованими. Тому своєчасна і достовірна оцінка масштабів, динаміки і наслідків повеней є важливим і актуальним завданням, вирішення якого дозволяє більш ефективно та оперативно організувати роботу рятувальних служб під час стихії, а також більш продуктивно проводити заходи по ліквідації наслідків повеней.

Постановка проблеми

Наземні методи контролю динаміки повеней і оцінки їх наслідків пов'язані з різними труднощами, обумовленими такими факторами як:

- неможливість або низька ефективність плануван-

ня робіт, обумовлена раптовістю стихійного лиха (у випадках, коли повені викликані ураганами, цунами та ін. стихійними явищами);

- велика площа постраждалих територій з великою кількістю контрольованих ділянок, що знаходяться на великій відстані одна від одної;
- складність доступу до постраждалих об'єктів, що вимагає використання спецтехніки та підготовленого персоналу;
- висока швидкість зміни меж затоплення, що вимагає багаторазових періодичних вимірювань;
- наявність ризиків для життя і здоров'я персоналу, який контролює динаміку розвитку надзвичайної ситуації.

Поточний стан

Останнім часом для оцінки масштабів, динаміки і наслідків техногенних і природних надзвичайних ситуацій все частіше використовуються дані дистанційного зондування Землі [4, 8, 12], зокрема, супутникові знімки, які в порівнянні з наземними методами вимірювань мають незаперечні технічні, організаційні та економічні переваги, зокрема:

- об'єктивність і достовірність (супутникові знімки дозволяють повністю виключити помилки людей, а також навмисне спотворення або замовчування важливої інформації);
- оглядовість і інформативність (можливе спостереження будь-якої, навіть важкодоступної території на Землі з охопленням в тисячі кілометрів);
- актуальність і оперативність (можлива доставка знімків користувачу без затримки в разі безпосереднього прийому на абонентські станції);
- висока періодичність (до декількох знімків на добу);
- багатогалузевість (використання одних й тих же знімків для вирішення широкого спектру при-

* E-mail: m-d-k@i.ua

кладних задач в інтересах різних державних структур і приватних компаній);

- багатоспектральний характер спостережень при використанні оптико-електронних сканерів (синхронна зйомка в декількох спектральних каналах у видимому та інфрачервоному діапазонах);
- багатополаризаційна зйомка при використанні радарів з синтезованою апертурою (зйомка в різних поляризаціях на передачу і прийом в L-, C- та X- діапазонах);
- абсолютна безпека (відсутність ризиків для здоров'я і життя людей в порівнянні з наземними методами);
- висока економічна ефективність (істотно менші витрати в порівнянні з наземними методами);
- максимальна доступність та конфіденційність (простота отримання даних і мінімізація ризиків витоку інформації).

Недоліки існуючих методів

Як відомо, найбільш поширена та інформативна багатоспектральна супутникова зйомка у видимому та інфрачервоному діапазонах [2, 3, 6] має два суттєвих обмеження під час зйомки:

- необхідність у достатній освітленості території, (як правило, якісна зйомка можлива при кутах Сонця, більших за 30°);
- дуже сильна залежність від наявності хмарності над територією, що знімається (максимально допустимий відсоток хмарності зазвичай повинен бути не більше 2...5%).

Можливі шляхи розв'язання проблеми

Протягом останніх 10 років були введені в експлуатацію понад 14 супутників ДЗЗ високого і середнього просторового розрізнення, які мають бортові

радары з синтезованою апертурою в L-, C- та X- діапазонах (табл. 1). Ці супутники вже досить широко використовуються для ефективного вирішення багатьох актуальних науково-прикладних задач [1, 11]. Тому для забезпечення всепогодного супутникового моніторингу динаміки і наслідків повеней, крім супутникових знімків у видимому та інфрачервоному діапазонах, необхідно використовувати двополяризаційні дані радарної зйомки, отримані з діючих супутників ДЗЗ.

Мета і завдання досліджень

Основним завданням досліджень є розробка методики автоматизованої обробки супутникових знімків для здійснення всепогодного супутникового моніторингу повеней за радарними даними C-діапазону з метою підвищення оперативності та достовірності визначення меж і площ затоплених ділянок при оцінюванні масштабів, динаміки і наслідків повеней.

Вихідні дані для досліджень

Найбільші повені з людськими жертвами в 2017 р. відбувалися майже на всіх континентах: в Азії (Індія, Китай, В'єтнам, Філіппіни, Таїланд), в Європі (Італія та Греція), а також у Північній Америці (США і Нікарагуа) та у Південній Америці (Бразилія і Перу). Для проведення автоматизованого всепогодного супутникового моніторингу повеней в якості тестової ділянки була обрана територія міста Х'юстон (штат Техас, США), де в результаті сильного урагану "Харві" в серпні 2017 р. відбулася катастрофічна повінь з масштабними наслідками та збитками на десятки мільярдів доларів. В якості основних вихідних даних були використані безкоштовні двополяризаційні радарні знімки C-діапазону, отримані супутниками Sentinel-1A/B. В якості додаткових вихідних даних

Таблиця 1.
Супутники ДЗЗ, що мають радари з синтезованою апертурою [10]

Супутник	Рік запуску	Країна оператора	Маса супутника, кг	Висота орбіти, км	Діапазон частот	Смуга захвату**, км	Просторове розрізнення**, м
Radarsat-2	2007	Канада	2300	798	C	20..500	1,6..160
SkyMed-1, 2	2007	Італія	1900	619	X	10..200	1..100
TerraSAR-X	2007	Німеччина	1250	514	X	4..270	0,25..40
SkyMed-3	2008	Італія	1900	619	X	10..200	1..100
TanDEM-X	2010	Німеччина	1250	514	X	4..270	0,25..40
SkyMed-4	2010	Італія	1900	619	X	10..200	1..100
RISAT-1	2012	Індія	1858	536	C	10..220	1..50
KOMPSAT-5	2013	Півд. Корея	1400	550	C	5..100	1..20
Sentinel-1A	2014	ESA*	2280	693	C	80..400	4..20
ALOS-2	2014	Японія	2000	628	L	25..350	1..100
Gaofen-3	2016	Китай	2950	758	C	10..650	1..500
Sentinel-1B	2016	ESA*	2280	693	C	80..400	4..20
Iceye-X1	2018	Фінляндія	70	505	X	200	10

*ESA – Європейське космічне агентство

**В залежності від режиму знімання

(для порівняння) були використані багатоспектральні сканерні знімки у видимому та інфрачервоному діапазонах, отримані із супутників Sentinel-2A/B, які також є у відкритому доступі.

Методологія досліджень

Роботи, проведені в рамках експериментальних досліджень під час розроблення та тестування методики, включали такі етапи обробки та аналізу радарних знімків:

- операції попередньої обробки (рис. 1), що виконуються в автоматичному режимі (розпакування знімків HV і VV поляризацій та метаданих до них, географічна прив'язка за орбітальними даними, радіометрична і геометрична корекція, перетворення в задану картографічну проекцію);
- операції тематичної обробки (рис. 2), що виконуються у напівавтоматичному режимі (розрахунок відношень для каналів HV і VV поляризацій, формування RGB-комpositу та візуалізація, настройка порогів бінаризації, виділення класу води, морфологічна фільтрація і векторизація, формування тематичної карти підтоплення та експорт результатів в стандартні растрові і векторні формати).

Вимоги до програмного та апаратного забезпечення

Обсяги файлів радарних даних, отримані із супутників Sentinel-1A/B, досить великі — одна сцена, яка знята у двох поляризаціях, може займати кілька гігабайт.

Тому для виконання оперативної обробки радарних знімків в реальному часі бажано використовувати сучасні комп'ютери з багатоядерними процесорами класу Intel I-7 або вище і об'ємом оперативної пам'яті не менше 64 Гбайт. Програмне забезпечення може бути як платним (ERDAS, ENVI, ArcGIS і т. п.), так і вільним (SNAP, SAGA, GRAAS, QGIS і т. п.), які працюють як в середовищі MS Windows, так і в середовищі Linux.

Результати досліджень

В процесі обробки двополяризаційних радарних знімків міста Х'юстон зі супутників Sentinel-1A/B за 23 і 30 серпня 2017 року на основі відкоригованих даних каналів HV і VV поляризацій були отримані:

- псевдокольорові RGB-комpositи ділянок житлових кварталів до повені та під час повені (рис. 3);

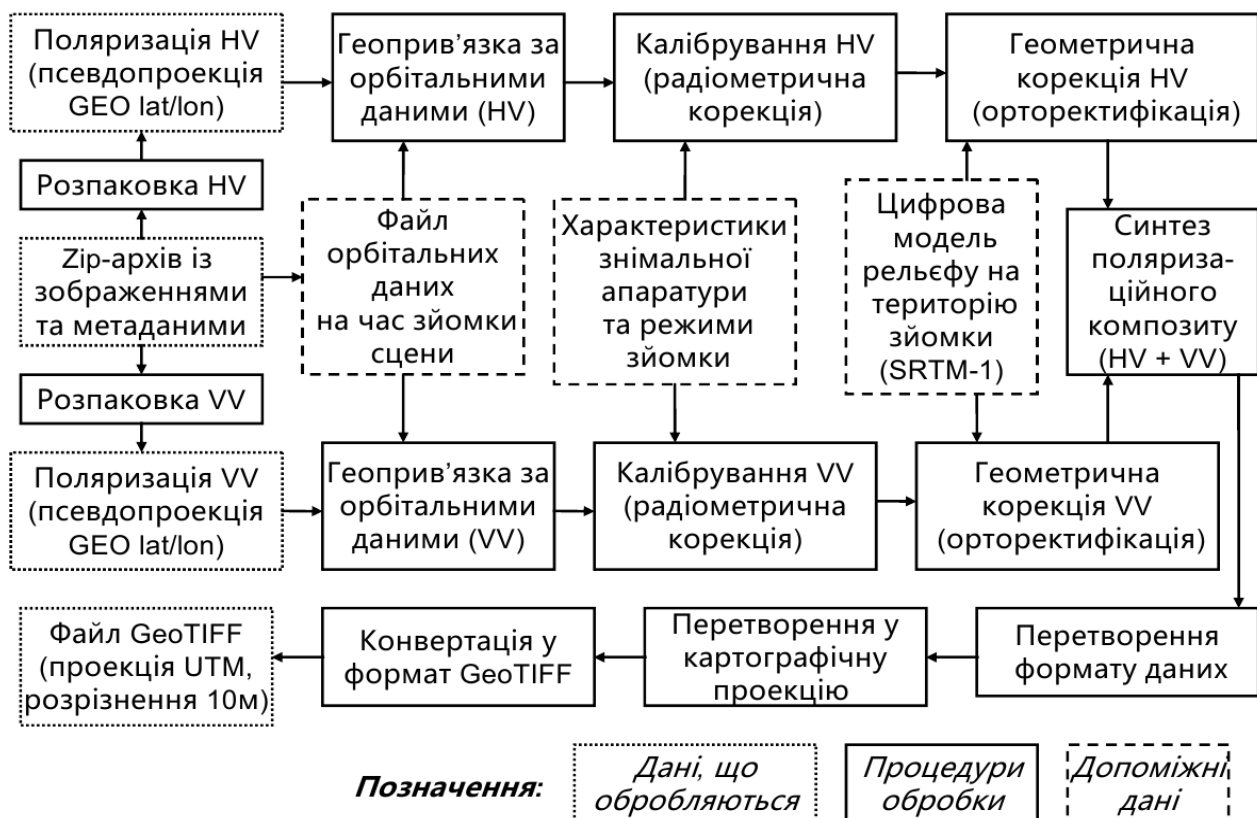


Рис. 1. Основні етапи попередньої обробки радарних знімків



Рис. 2. Основні етапи тематичної обробки радарних знімків

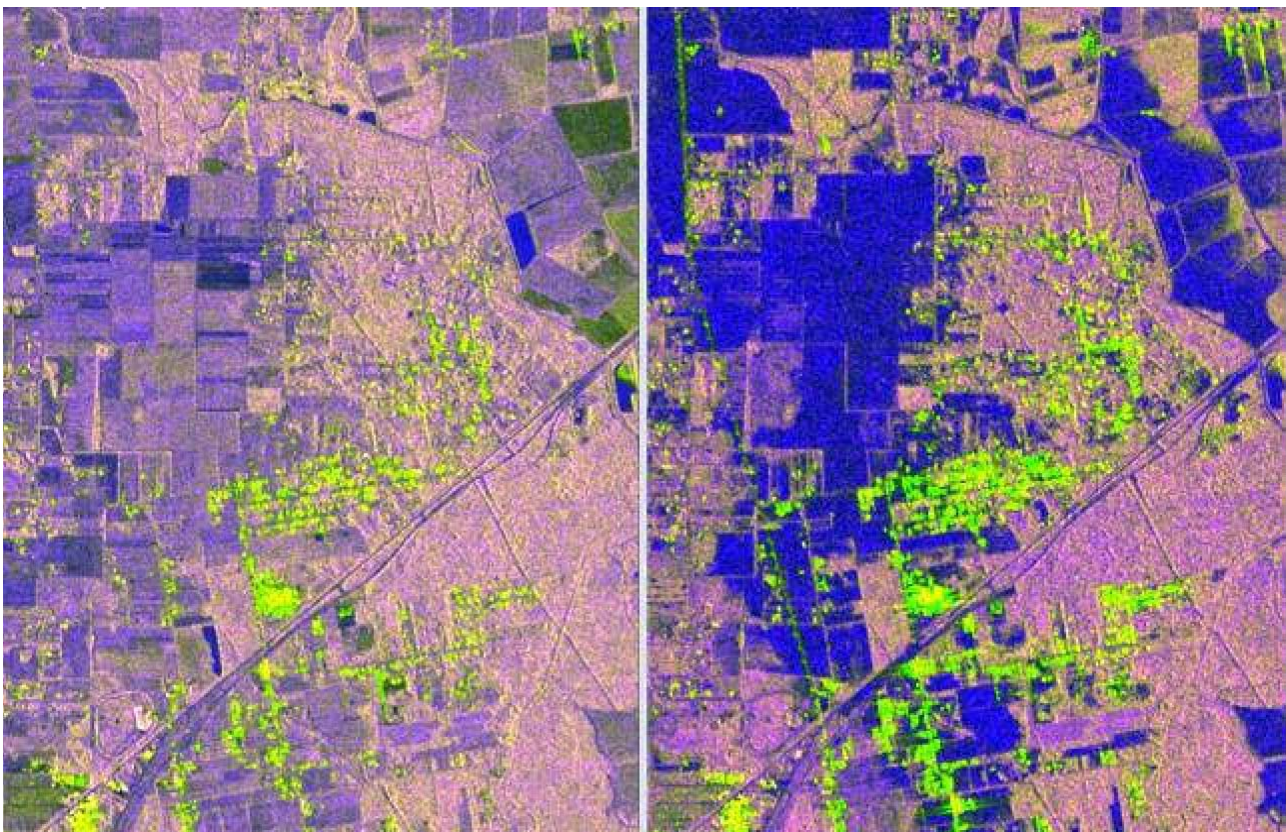


Рис. 3. Псевдоколіорові RGB-композити ділянок житлових кварталів до повені (ліворуч) та під час повені (праворуч)

- псевдокольорові RGB-композиції ділянок прибережних територій до повені та під час повені (рис. 4);
- псевдокольорові RGB-композиції ділянок сільськогосподарських районів до повені та під час повені (рис. 5);
- растрові маски води до повені і під час повені;
- векторні шари меж води до повені і під час повені;
- векторний шар меж води затоплених територій.

Аналіз результатів обробки радарних даних С-діапазону, отриманих зі супутників Sentinel-1A/B, показав досить високу (для знімків середнього просторового розрізнення) точність виділення меж водних об'єктів на великих територіях (наприклад, для режиму Stripmap середня похибка була в межах декількох метрів).

Крім того, спостерігалася досить добра відповідність (у частині виділення класу води) результатів обробки радарних знімків зі супутника Sentinel-1B з результатами обробки безхмарних і малохмарних фрагментів сканерних знімків міста Х'юстон зі супутника Sentinel-2A у видимому та інфрачервоному діапазонах, отриманих також 30 серпня 2017 року (рис. 6, 7).

Основні переваги запропонованої методики в

порівнянні з методами, що використовують тільки дані багатоспектральної супутникової зйомки у видимому та інфрачервоному діапазонах, такі:

- відсутність вимог до достатньої освітленості (можлива зйомка як в денний, так і в нічний час);
- незалежність від погодних умов над територією, (можлива зйомка навіть при 100% хмарності);
- більш висока (в порівнянні зі сканерами) достовірність виділення меж затоплених ділянок при малохмарній зйомці як житлових кварталів (рис. 8), так і сільгоспугідь (рис. 9);
- простота і можливість швидкого освоєння для нефахівців в області обробки супутникових знімків (орієнтація на масового користувача);
- високий ступінь автоматизації процесу обробки радарних даних та візуалізації результатів, що дозволяє програмно реалізувати дану методику у вигляді геоінформаційного веб-сервісу [7].

Область практичного застосування запропонованої методики досить широка, оскільки вона дозволяє проводити автоматизований всепогодний супутниковий моніторинг повеней як в інтересах державних служб (рятувальники, екологи, муніципальні служби), так і в інтересах комерційних структур (страхові компанії, туристичні агентства, фермери, будівельні фірми та ін.).



Рис. 4. Псевдокольорові RGB-композиції ділянок прибережних територій до повені (ліворуч) та під час повені (праворуч)



Рис. 5. Псевдокольорові RGB-композити ділянок сільськогосподарських районів до повені (ліворуч) та під час повені (праворуч)

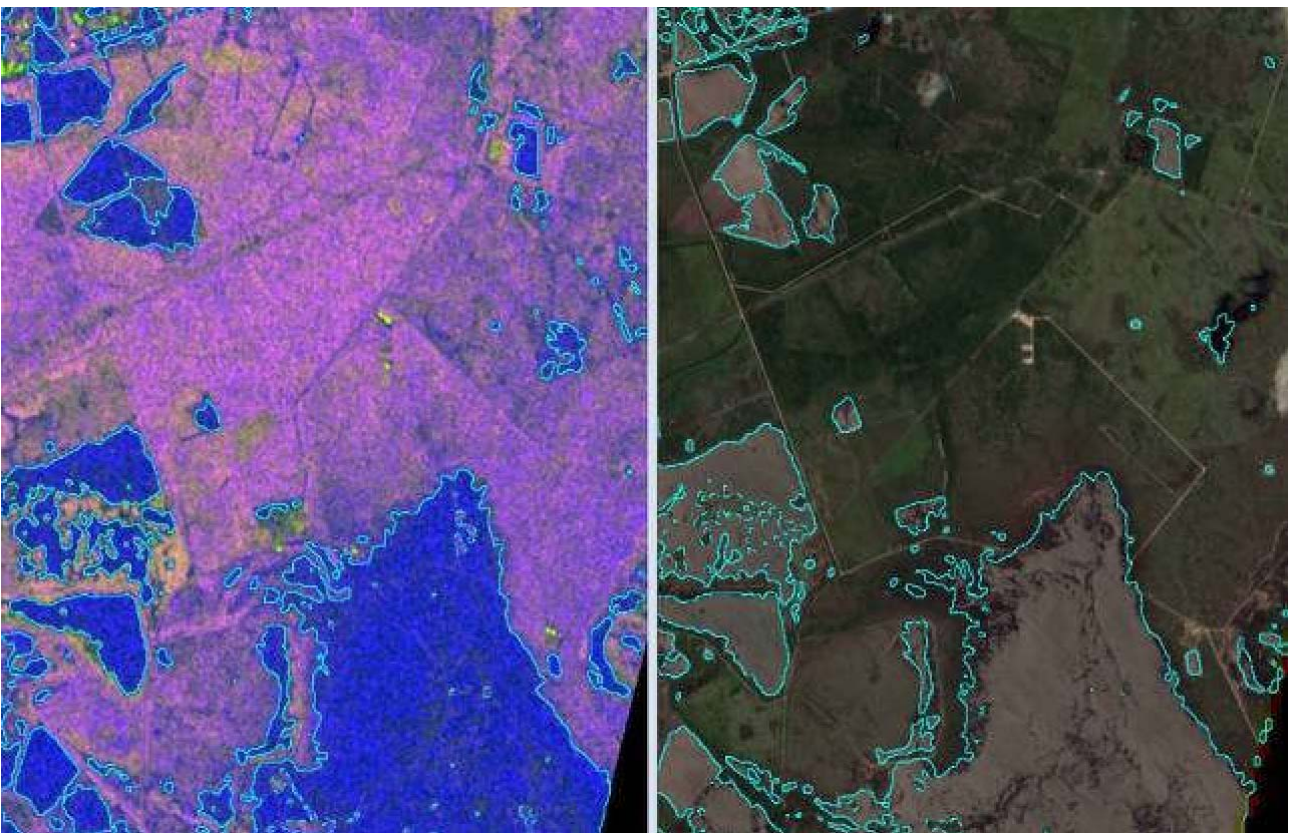


Рис. 6. Виділення води на безхмарних ділянках знімків за 30.08.2017 за радаром Sentinel-1B (ліворуч) та за сканером Sentinel-2A (праворуч)

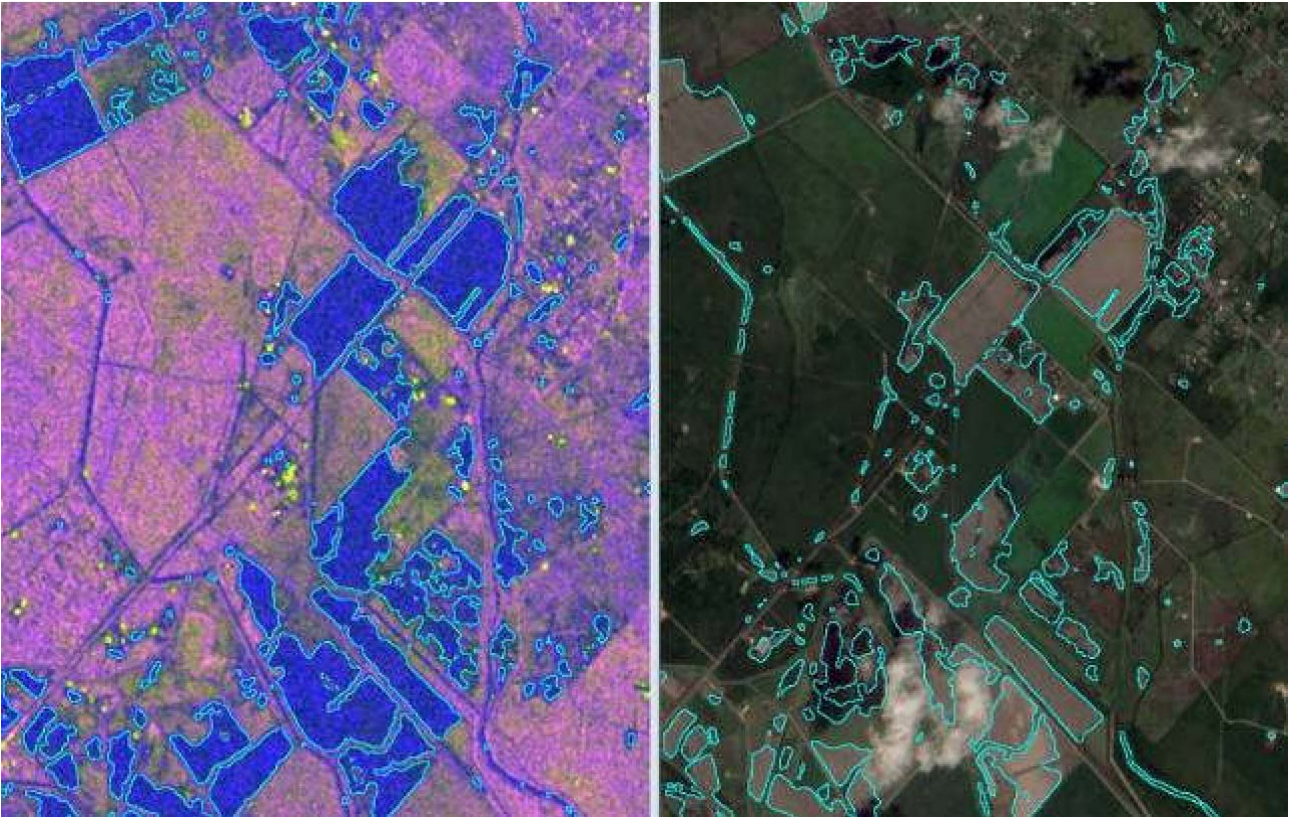


Рис. 7. Виділення води на малошмарних ділянках знімків за 30.08.2017 за радаром Sentinel-1B (ліворуч) та за сканером Sentinel-2A (праворуч)

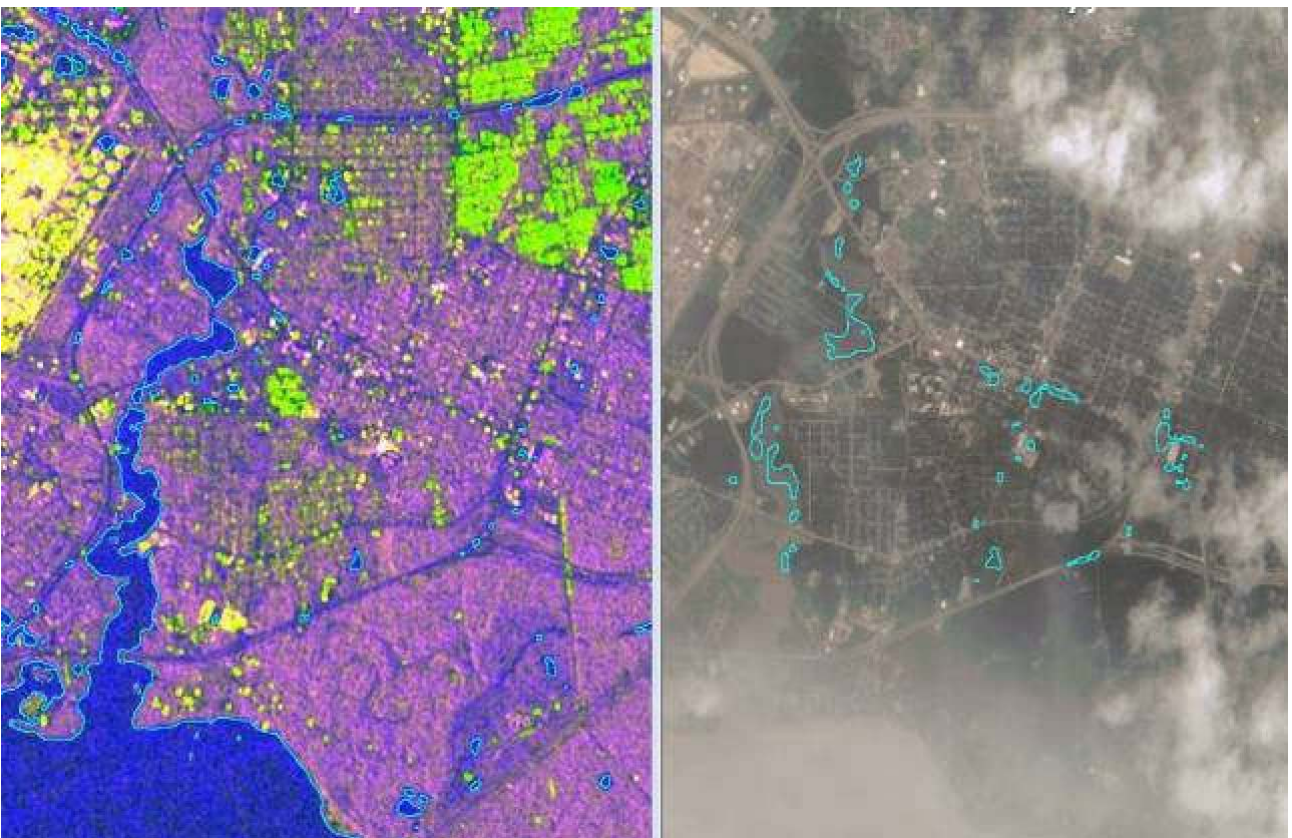


Рис. 8. Виділення води на захмарених ділянках житлових кварталів за радаром Sentinel-1B (ліворуч) та за сканером Sentinel-2A (праворуч)

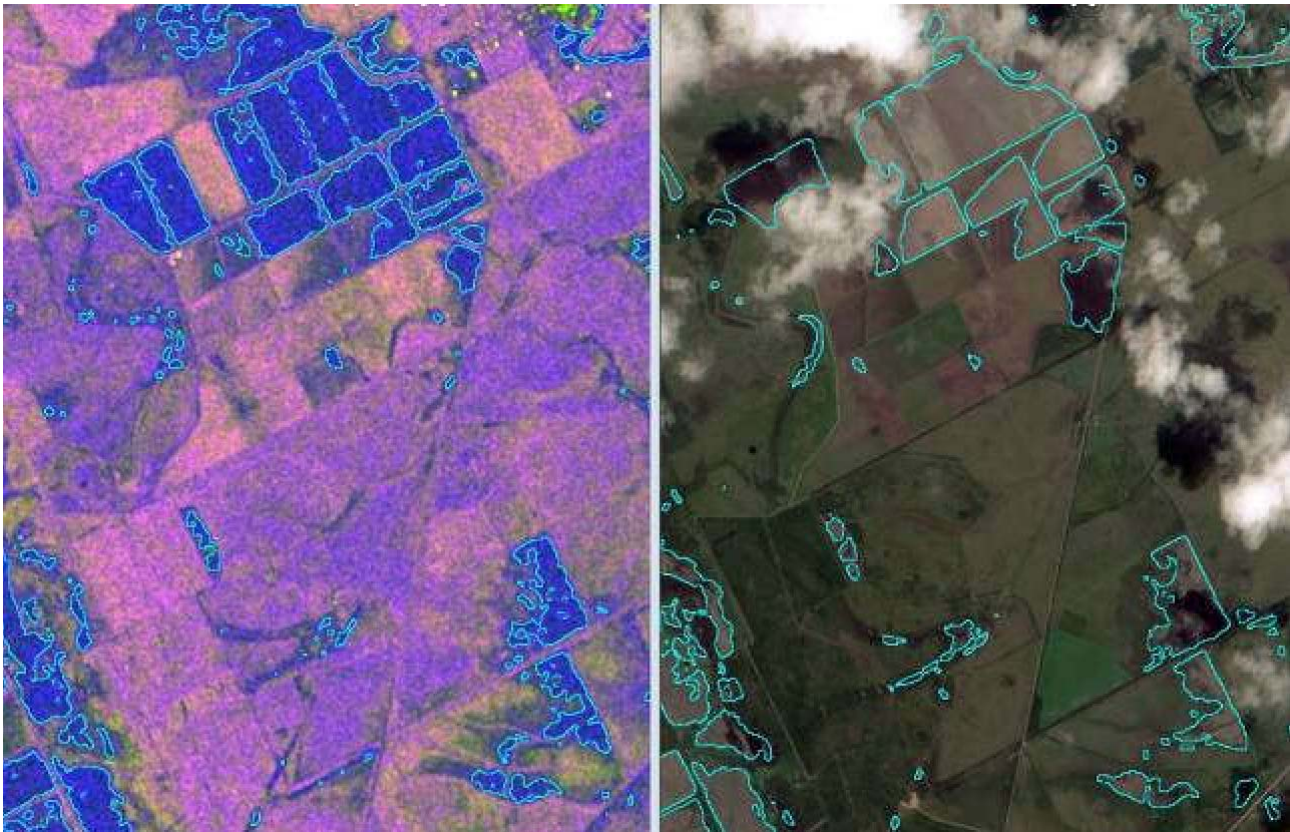


Рис. 9. Виділення води на захмарених ділянках сільгоспуділянок за радаром Sentinel-1B (ліворуч) та за сканером Sentinel-2A (праворуч)

При програмній реалізації даної методики у вигляді геоінформаційного веб-сервісу [5, 9] вона може бути використана для оперативного інформування широких верств населення — найбільш масового користувача. За матеріалами досліджень також підготовлені лекційні та лабораторні заняття, включені до складу учбово-методичного комплексу “Оброблення радарних даних ДЗЗ”, який викладається студентам старших курсів Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара в рамках навчальної дисципліни “Системи ДЗЗ”, а також використовується при написанні курсових та дипломних робіт.

Напрямки подальших досліджень

Проводиться експериментальне відпрацювання запропонованої методики на ділянках найбільш масштабних повеней 2015...2018 рр. з використанням радарних знімків з супутників Sentinel-1A/B та сканерних знімків з супутників Landsat-7/8 та Sentinel-2A/B.

Крім того, проводиться модернізація даної методики з метою подальшої її реалізації у вигляді геоінформаційного веб-сервісу, що надасть додаткові суттєві переваги в порівнянні з існуючою версією, такі, як:

- робота безпосередньо в браузері, що не вимагає додаткового програмного забезпечення, яке встановлюється у клієнта;

- програмна і апаратна незалежність, що дозволяє використовувати даний веб-сервіс на мобільних пристроях;
- результати обробки знімків зберігаються на сервері, що дозволяє всім клієнтам користуватися веб-сервісом незалежно від їх місця знаходження;
- можливість інтеграції у існуючі відомчі та корпоративні інформаційні системи за допомогою уніфікованих програмних інтерфейсів.

Висновки

Розроблено методику автоматизованої обробки супутникових знімків для здійснення всепогодного супутникового моніторингу повеней за радарними даними С-діапазону, яка дозволяє істотно підвищити оперативність і достовірність визначення меж та площ затоплених ділянок при оцінці масштабів, динаміки та наслідків повеней. Проведене тестування запропонованої методики на знімках супутників Sentinel-1A/B, яке підтвердило її переваги у порівнянні зі сканерною зйомкою. Завдяки високому ступеню автоматизації розроблена методика може бути програмно реалізована у вигляді геоінформаційного веб-сервісу, який може функціонувати в інтересах широкого кола державних служб і комерційних структур, а також в інтересах окремих користувачів.

Література

1. Использование радарной съемки для мониторинга природных и техногенных ландшафтов / В. В. Васильев [та ін.] // П'ята Міжнародна конференція “Аеро-космічні спостереження в інтересах сталого розвитку та безпеки” (GEO-UA 2016). — К.: Інститут космічних досліджень НАН України та ДКА України. [text] <http://geoss-conf.ikd.kiev.ua/index.php/geo-conf/2016/paper/view/15/9>.
2. Мозговой Д. К. Мониторинг последствий засухи по спутниковым снимкам высокого пространственного разрешения / Д. К. Мозговой // *Екологія та ноосферологія*. — 2016. — Т. 27. — № 1–2. — Київ–Дніпропетровськ, 2016. — С. 90–95.
3. Мозговой Д. К. Обработка спутниковых снимков при решении прикладных задач / Д. К. Мозговой // *Международный научно-практический форум “Наука и бизнес”*. — 29–30 июня 2015 года, Днепропетровск — Тезисы докладов. — С. 191–194.
4. Мозговой Д. К. Спутниковый мониторинг лесных пожаров и засухи / Д. К. Мозговой // *Международная научно-практическая конференция “Передовые методы обработки и анализа космической информации”*. — 3–4 декабря 2015 года, Днепропетровск. — Тезисы докладов. — С. 48–3.
5. Мозговой Д. К. Мониторинг природных и антропогенных процессов с помощью веб-сервиса Landsat Viewer / Д. К. Мозговой, В. В. Васильев // *Вісник ДНУ. Ракетно-космічна техніка*. — 2016. — Вип. 13 — Т. 24. — № 4. — С. 95–101.
6. Мозговой Д. К. Оценка последствий лесных пожаров по данным ДЗЗ / Д. К. Мозговой, В. В. Васильев // *Інформаційні системи, механіка та керування*. — 2016. — № 14. — С. 42–52.
7. Мозговой Д. К. Геоинформационные веб-сервисы онлайн обработки спутниковых снимков / Д. К. Мозговой, М. В. Чорненко // *Вісник ДНУ. Ракетно-космічна техніка*. — 2016. — Вип. 13 — Т. 24. — № 4. — С. 89–95.
8. Мозговой Д. К. Использование данных MODIS для экологического мониторинга и контроля чрезвычайных ситуаций / Д. К. Мозговой, О. В. Кравец // *Екологія та ноосферологія*. — 2009. — Т. 20. — № 1–2. — С. 84–89.
9. Мозговой Д. К. Геоинформационные веб-сервисы EOS DA / Д. К. Мозговой, В. В. Васильев, М. В. Чорненко // *Международный научно-практический форум “Наука и бизнес”*. — 1 июля 2016 года, Днепр. — С. 54–61.
10. <https://directory.eoportal.org/web/eoportal/satellite-missions>.
11. Mozgovoy D. K. Complex Processing of Radar and Optical Imagery from Sentinel Satellites / D. K. Mozgovoy, V. V. Hnatushenko, V. V. Vasyliiev. — *EO Open Science 2017 25–28 September 2017 ESA-ESRIN* [text] <http://eopopenscience.esa.int/mobile-agenda/EO-OpenScience2017.html>.
12. Remote Sensing and GIS Application for Environmental Monitoring and Accidents Control in Ukraine. Geographic Uncertainty in Environmental Security // D. K. Mozgoviy, O. I. Parshina, V. I. Voloshin, Y. I. Bushuev. / Edited by Ashley Morris, Svitlana Kokhan. — Dordrecht: Springer, Published with NATO Public Diplomacy Division, 2007. — P. 259–270.

СПУТНИКОВЫЙ МОНИТОРИНГ НАВОДНЕНИЙ ПО ДАННЫМ РАДАРНОЙ СЪЕМКИ С-ДИАПАЗОНА

Д. М. Мозговий

Предложена методика автоматизированной обработки дистанционных снимков для осуществления всепогодного мониторинга наводнений по радарным данным С-диапазона, которая позволяет определить масштабы затопления. Проведено сравнение результатов обработки сканерных и радарных снимков среднего пространственного разрешения спутников Sentinel-1 и Sentinel-2. Показаны преимущества радарной съемки при наличии облачности на территории мониторинга.

Ключевые слова: дистанционное зондирование Земли, спутниковый мониторинг, наводнения, радарные снимки, поляризация компоненты, обработка изображений

SATELLITE MONITORING OF FLOODS BY C-BAND RADAR DATA

D. K. Mozgovoy

Automated image processing methodology is proposed for all-weather satellite monitoring of floods based on C-band radar data, which allows to determine the boundaries and areas of flooded areas when assessing the magnitude, dynamics and consequences of floods. Processing results comparison of medium spatial resolution scanner and radar images from Sentinel-1 and Sentinel-2 satellites is made. The advantages of a radar survey with cloudiness in the monitoring area are shown.

Key words: remote sensing of the Earth, satellite monitoring, floods, radar images, polarization composites, image processing

УДК 528: (504.064.3:551.4.042) (477)

Оползень на жилом массиве “Тополь” в г. Днепр, причины явления по результатам геологических и космических исследований

Н. Н. Шаталов

ГУ “Научный центр аэрокосмических исследований Земли ИГН НАН Украины”, Киев, Украина

В результате анализа космической, геологической и наземной информации установлено, что главной причиной природно-техногенной катастрофы 06.06.1997 года на территории “Тополь-1” в г. Днепр является деятельность человека, допустившего техногенную перегрузку геологической среды. Из-за плотной застройки восточного склона балки высотными домами существенно увеличились техногенные нагрузки, были нарушены тектоно-геодинамические и геологические характеристики плато, гидрогеологический режим и инженерно-геологические свойства лессовых грунтов и подстилающего глинистого водоупора. При закладке фундаментов под зданиями до глубины 30 м здесь была разрушена также природная структура лессов. Это привело к нарушению устойчивого функционирования природной геосистемы на склоне балки, разрушению тектоно-гидро-литогенных связей в горно-породных комплексах, повышению уровня грунтовых вод, значительному ослаблению несущей стойкости лессовых грунтов, разрушению фундаментов зданий и подземных коммуникаций и, в конечном счете — к катастрофе. Ситуацию здесь усугубили также ливневые дожди, прошедшие накануне оползня.

Ключевые слова: катастрофа, оползень, лессы, грунты, межбалочное плато, гидрогеологический режим, тектоника, геосистемы, космоснимки

© Н. Н. Шаталов. 2018

Вступление

6 июня 1997 г. город Днепропетровск (Днепр) и Украину в целом, шокировала новость о масштабном оползне на жилом массиве (ж/м) “Тополь-1” и о домах целиком уходящих под землю. В результате техногенно-природной катастрофы здесь были полностью разрушены 9-этажный жилой дом, школа, два детских сада, множество гаражей и других хозяйственных построек, погиб человек и пострадало 2 тыс. жителей, которые фактически остались без крова (рис. 1). Катастрофа привлекла внимание средств массовой информации в г. Днепр, в Украине (первый национальный канал и др.), в странах СНГ и некоторых авторитетных западных СМИ, в частности — *Discovery*.

Материал исследований

Крупный ж/м “Тополь-1” (рис. 2) расположен в Бабушкинском районе г. Днепр, в своеобразном географическом треугольнике, ограниченном Запорожским шоссе с востока, ул. Паникахи с юга и железнодорожной (ж/д) веткой на Апостолово, — с северо-запада (рис. 3). Возведение нового ж/м Тополь-1 в южной части г. Днепр началось в конце 1960-х гг. на восточном склоне Встречной балки, вблизи ж/д станции “Встречная” (рис. 4). В 1972 г.



Рис. 1. Жители г. Днепр, оставшиеся без крова в результате оползня. Фото В. Рязанова. 06.06.1997

были сданы в эксплуатацию три девятиэтажные пяти подъездные панельные дома № 1, 2, 3 (рис. 5). В 1983 году вдоль Запорожского шоссе на ж/м “Тополь-1” началось возведение еще сорока 16-ти этажных жилых корпусов. Построенные здесь высотные кирпичные дома № 40, 48, 56, 58 (рис. 6) и 60 (рис. 7) состоят из шести отдельных корпусов на отдельных фундаментах. Эти корпуса (рис. 8) стоят стена к стене с зазором не более 0,5 м [1, 2]. В результате был возведен красивый ряд высотных домов вдоль Запорожского шоссе, в том числе торговые центры “Терра”, “Варус”, “Метро” и кинотеатр “Сичь”.

*E-mail: shatalov94@casre.kiev.ua



Рис. 2. Вид на Встречную балку и ж/м “Тополь-1”, построенном на горбообразном лессовом плато. Фото UZRAILFAN DNEPRRAI, 2015



Рис. 3. Ж/м “Тополь-1” на космоснимке Landsat. Дата съемки — 16.04.2016. Дом с красной крышей в центре снимка расположен чуть севернее цирка оползня (абс. отм.— 127 м)



Рис. 4. Железнодорожная станция “Встречная”. Фото Dance of December So..., 2008



Рис. 5. Дома № 1 и 2 на ж/м “Тополь-1”. Фото Andrei Ka, 2010

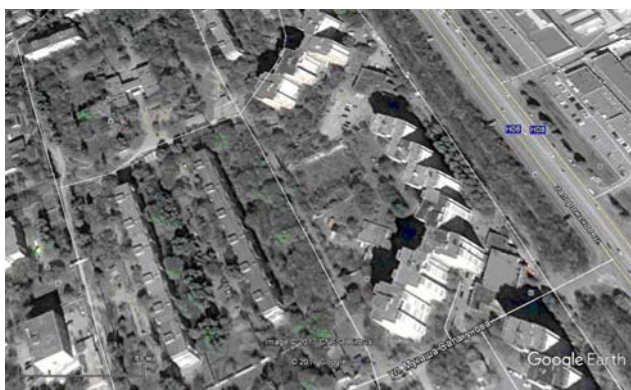


Рис. 6. Высотные дома № 56 и 58, построенные на ж/м Тополь-1 в притык друг к другу в виде “каскада” на углу Запорожского шоссе и ул. Мукаша Салакунова. Космоснимок Landsat. Дата съемки 16.04.2016. Высота над уровнем моря 155 м.



Рис. 7. Кирпичный дугообразно-каскадный высотный дом № 60, построенный на углу Запорожского шоссе и ул. Паникахи, ж/м “Тополь-1”. В левом верхнем углу снимка — дом № 15. Космоснимок Landsat. Дата съемки 17.06.2016. Высота над уровнем моря 155 м.

Однако, при возведении высотных домов были грубо нарушены нормы и технологии строительства: вместо свайных фундаментов применен метод по замачиванию просадочной толщи в два этапа через скважины глубиной до 30 м; для устройства грунтовой подушки мощностью 3 м здесь разраба-

тывали и трамбовали местные тяжелые суглинки; все жилые блоки были сданы в эксплуатацию без необходимых внешних систем инженерной защиты и централизованного отвода ливневых вод [2]. В последующие годы, вслед за домами № 40, 48, 56 и 60, в западном направлении довольно плотно и интен-



Рис. 8. Так выглядит с поверхности секционно-каскадный 16-эт. дом № 60. Фото Otto von Manstein. 2010

сивно застраивался весь склон Встречной балки, вплоть до речушки Бэльбы. Согласно архитектурно-планировочного плана в пределах ж/м “Тополь-1” в течение короткого срока были возведены многоэтажные (9–16 этажей) постройки, многочисленные магазины, торговые центры, поликлиника. От ул. Паникахи (ж/м “Тополь-1”) к ул. Героев Сталинграда (завод “Днепропресс”) через балку над ж/д станцией “Встречная” переброшен путепровод (проезд Гальченко).

Кроме того, на восточных склонах Встречной балки, к западу от Запорожского шоссе и южнее ул. Паникахи, возведены многочисленные дома и инфраструктура новых ж/м — “Тополь-2” и “Тополь-3” (рис. 9, 10).

Рассмотрим хронологию событий той весьма крупной июньской катастрофы по свидетельству очевидцев, фотокорреспондента Владимира Рязанова и блогеров — Олега Тоцкого и Артемия Костюка [3–10].

В начале июня 1997 г. в г. Днепр и на ж/м Тополь-1 два дня подряд шли дожди и вода просачивалась преимущественно в лессы, а не уходила в забитые водостоки. Вечером, 5 июня в микрорайоне случился ливень невиданной силы. Дождеприемники и ливневки также не справились с отводом значительных объемов воды. За считанные часы дождевая вода просочилась в грунт и разрыхлила лессы с поверхности, в связи с чем повысился уровень грунтовых вод. Ранее в микрорайоне были зафиксированы еще и утечки воды в грунты из-за прорывов гидрокоммуникаций. Июньские же ливни создали



Рис. 9. г. Днепр, восточный склон балки Встречная и ж/м “Тополь-2”, построенный на лессовом плато. Фото Oropuyai, 2011



Рис. 10. г. Днепр, ж/м “Тополь-3” и нависающие над ним грозные облака. Фото Saурher. 2011

предельное геодинамически-напряженное состояние в лессовых грунтах склона, что и спровоцировало оползень. Несомненно, ливень 5 июня 1997 г. явился тем “спусковым крючком”, который дал движение грунту, в котором за долгое время накопилась еще и вода из-за неисправности водопроводной и канализационной систем. Вероятно, дождевые и технические воды из поврежденных труб и затопленных подвалов домов длительное время стекали сюда — в будущий эпицентр оползня.

В результате, как подсчитали специалисты-экологи, здесь собралось почти 10 миллионов кубометров разжиженной вязкой грязи, которая с большой скоростью (по типу гидравлического прорыва) вырвалась на поверхность в нижней части склона Встречной балки, образовав под домами и гаражами пустоты. Грунтовая “селевая река” начала свое движение 6 июня 1997 г. в 4 часа утра вблизи ж/д станции “Встречная”, где сразу же ушли под землю несколько десятков гаражей и сотни деревьев (рис. 11). Под завалами оказался мужчина, который находился в своем гараже в эпицентре этого масштабного оползня. В 6 часов утра тело оползня-сея поглотило еще и подсобные строения двух дош-



Рис. 11. Селевый поток-оползень который снес 06.06.1997 г. гаражи, автомобили и деревья в балку Встречная. Фото А. Костюка



Рис. 12. Руины дома № 22 в оползневой воронке и чудом уцелевший дом № 20. Фото Geozond. 1997

кольных комбинатов. Грунтовая сель со склона сползала преимущественно к ж/д полотну и строениям станции “Встречная”. Защитный 30-метровый ров, по дну которого протекает речушка Бэльба, стал местом складирования селевых потоков грунта с обломками зданий.

Со скоростью примерно 25 метров в час, образуя провалы и воронки, глубиной более 20 метров, грязевой оползень-поток начал распространяться вверх, стремительно разрушая и как бы “всасывая” в себя склон. К 7 утра он дошел до детского сада и до девятиэтажки на 72 квартиры. За 40 минут от 9-этажного кирпичного дома № 22 остались лишь руины (рис. 12). Дом обрушился в цирк оползня, т. е. месиво суглинков и лессов, обильно насыщенных грунтовыми и дождевыми водами.

К счастью, жители из обрушившегося дома спасли себя сами. Ранним утром жильцов разбудил сильный треск конструкций дома. В 6 часов утра один из жителей вышел на балкон покурить и увидел, как вблизи дома проседает земля и образуется оползневая воронка. Почувствовав, что с их многоэтажкой творится что-то неладное, он поднял тревогу. Благодаря этому, жители успели покинуть свои квартиры, а дом № 22 обрушился в цирк оползня в 7 часов 40 минут утра. Вскоре скорость оползня начала постепенно снижаться. Вероятно, это случилось из-за того, что обломки от разрушенных зданий уплотняли жидкий грунт, который был на дне воронки.

К 9 часам утра 6 июня 1997 г. оползень приблизился к 99-й школе, рассчитанной на 1 000 мест (рис. 13, 14). Она была построена в виде буквы “Н” в середине 70-х — в разгар строительства нового ж/м “Тополь-1”. Школа — капитальное, очень добротное кирпичное здание, построенное по типовому проекту. Это была одна из двух школ, обслуживающих микрорайон. К счастью и тут никто не погиб. К 6 июня занятия в школе уже закончились. В нее могли прийти только выпускники, чтобы сдать экзамены, но ранним утром было выставлено оцепление.

Единственное, что удалось спасти от школы — архивы. Солдаты быстро вынесли их, когда это было еще возможно.

В 10 часов утра начало рушиться левое крыло здания школы. Прошло около часа, как первое левое крыло полностью рухнуло и утонуло в селевом потоке. К 13.30 школа № 99 раскололась полностью — от нее отделились актовый зал и столовая (рис. 15). К 16.00 было уничтожено левое крыло учебного корпуса и вся центральная часть строения. В 18.00 здание школы полностью исчезло с лица Земли — оно обрушилось в цирк оползня. К этому моменту оставался целым еще детский сад, расположенный вблизи школы. Но без фундамента, естественно, он долго простоять не смог (рис. 16). Через полчаса обрушился и его корпус — последнее строение, которое уничтожил оползень.

После этого скорость селевого потока постепенно затухала до полной остановки примерно через 16 часов с момента возникновения оползня. Вероятно, к концу дня на склоне балки Встречная в грунтах постепенно наступало геодинамическое равновесие. К 20 часам здесь было видно огромную воронку с растекшимся лессовым грунтом, в котором плавали остатки конструкций рухнувших гаражей, автомашин, зданий, деревьев. Подсчитано, что общая площадь тела оползня составила более 4 га. Три рядом расположенных многоэтажных жилых дома попали в зону влияния оползня, но уцелели. Более 2 тыс. человек были эвакуированы из своих квартир.

Когда оцепление на ж/м Тополь-1 начали постепенно снимать, жители микрорайона своими глазами смогли увидеть место, где недавно стояла школа, жилые дома, детские сады, гаражи. На поверхности Земли была лишь воронка весьма внушительных размеров, а вблизи нее в зоне риска расположено несколько уцелевших зданий. Дом № 9, испытал крен в сторону балки, признан аварийным и до сих пор пустует (рис. 17). 22 апреля 1999 г., т. е. примерно через два года после катастрофы, блогер Артемий Костюк представил в интернет фото частично

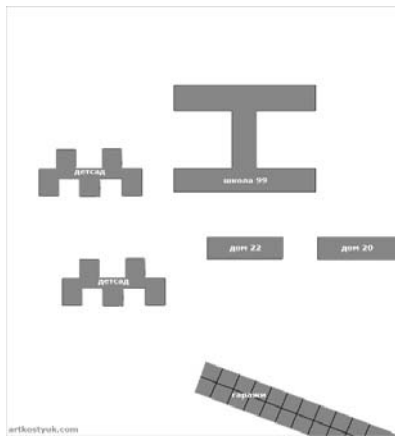


Рис. 13. Схема разрушенных оползем гаражей и зданий на ж/м “Тополь-1”. Уцелел лишь дом № 20. Автор схемы —А. Костюк



Рис. 15. На фото зафиксирован момент разрушения школы — 15 час. 27 мин. 06.06. 1997 г. [4]



Рис. 14. Архивное фото здания школы № 99, разрушенное оползем. На заднем плане хорошо видна высокая плотность застройки ж/м “Тополь-1”. Фото А. Костюка



Рис. 16. Руины детского сада. Фото В. Рязанова. 06.06.1997 г.



Рис. 17. Аварийный 9-этажный дом № 9 на ж/м “Тополь-1”. Фото Dance of December So... 2008



Рис. 18. Состояние цирка оползня на 22.04. 1999 г. Фото А. Костюка. Слева на фото, вблизи воронки от бывшего оползня, виден фрагмент от разрушенного и брошенного детского сада, а на заднем плане за деревьями — аварийный 9-этажный жилой дом № 9

засыпанной воронки (рис. 18). По прошествии 20 лет возникновение нового оползня на ж/м “Тополь-1”, “Тополь-2” и “Тополь-3” в г. Днепр сохраняется.

Анализ состояния склона лессового плато в про-

цессе строительства и функционирования ж/м “Тополь-1” свидетельствует о следующем. Первые аварии в микрорайоне произошли еще тридцать лет назад. Трещины в несущих конструкциях детсада

№ 15а и двух средних подъездах дома № 15 появились в 1986–1987 гг. Детсад и дом № 15 расположены вблизи Запорожского шоссе и высотного дома № 60 (см. рис. 7, 8). Из-за больших деформаций фундаментов зданий и трещин межэтажных конструкций жильцов этих подъездов отселили, а виновными признали руководство “Днепргражданпроекта” [2].

Затем, в июне 1997 года случилась крупная техногенно-природная катастрофа, которая в итоге лишила город Днепр несколько гектаров жилой застройки и нанесла прямых и косвенных убытков более чем на \$150 млн [1–10].

После катастрофы власти города решили отремонтировать дом № 9, едва уцелевший во время оползня. Искали инвестора, затем в 2011 году дом передали на баланс КП “Специализированный РСУ”, но инвестора так и не нашли. Весной 2009 года межблочные переходы аварийного дома № 9 начали разрушаться. Обследование показало, что причиной обрушения является вертикальное смещение подъездов и секций дома относительно друг друга по склону Встречной балки. В панельных девятиэтажных домах №№ 13 и 14, расположенных выше дома № 9, контрольные маячки также зафиксировали деформации конструкций. Инструментальные замеры подтверждались здесь новыми микротрещинами на потолках и стенах квартир. [2].

24.04. 2012 г. на ж/м “Тополь-1” случилась паника. Топольчане были обеспокоены тем, что может повториться история оползня 1997 года. Ранее сотни жителей микрорайона штурмовали местные органы с жалобами на подтопления подвалов более 20 домов, где наблюдались различного рода деформации и просадки грунтов. Откачку в подвалах домов коммунальные службы делали не раз, но подтопления продолжались. В выходные дни местные жители обнаружили серьезную просадку грунта на углу Запорожского шоссе и ул. Паникахи. Дорожное полотно возле строительного гипермаркета было разрушено, аварийный участок оградил оранжевыми лентами, вокруг работали строители, а на парковке — ни одного автомобиля. Местные жители боялись возникновения нового оползня, а представители власти уверяли, что текут лишь водопроводные трубы. Дорожники же считали, что образование свежего провала и разрушение дорожного полотна — это негативные последствия неудачного строительства. Якобы там просто неправильно уложили асфальт, а сейчас своими силами они пытаются устранить эту проблему [8–10].

Ситуация с оползнями в южной части г. Днепр с годами не меняется, а в отдельных уголках микрорайона “Тополь-1” даже ухудшается [5–10]. Так, переулком Джинчарадзе понемногу уходит под землю. Там уже много раз проседал асфальт и люди живут на чемоданах. В начале июля 2014 года оползневые процессы дали о себе знать. Ночью на переулке Джинчарадзе из глубин земли бил двухметровый

гейзер. Что это было, местные не знают. Только слухи и догадки. Вокруг эпицентра аварии начал стремительно проседать асфальт. Оползни вплотную подбираются к жилым домам, расположенным в переулке Джинчарадзе. Иногда здесь под землю проваливаются автомашины. Еще в одном прилегающем к месту прорыва дворе просел асфальт. Никто не пострадал, но местные жители говорят, что это пока им везет. Городские власти ситуацию в переулке Джинчарадзе не комментируют.

Интенсивные оползневые процессы в последние годы фиксировались в Тоннельной и Евпаторийской балках. Как свидетельствуют жители микрорайона и журналисты г. Днепр склон балки Тоннельной обваливается на глазах. Жители близлежащих домов фактически живут на “пороховой бочке”, поскольку в балке продолжают идти разрушительные процессы. Оползень может “ожить” в любой момент. Но на этот раз масштабы трагедии будут еще более ужасными, нежели в 1997 году. Если в ближайшее время чиновники г. Днепр не примут всех необходимых мер, то в один страшный день с лица земли будет стерта целая шеренга 16-этажек. Первым может рухнуть многосекционный 56-й дом, потянув за собой вереницу многоэтажек — 58, 60 и др. Эти высотные дома прилегли друг на друга. Жители дома № 56 по ул. Запорожское шоссе проклинали тот день, когда купили квартиры в этом доме. Жить в этой “пизанской башне” им просто страшно. По ночам спать в доме спокойно они не могут: стены трещат, и от этого треска — просто мурашки по коже. Зрелище в этом дворе и впрямь пугающее: 56-й дом состоит из семи блоков, все они похожи на перебившуюся компанию. Первый блок в прямом смысле слова лежит на втором, третий — облокотился на четвертый, четвертый — на пятый и так далее [5–10].

Ситуация критическая не только в 56-м, но и соседних 58-м, 60-м, 40-м и других высотных домах. При постройке между блоками строители этих домов оставили технологические проемы по 30 см для контроля вертикальности 16-этажек. Кроме того в них стояли датчики крена и действовала система стабилизации здания. К настоящему времени, проемы остались только внизу — верхушки зданий лежат друг на друге. Все оборудование давно раскурочено, а в датчиках нет необходимости — и так видно, что секционные блоки просто лежат друг на друге.

— Если бы не эти “подпорки”, мы с домами давно бы рухнули, — считают жители. Из-за усугубляющегося крена домов по квартирам верхних этажей расползаются трещины, а работающие под наклоном лифты скрипят и заклинивают. Даже неспециалистам видно: ситуация перешагнула критический порог. Лессовые грунты под фундаментами зданий продолжает замачиваться тальми весенними водами, утечками из ливневок и канализационных сетей, а также атмосферными ливнями.

Дом № 19 по улице Запорожское шоссе стоит на краю Тоннельной балки. Жители свидетельствуют, что раньше для отведения дождевой и талой воды по склону балки работали бетонные желоба — теперь, от них остались только развалины. В советскую эпоху в районе дома № 19 были построены защитные сооружения, но они давно разрушены. С каждым месяцем грунт огромными пластами здесь проседает, создавая по склону разломы и провалы-террасы. В эти разломы лессовидных грунтов попадают потоки дождевой и талой воды, разрушая грунт еще больше. Этот оползень продвигается в сторону жилых домов. В прошлом году едва не рухнули мачты линии электропередач (ЛЭП). Действительно, ЛЭП буквально висят над оползневыми разломами и провалами грунта. Очевидно, что новый оползень прогрессирует, мачты ЛЭП уже фактически висят на бетонных блоках, не имеющих надежной грунтовой опоры. После каждого дождя и таяния снега грунт впитывает в себя влагу, а в недрах склона, вероятно, растет подземное болотное озеро. И в один страшный миг оно может прорваться наружу, увлекая в пропасть все вокруг. Как это случилось двадцать лет назад [4–10].

После катастрофы в 1997 году, мониторинг оползневых процессов на всей территории ж/м “Тополь-1”, “Тополь-2” и “Тополь-3” не проводился, хотя процессы имеют системный характер. Проведенные геодезические исследования подтвердили, что дома на всех трех ж/м “Тополь” имеют различную амплитуду проседания по отношению к нулевому замеру. С целью выявления и уточнения закономерностей деформационных процессов, проведения инженерной защиты территории и контроля за ситуацией предлагалось вести регулярный геодезический мониторинг на всем лессовом плато. Однако деньги на мониторинг не выделялись. На июль 2017 года состояние склона следует определять как нестабильное, а возможно — как критическое.

Структурно-тектонические и гидрогеологические особенности плато и ж/м “Тополь-1”

Географически ж/м “Тополь-1” расположен на межбалочном водораздельном плато с размерами 2 000 × 2 500 м. Оно характеризуется пересеченной местностью с абсолютными отметками от 106 м (русло р. Бэльба) до 160 м над уровнем моря вблизи Запорожского шоссе. Небольшая речушка Бэльба (рис. 19) протекает по дну Встречной балки. Вблизи ее проложено железнодорожное полотно. От реки Бэльба по латерали на расстоянии 600 м в восточном направлении перепад высот составляет 54 м, а в верхней части тела оползня, т. е. на расстоянии 250 м от русла реки зафиксировано 20-метровое превышение высот над уровнем моря. Вокруг плато и построенных на нем ж/м “Тополь-1”, “То-

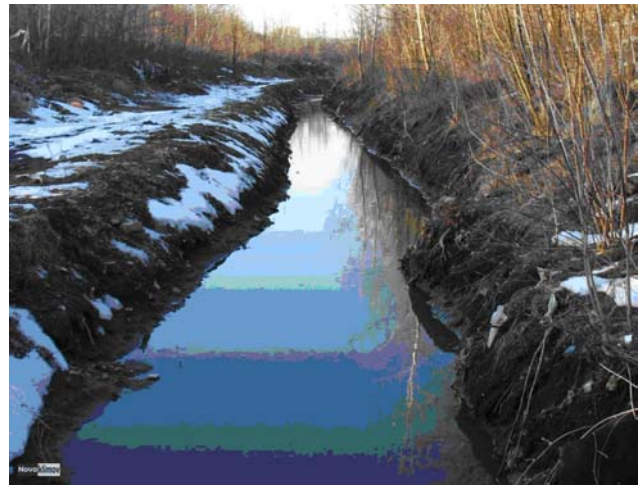


Рис. 19. Речка Бэльба вблизи ж/д станции “Встречная”. Фото Dima Novoklimov. 2011

поль-2” и “Тополь-3” расположены многочисленными, “врезанные” в плато балки и овраги: северо-восточнее — балка Тоннельная (рис. 20); восточнее — балка Евпаторийская (рис. 21); юго-восточнее — система безымянных оврагов, вскрывающих лёссы (рис. 22). Все протекающие по балкам ручьи являются правыми притоками р. Днепр. Балки и овраги выполняют здесь роль природного дренажа для стока атмосферных осадков и грунтовых вод в Днепр, но из-за подрезки склонов и их замусоривания, многоэтажной застройки задерживают воду и вызывают оползни грунта и многочисленные мелкие обвалы. Балки Тоннельная и Евпаторийская характеризуются многочисленными оврагами, весьма пересеченной местностью и значительными перепадами абсолютных высот — до 55 м. В таких условиях ливневые дожди, как правило, приводят к формированию быстрых потоков воды, стекающей с холмов вдоль асфальтированных улиц в более низменные участки, где происходит интенсивное разжижение лессовых грунтов.

В геологическом строении на межбалочном водораздельном плато закартированы толщи верхнеплиоцен-четвертичных лессов, мощность которых составляет более 30 метров. Фактически все фундаменты домов, построенных на ж/м “Тополь-1”, были заложены в лессовых грунтах. Известно, что по своей несущей способности обводненные лессы относятся к категории слабых грунтов. К тому же здесь они характеризуются чередованием водопроницаемых и относительно водоупорных, глинистых слоев. Переслаивающиеся с глинами слои лессов повсеместно и плащеобразно залегают на региональном водоупоре, представленном красноцветными верхнеплиоценовыми глинами. Ниже лессов и красноцветных глин по разрезу залегают миоцен-плиоценовые карбонатно-терригенные осадочные образования, а с глубины 80–100 м — породы докембрийского гранитно-мета-



Рис. 20. Вид на Туннельную балку, северо-восточная часть ж/м “Тополь-1”. Фото Sergey. 2012



Рис. 21. Евпаторийская балка с оврагами. Юго-восточная часть ж/м “Тополь-1”. Фото Khlystun. 2008



Рис. 22. Овраги, вскрывающие лессы юго-восточнее ж/м “Тополь-2”. Фото Maksorpion. 2011

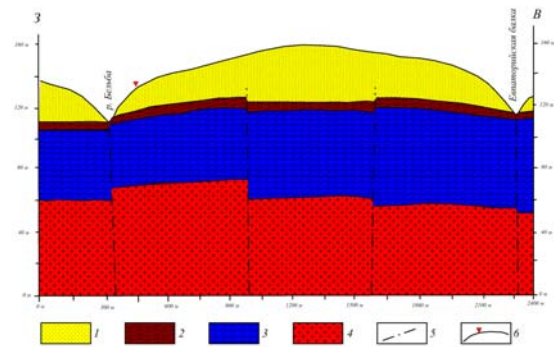


Рис. 23. Геологический разрез межбалочного плато по линии р. Бэльба — Евпаторийская балка, где возведен ж/м “Тополь-1” и прилегающие жилые микрорайоны. 1 — лессы верхнеплиоцен-четвертичного возраста; 2 — красочетные верхнеплиоценовые глины, слагающие водоупор; 3 — миоцен-плиоценовые карбонатно-терригенные осадочные породы; 4 — гранитно-метаморфические породы, слагающие докембрийский кристаллический фундамент Украинского щита; 5 — разломы; 6 — местоположение оползня 06.06.1997 г.

морфического комплекса Украинского кристаллического щита [3]. Следовательно, в пределах ж/м “Тополь-1” и на межбалочном водораздельном плато в целом, наблюдается четкое, типично двухъярусное тектоническое строение: внизу докембрийский кристаллический фундамент, а на нем — горизонтально залегающий осадочный чехол, состоящий из карбонатно-терригенных пород, песков, глин и лессов (рис. 23, 24).

Результаты проведенных автором исследований тектоники микрорайона позволили выделить здесь системы нарушений субмеридионального, субширотного, северо-западного (СЗ 29°, 31° и 325°) и северо-восточного (СВ 45° и 75°) простираний. Установлено, что цирк характеризуемого оползня-гиганта пространственно тяготеет к геодинамической зоне — узлу пересечения разлома северо-западного простирания (СЗ 325°) с разломными зонами субширотной и субмеридиональной ориентировки. По геоморфологическим и космическим данным вы-

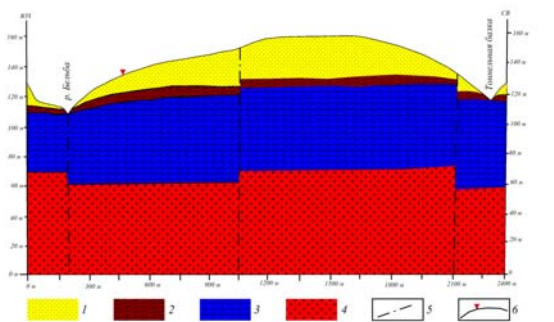


Рис. 24. Геологический разрез межбалочного плато по линии р. Бэльба — Туннельная балка, где возведен ж/м “Тополь-1” и прилегающие микрорайоны. 1 — лессы верхнеплиоцен-четвертичного возраста; 2 — красочетные верхнеплиоценовые глины, слагающие водоупор; 3 — миоцен-плиоценовые карбонатно-терригенные осадочные породы; 4 — гранитно-метаморфические породы, слагающие докембрийский кристаллический фундамент Украинского щита; 5 — разломы; 6 — местоположение оползня 06.06.1997 г.

делены также зоны повышенной геолого-экологической опасности для территории ж/м “Тополь-1”, “Тополь-2” и прилегающих участков. В частности, одна из таких зон протягивается в субширотном направлении от цирка оползня в сторону дома № 60, перекрестка улицы Паникахи и Запорожского шоссе и далее в Евпаторийскую балку. Вторая зона экологической опасности от центра оползня простирается в сторону Тоннельной балки и связана с разломной зоной северо-восточного простирания (СВ 45°). Третья зона фиксируется вблизи северной части дома № 56, где простирается по азимуту — северо-восток 70°. Четвертая оползнеопасная зона наблюдается южнее дома № 60 — она простирается по азимуту северо-запад (СЗ 290°) к углу дома № 15, детсаду №15а и далее в сторону Встречной балки. Пятая, субширотная разломная зона простирается от южной части Встречной балки к улице Паникахи и далее к домам №№ 23а, 4 и др. на массиве “Тополь-2”.

Анализ откартированных тектонических разломных зон в пределах ж/м “Тополь-1” показал, что они являются разновозрастными, часто состоят из отдельных активизированных отрезков и сыграли огромную роль в процессе описываемой природно-техногенной катастрофы. По своим геодинамическим параметрам эти разломные зоны отвечают парагенезисам разрывных нарушений, образовавшихся в едином и синхронном поле планетарных тектонических напряжений — ортогональной и диагональной.

Современная активизация указанных выше разрывных тектонических нарушений повлекла многочисленные и разнообразные последствия: а) движения крыльев разломных зон в виде крипа; б) формирование обводненных систем трещин и зон повышенной тектонической трещиноватости в докембрийском кристаллическом фундаменте и в нижней части осадочного чехла; в) образование трещинных структур, проникающих в отложения верхней, лессовой части осадочного чехла и способствующих, тем самым, формированию фильтрационных окон в водоупорных горизонтах; г) образование понижений рельефа на поверхности регионального водоупора плиоценовых глин [3].

Причины техногенно-природной катастрофы ж/м “Тополь-1” ранее исследовались Н. Н. Новиком и др. [3] с помощью биогеофизического изучения особенностей изменения параметров естественного электромагнитного поля Земли (ЕЭМПЗ). В результате была установлена пространственная связь зон развития подтопления лессовых грунтов как с понижениями рельефа первого регионального водоупора, так и с разрывными тектоническими нарушениями в фундаменте и осадочном чехле. Прямыми методами ЕЭМПЗ было установлено, что просадочные деформации зданий чаще всего встречаются в разломных тектонических зонах, а

образование селевого оползня-потока 6 июня 1987 г. произошло при полном разжижении лессов на значительную глубину. Выявлено также, что зоны тектонических разрывов и погребенные эрозионные формы рельефа на поверхности глин регионального водоупора способствовали концентрированному перераспределению подземного стока, а по мере формирования грунтовых потоков — все более полному обводнению разреза (включая относительно водоупорные глинистые горизонты). Активизированные разломные тектонические зоны способствовали также поднятию уровня грунтовых вод в их пределах, в том числе, и за счет развивающегося подпора грунтовых вод в результате снижения водопроницаемости лессовых грунтов при их водонасыщении. В итоге, это обусловило чрезмерное подтопление и полное разжижение грунта, а также предопределило возникновение многочисленных развивающихся деформаций зданий и сооружений, прежде всего, в пределах откартированных разломных тектонических зон, развитого подтопления и наиболее полного водонасыщения грунтов. Вне разломных зон и понижений рельефа регионального водоупора степень водонасыщенности геологического разреза постепенно уменьшается.

Тектонические и геодинамические предпосылки свидетельствуют о том, что в процессе строительства домов и повышения техногенной нагрузки на лессовом плато произошла активизация фрагментов разломов ортогональной и диагональной систем, что привело к нарушению природной экогеосистемы, повышению уровня грунтовых вод, подтоплениям зданий и катастрофе.

Анализ космической информации

Для изучения характера оползневых процессов, произошедших 06.06.1997 г. в г. Днепр в зоне развития пород лессовой и карбонатно-терригенной формаций, залегающих на древней консолидированной докембрийской платформе, в Центре аэрокосмических исследований Земли (ЦАКИЗ) ИГН НАН Украины были изучены два космических снимка Landsat (съемки выполнены 10 мая и 11 июня 1997 г.), фиксирующих состояние экосистемы до и после техногенно-природной катастрофы. В результате проведенного исследования на космоснимке от 11.05.1997 г. зафиксировано четкое осветление грунта в пределах цирка оползня на склоне Встречной балки. На этом же космоснимке Landsat установлено месторасположение следа движения оползня — вначале вниз, а затем на юг по склону, т. е. перпендикулярно к оползневой воронке. Предпринятое в ЦАКИЗ изучение серии космоснимков системы LANDSAT показало динамику рекультивации воронки от оползня на ж/м “Тополь-1” с 2002 по 2016 гг. В пределах цирка оползня зафиксиро-

вана высота 127 м над уровнем моря. На представленных фрагментах космоснимков LANDSAT (рис. 25–36) отчетливо видна динамика рекультивации оползневой воронки, в частности: до 2007 года — постепенной ее засыпки; с 2008 по 2016 гг. — восстановление части гаражей и других подсобных строений в нижней части склона балки Встречная, а также строительство и эксплуатация автостоянки в пределах восточной, т. е. апикальной части бывшего участка оползня. Как отчетливо видно на космоснимке от 18.06.2016 г. (рис. 36) западная часть оползневой воронки имеет ярко зеленый цвет и довольно заросший вид, а восточная — светло-серый цвет. Это свидетельствует о том, что восточная часть бывшего оползня, отделенная дорогой от западной части склона, к настоящему времени весьма утрамбована, поскольку используется инвестором под автомобильную стоянку.

Выводы

Природные геологические системы (геосистемы) в определенном объеме геологической среды, как известно, представляют собой открытую для внешнего воздействия совокупность геодинамических, структурно-тектонических и вещественных элементов, взаимосвязанных посредством тепло-массообмена или энергообмена. Поэтому до определенного времени элементы геосистемы находятся в условиях динамического равновесия с другими элементами и геосистемами. Внешние (экзогенные, техногенные) и внутренние (эндогенные) воздействия на них могут привести к нарушению энергообменных связей, обеспечивающих устойчивое функционирование природной геосистемы, и в результате — к необратимым, т. е. катастрофическим последствиям. При этом восстановление динамического равновесия природной геосистемы со временем возможно только на новом энергетическом уровне.

При планировании очень плотной застройки ж/м “Тополь-1”, “Тополь-2” и “Тополь-3” (рис. 38) не было учтено, что лессовые грунты залегающие здесь в природном состоянии в верхних частях геологического разреза при дополнительной нагрузке или при условии их обводнения, вследствие порывов водоотводов и атмосферных осадков, могут проседать и ползти. При бурении скважин, устройстве грунтовой подушки и трамбовке ее местными тяжелыми суглинками под зданиями до глубины 30 м здесь была разрушена также природная структура лессов. Несомненно, разрушение естественно-геологической структуры лессов в их природном объеме производит до неравномерного проседания грунтов и фундаментов зданий. Это сопровождается также развитием трещин в фундаментах, корпусах и наклоне несущих конструкций зданий.

Кроме того, горизонт пестроцветных глин, под-

стилающий лессовые отложения, вследствие строительства многочисленных высотных зданий и огромной техногенной нагрузки на грунты, на наш взгляд, во многих участках микрорайона был разрушен. Наиболее значительные разрушения здесь происходили по ранее сформированным в кристаллическом фундаменте, а затем унаследованным в осадочном чехле разломным тектоническим зонам и структурно-динамическим узлам их пересечения. Другими словами, изменившиеся в связи с плотной застройкой ж/м “Тополь-1” инженерно-геологические, тектоно-геодинамические и гидрогеологические условия привели к современной природной активизации более древних разломных тектонических зон. Несомненно, что воды из нижележащего водонапорного горизонта по трещинам и зонам более крупных разрывных тектонических нарушений стали поступать в верхний водоносный горизонт, что обусловило постепенный подъем уровня грунтовых вод.

Следовательно, в подготовке геолого-техногенной катастрофы в пределах жилого массива “Тополь-1”, в активизации оползневых процессов и возникновении суффозионно-карстовых провалов, большую роль сыграли региональные тектоно-геодинамические и локальные гидрогеологические условия, главным образом, — техногенное нарушение условий естественного водообмена. Очевидно также, что инженерно-геологические условия лессового плато на ж/м “Тополь-1” с самого начала застройки коренным образом были изменены. В результате плотной застройки здесь интенсивно развивался процесс природно-техногенного их подтопления, что привело к снижению несущих физико-механических характеристик лессовых и подстилающих их грунтов. Лессы превратились в слабые, “просадочные” грунты с низким модулем деформации. Накопленные к настоящему времени гидрогеологические данные свидетельствуют о том, что с начала строительства микрорайона до момента катастрофического оползня происходил постоянный подъем уровня грунтовых вод со средней скоростью 0,6–0,8 м в год. Например, в 1969 г. грунтовые воды находились здесь на глубине 20–23 м, а к июню 1997 г. — уже на глубине 4–6 м [2]. В день природно-техногенной катастрофы, уровень грунтовых вод в некоторых участках склона балки был уже меньше метра.

Анализ тектонической, структурно-геологической и гидрогеологической обстановки лессового плато, где расположены три ж/м “Тополь”, однозначно свидетельствует о том, что на протяжении 28 лет, здесь наблюдалась четкая корреляция между застройкой плато и уровнем грунтовых вод, в частности: шло планомерное строительство высотных домов, возрастала техногенная нагрузка на лессовые и нижележащие карбонатно-терригенные грунты и, как следствие, — постепенно происходил ежегодный подъем уровня грунтовых вод.



Рис. 25. Контур тела оползня . Космический снимок Landsat. 04.08.2006



Рис. 26. Космический снимок Landsat. 04.08.2006



Рис. 27. Космический снимок Landsat. 01.06.2007



Рис. 28. Космический снимок Landsat. 14.07.2008



Рис. 29. Космический снимок Landsat. 08.04.2009



Рис. 30. Космический снимок Landsat. 24.10.2010



Рис. 31. Космический снимок Landsat . 07.11.2011



Рис. 32. Космический снимок Landsat. 02.10.2012

Таким образом, интенсивная застройка склона лессового плато, подрезка и пригруз склонов, разрушение естественно-геологической структуры лессов в их природном объеме, уменьшение испа-

рения за счет асфальтирования улиц, резкий подъем уровня грунтовых вод и ливневые дожди в начале июня 1997 г. привели к нарушению динамического равновесия сложившейся геосистемы и, — к катас-



Рис. 33. Космический снимок Landsat. 29. 06. 2013



Рис. 34. Космический снимок Landsat. 27. 10. 2014



Рис. 35. Космический снимок Landsat. 03. 08. 2015



Рис. 36. Космический снимок Landsat. 18.06.2016



Рис. 37. Так выглядело в 1965 году на космическом снимке межбалочное водораздельное плато до застройки на нем ж/м “Тополь-1”, “Тополь-2” и “Тополь-3” [7]



Рис. 38. Та же территория на космическом снимке 2015 года после плотной застройки ж/м “Тополь-1”, “Тополь-2” и “Тополь-3”. Единственное общее на снимках — это Запорожское шоссе, кладбище (за развилкой дорог в левом нижнем углу снимка) и железная дорога (правый верхний угол снимка) [7]

трофической развязке. Сдвиг оползня по склону 06.06. 1997 г. произошел по причине активизации современных тектонических, структурно-геологических и геодинамических процессов, резкого подъема уровня грунтовых вод, разжижения лессовых грунтов и полной потери их несущей способности. Из-за геодинамики, техногенного нарушения условий естественного водообмена и разжижения грунтов на склоне балки Встречная ж/м “Тополь-1” на водоупорном слое глины образовалась плоскость скольжения и нижняя часть склона лессового плато “поплыла”. В результате грязеводной поток вынес в смежную с микрорайоном Встречную балку огромную массу разжиженных осадочных пород с образованием воронки площа-

дью приблизительно 300×100 м и глубиной более 20 м. В считанные часы были полностью разрушены девятиэтажный жилой дом, школа, детские сады, гаражи, погиб человек. Без крыши над головой остались жильцы домов № 22 и 9. Дом № 9, хотя и находился дальше от эпицентра событий, также пострадал. Здесь, в частности, существовала опасность возникновения второго оползня. Попытки восстановления аварийного дома № 9 к настоящему времени успехом не увенчались.

Итак, главной причиной природно-техногенной катастрофы на территории “Тополь-1” следует признать деятельность человека, допустившего техногенную перегрузку геологической среды, что привело к нарушению устойчивого функционирования при-

родной геосистемы на склоне балки, разрушению тектоно-гидро-литогенных связей в горно-породных комплексах и значительному ослаблению несущей стойкости лессовых грунтов. Из-за строительства высотных домов на восточном склоне балки Встречная существенно увеличились техногенные нагрузки, были нарушены структурно-геологические характеристики плато, гидрогеологический режим и инженерно-геологические свойства лессовых грунтов и подстилающего глинистого водоупора. Нарушение стойкости тектоно-литогенной основы и активизация современных структурно-геодинамических процессов привели к подтоплениям, разрушению фундаментов зданий и подземных коммуникаций. Другими словами, из-за высочайших строительно-техногенных нагрузок на лессовое плато и современных гравитационно-тектонических движений (которые можно определить лишь инструментальными геодезическими и аэрокосмическими методами) на всех трех ж/м “Тополь” десятилетиями повышается уровень грунтовых вод, постоянно разрушаются водопроводная и канализационная системы. А увеличивающееся, в эпоху потепления климата, количество атмосферных осадков, еще более усугубляет оползневую ситуацию в микрорайоне.

В заключение следует констатировать, что на исследованном лессовом плато, где расположены три ж/м в настоящее время происходят угрожающие тектоно-геодинамические, структурно-геологические и гидрогеологические процессы, а уровень оползневой опасности чрезвычайно высок. Если властями не будут предприняты радикальные меры, то новые техногенно-природные катастрофы на ж/м “Тополь-1”, “Тополь-2” и “Тополь-3” еще впереди. Скрытая в глубине “пороховая бочка” здесь ждет своего часа.

Автор выражает искреннюю благодарность сотрудникам ЦАКИЗ ИГН НАН Украины В. И. Лялько, С. А. Станкевичу, А. А. Апостолу, которые оказали помощь при подготовке статьи.

Литература

1. Гинзбург Л. К. Обрушение склона в жилом микрорайоне / Л. К. Гинзбург // Основания, фундаменты и механика грунтов. — 1999. — № 3. — С. 28–30.
2. Бабич Ф. Б. Особенности застроенного склона над железнодорожной станцией Встречная в Днепропетровске / Ф. Б. Бабич, В. Л. Седин, Г. Н. Левченко // Мосты и тоннели: теория, исследования, практика. — 2012. — № 3. — С. 9–13.
3. Новик Н. Н. Биогеофизические и структурно-кинематические исследования в практической геологии (новые технологии) / Н. Н. Новик, Г. Д. Недра, Ю. М. Вольфман // Киев: СП “Интертехнодрок”, 1998. — 58 с.
4. Оползень в Днепропетровске на ж/м “Тополь” 6 июня 1997 года ... [Электронный ресурс] — Режим доступа: artkostyuk.com/interesting-dnepr/opolzen-v-dnepropetrovske.html? — Заглавие с экрана.
5. Оползень на “Тополе” предотвращение несчастия ... [Электронный ресурс] — Режим доступа: dpchas.com.ua/dnepropetrovskaaya. — Заглавие с экрана.
6. Оползень в жилмассиве “Тополь” в Днестре: двадцать лет спустя ... [Электронный ресурс] — Режим доступа: <https://www.056.ua/news/1679730?> — Заглавие с экрана.
7. Спутниковые снимки Днепропетровска 1965 года [Электронный ресурс] Режим доступа: artkostyuk.com. — Заглавие с экрана.
8. Трагедия на “Тополе”: 19 лет назад под землю ушли многоэтажка ... [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://www.056.ua/news/1250976?> — Заглавие с экрана.
9. ЧП в Днестре: на месте, где под землю ушла 9-этажка, трещат ... [Электронный ресурс] Режим доступа: www.segodnya.ua. — Заглавие с экрана.
10. Шруб К. Ползучие гады [Электронный ресурс] / К Шруб. — Режим доступа: <https://gorod.dp.ua/news/60911>. — Заглавие с экрана.

ЗСУВ НА ЖИТЛОВОМУ МАСИВІ “ТОПОЛЬ” В м. ДНІПРО, ПРИЧИНИ ЯВИЩА ЗА РЕЗУЛЬТАТАМИ ГЕОЛОГІЧНИХ І КОСМІЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

М. М. Шаталов

В результаті аналізу аерокосмічної, геологічної і додому інформації встановлено, що головна причина природно-техногенної катастрофи 06.06.1997 року на території Тополь-1 у м. Дніпр – це діяльність людини, яке допустив техногенне перевантаження геологічного середовища. Через щільну забудову східного схилу балки висотними будинками істотно збільшилися техногенні навантаження, були порушені тектонічно-геодинамічні і геологічні характеристики плато, гідрогеологічний режим і інженерно-геологічні властивості лесових ґрунтів і підстиляючого глинистого водоупора. При закладці фундаментів під будівлі до глибини 30 м тут був зруйнований також природна структура лессив. Це призвело до порушення стійкого функціонування природної геосистеми на схилі балки, руйнуванню тектоно-гідро-літогенних зв'язків в гірничо-породних комплексах, підвищення рівня ґрунтових вод, значного ослаблення несучої стійкості лесових ґрунтів, руйнуванню фундаментів будівель і підземних комунікацій і, в кінцевому рахунку, — до катастрофи. Ситуацію тут збільшили також ливневі дожди, які пройшли накануне зсуву.

Ключові слова: катастрофа, зсув, лесси, ґрунти, міжбалочні плато, гідрогеологічний режим, тектоніка, геосистеми, космознімки

LANDSLIDE ON THE RESIDENTIAL MASSIF «ТОПОЛ» IN THE CITY OF DNEPR, THE CAUSES OF THE PHENOMENON BASED ON THE RESULTS OF GEOLOGICAL AND SPACE RESEARCH

N. N. Shatalov

As a result of the analysis of aerospace, geological and terrestrial information, it was established that the main cause of the natural and technogenic catastrophe on 06.06.1997 on the territory of Topol-1 in the city of Dnepr is the activity of a man who allowed technogenic overload of the geological environment. Due to the dense development of the eastern slope of the beams by high-rise buildings, technogenic loads have significantly increased, tectonic, geodynamic, geological characteristics of the plateau, hydrogeological regime and engineering-geological properties of loess soils and underlying clayey waterproof have been disrupted. When laying foundations under the buildings to a depth of 30 m, the natural structure of the forest was also destroyed here. This led to the disruption of the stable functioning of the natural geosystem on the slope of the beam, the destruction of tectono-hydro-lithogenic bonds in mountain-rock complexes, an increase in the groundwater table, a significant weakening of the bearing strength of loess soils, the destruction of foundations of buildings and underground utilities and, ultimately, Catastrophe. The situation here was further aggravated by torrential rains that passed on the eve of the landslide.

Key words: catastrophe, landslide, loess, soils, inter-basalt plateau, hydrogeological regime, tectonics, geosystems, space images

УДК 528.8:911

Оцінка соціально-економічного розвитку областей України за роки незалежності на підставі даних супутника DMSP/OLS про нічне освітлення

В. І. Лялько, О. А. Апостолов*, Л. О. Єлістратова, А. Я. Ходоровський
ДУ "Науковий центр аерокосмічних досліджень Землі ІГН НАН України", Київ, Україна

Встановлена залежність інтенсивності нічного освітлення території України (дані з супутника DMSP/OLS) від кількості населення, були оцінені соціально-економічні умови в окремих областях та їхні зміни протягом 1992–2012 рр. На підставі отриманих даних було проведено ранжування областей України за соціально-економічними умовами. Отримані дані підтверджуються статистичними даними про зміну кількості міського та сільського населення. Дані з супутника DMSP/OLS доцільно використовувати для моніторингу та експрес-оцінки направленості змін в економіці та соціальній сфері окремих областей.

Ключові слова: супутник DMSP/OLS, кількість населення, супутниковий моніторинг, адміністративні області України

© В. І. Лялько, О. А. Апостолов, Л. О. Єлістратова, А. Я. Ходоровський. 2018

Актуальність дослідження

Особливості економічного та соціального розвитку України за роки незалежності зумовлені нагромадженням у вітчизняній економіці чисельних внутрішніх суперечностей. Нестабільність політичної ситуації та залежність внутрішньодержавної цінової політики від міжнародного ринку енергоносіїв, велика поляризація доходів громадян, розбіжність у часі подолання кризових явищ в різних секторах економіки та у межах різних областей посилює регіональні диспропорції у рівні життя населення України. Додатковим, об'єктивним, незалежним та оперативним методом контролю соціальної та економічної сфер життєдіяльності жителів України можуть бути дані супутникового моніторингу інтенсивності нічного освітлення. При цьому дослідження можна проводити в режимі моніторингу. Сьогодні супутникові дані стають все більш бажаними контрольними засобами в різних сферах господарської діяльності (в області сільськогосподарського виробництва, лісового господарства, транспорту, розвитку міських агломерацій, забудови територій та ін.).

Метою нашого дослідження була оцінка можливостей використання даних про нічне освітлення території, отриманих американським супутником DMSP/OLS (Defense Meteorological Satellite Program/Operational Linescan System), для моніторингу змін загальної економічної та соціальної ситуації в адміністративних областях України.

Аналіз результатів попередніх досліджень

Дані отримані супутником DMSP/OLS, мають широке застосування під час вирішення різних соціо-економічних завдань, зокрема, для вимірювання щільності інфраструктури, гідрологічного моделювання паводків, оцінки втрат сільськогосподарських земель [26], виявлення масштабних збоїв в енергетичному забезпеченні [1], інвентаризації великих риболовецьких суден [4], оцінки штучної освітленості нічного неба і її впливу на видимість космічних процесів і явищ [3, 6] та ін. В даній статті, використовуючи дані, отримані супутником DMSP/OLS у 1992–2012 рр., наведені результати аналізу соціально-економічних змін, таких як щільність населення, економічна активність по адміністративних областях України.

Матеріали і методика дослідження

Супутник DMSP/OLS дозволяє отримати нічні зображення земної поверхні у видимому діапазоні спектру кожну добу з просторовою розрізненістю 900 метрів. Для дослідження були використані архів даних з 1992 по 2012 рр., зокрема четверта версія архіву даних про стабільну нічну освітленість. Дані отримані з шести супутникових серій DMSP/OLS (F10, F12, F14, F15, F16, F18). В цій версії стандартна попередня обробка спостережень полягала в очищенні зображень від хмар і створенні композиту постійних протягом календарного року вогнів (тобто вогні спостерігаються на всіх безхмарних зображеннях, отриманих протягом року) [27].

Для роботи було взято дані з супутника серії DMSP

* E-mail: alex@casre.kiev.ua. Tel.: + 380 44 239 7415

з F10 за період з 1992 по 1994 роки, з F12 за період з 1995 по 1999 роки, з F14 за період з 2000 по 2003 роки, з F16 за період з 2004 по 2009 роки, з F18 за період з 2010 по 2012 роки.

Попередньо була проведена первинна обробка даних супутника DMSP/OLS за допомогою програми Erdas Imagine, за наступною послідовністю:

1) За допомогою функції *SubSet* програми по обробці космічних знімків Erdas Imagine для даних з супутника DMSP/OLS за кожний рік виокремлювалася територія України з використанням контуру України в форматі *.aoi.

2) За допомогою функції *LayerStack* програми Erdas Imagine з отриманих на першому етапі 21 знімка території України (з 1992 по 2012 роки) було сформовано 21 каналних знімків України в географічній системі координат, де кожний канал відповідає року зйомки.

3) За допомогою функції *Reproject* програми Erdas Imagine було проведено перетворення 21-го каналного знімка України в систему координат WGS 84 / Zone 36.

4) За допомогою функції *SubSet* програми Erdas Imagine з 21-ого каналного знімка території України, отриманого на третьому етапі, виокремлювалася територія кожної області з використанням контуру областей України в форматі *.aoi.

5) За допомогою *Modeler Maker* програми Erdas Imagine виконане нормування даних знімків для кожної області України за формулою: $100 \times \left(\frac{DN - MIN}{MAX - MIN} \right)$, де *DN* — вхідне значення з файлу (digital number), *MIN*, *MAX* — мінімальне та максимальне значення. Розробники сканера OLS спеціально наголосили, про необхідність нормування даних, таким чином, отримані нормовані дані знаходяться в діапазоні 0–100, що дозволяє порівнювати між собою освітленість за різні роки.

Аналіз матеріалів досліджень

Як засвідчив аналіз даних космічних зйомок, значна частина території України характеризується нормованими значеннями інтенсивності освітленості, що дорівнюють нулю. На цій території роз-

ташовані окрім лісів, полів, річок, озер, морів та гір ще невеликі за площею населенні пункти, де нічне освітлення практично не фіксується супутником. Виходячи зі змісту задачі, що вирішується, ця територія була виключена з подальшого розгляду. На освітленій території розташовані міста різного розміру, селища та промислові об'єкти. Впевнено виділяються на знімках крупні автодороги завдяки їх освітленості та розташуванні вздовж них заправних станцій, кемпінгів, готелів та інших об'єктів, що працюють цілодобово і тому інтенсивно освітлені.

В процесі дослідження використовувалися статистичні дані про кількість загального населення та окремо міського і сільського за період 1992 по 2012 рр. по адміністративним областям України [5, 7–25], крім 1994 року на який відсутня статистика.

В таблиці 1, наведено вхідні дані, які використовувалися в дослідженні.

Результати досліджень

Перед регіональною політикою країни стоїть проблема організації широкого моніторингу соціально-економічного розвитку України в територіальному аспекті. Першочерговою проблемою такого моніторингу є підбір індикаторів, що характеризують те чи інше явище. У зв'язку з цим вибір кількісного критерію, що характеризує просторову концентрацію населення, а відповідно економічну активність даного регіону є необхідною умовою даного моніторингу. У якості показника, було використано запропонований нами кількісний показник: сумарна інтенсивність освітлення (*CIO*) — це сума значень освітленості всіх пікселів по території кожної з областей України. Це дозволило проаналізувати розподіл нічного освітлення по досліджуваній території та зіставити з показниками щільності населення та її економічного розвитку. Необхідність використання кількісного показника розподілу освітлення обумовлена тим, що показники економіки завжди наводяться у кількісній формі. Тому, для всебічного, об'єктивного аналізу супутникових та економічних даних необхідно використання статистичних методів аналізу.

Середня, осереднена за площею, величина нічної

Таблиця 1.

Дані нічної освітленості з супутника DMSP/OLS та статистичні дані по населенню на території Київської області України за період 1992–2012 роки

Рік	<i>CIO</i>	Нас. заг. (тис.)	Нас. міст (тис.)	Нас. сіл (тис.)	Рік	<i>CIO</i>	Нас. заг. (тис.)	Нас. міст (тис.)	Нас. сіл (тис.)
1992	219092	4592.5	3740.5	852	2002	154101	4430.0	3671.1	7589
1993	163707	4581.1	3742.2	838.9	2003	111999	4432.9	3690.5	7424
1994	205808				2004	125340	4445.3	3716.5	7288
1995	131579	4534.5	3720.4	814.1	2005	155100	4453.0	3737.4	7156
1996	149977	4510.8	3708.5	802.3	2006	160019	4469.2	3768.5	700.7
1997	118433	4493.3	3703.5	789.8	2007	178761	4455.4	3789.0	688.5
1998	150804	4476.1	3696.5	779.6	2008	193511	4493.3	3815.2	678.1
1999	149733	4461.9	3695.6	766.8	2009	169291	4506.9	3837.2	669.7
2000	125830	4447.6	3702.8	744.8	2010	224509	4516.8	3852.7	664.1
2001	134262	4445.8	3665.4	780.4	2011	279726	4531.4	3870.8	660.6

освітленості адміністративних областей України залежить від кількості населених пунктів в регіоні, розвиненості промисловості і транспортної мережі, а також від площі адміністративної області. Аналіз багаторічної динаміки величини *СІО* дозволив проанжувати області України згідно з направленістю змін в економіці та соціальній сфері.

Результати аналізу нічної освітленості з супутника *DMS/OLS* адміністративних областей України за період 1992–2012 рр. наведені в таблицях 2, 3.

В результаті було виділено чотири групи областей з різними середніми значеннями *СІО*. В першу групу увійшли промислово розвинуті Дніпропетровська та Донецька області, де середнє значення *СІО* за період 1992–2012 рр. більше $20 \cdot 10^4$. В другу групу увійшло 4 області (Полтавська, Луганська, Харківська, Київська), середнє значення *СІО* від $12.7 \cdot 10^4$ до $17.3 \cdot 10^4$. Третя група складається з 8 областей (Вінницька, Чернігівська, Миколаївська, Сумська, АР Крим, Львівська, Одеська, Запорізька), середнє значення *СІО* від $5.0 \cdot 10^4$ до $8.4 \cdot 10^4$. Четверта група — 11 областей — аутсайтери (Волинська, Тернопільська, Рівненська, Херсонська, Чернівецька, Закарпатська, Хмельницька, Житомирська, Івано-Франківська, Черкаська, Кіровоградська), середнє значення *СІО* від $2.7 \cdot 10^4$ до $4.9 \cdot 10^4$. Виходячи з аналізу даних табл. 2, 3 середні значення *СІО* мають сильну варіацію між областями і відрізняються майже в 10 разів від Донецької області до Волинської області.

Аналіз багаторічної динаміки величини нічної освітленості показує, що майже в усіх регіонах спостерігалась однакова тенденція: максимальні значення *СІО* в 1992–1993 роках, що характеризували економіку України в складі СРСР, падіння значень *СІО* до мінімальних в 2000–2007 роках для різних областей із-за специфіки їх економіки та соціальної сфери (табл. 3), та підйом значень *СІО* до 2012 року.

Отже, результати ранжування за значеннями нічної освітленості поділили адміністративні області України на групи: з високою щільністю населення і розвинутою промисловістю (1–2 група); з середньою щільністю населення та з наявністю окремих великих промислових об'єктів в межах кожної з областей (3 група); з низьким рівнем просторової концентрації населення, а відповідно і з малим промислово-економічним розвитком (4 група).

В процесі досліджень були розраховані коефіцієнти кореляції між параметрами освітленості та статистичними даними про кількість міського та сільського населення. Виявлено, кореляційні залежності між значеннями нічної освітленості *СІО* та статистичними даними про кількість населення та кількість міського населення для адміністративних областей першої, другої групи (статистично значимі коефіцієнти кореляції 0.7–0.9). Для третьої групи отримано кореляційні залежності тільки для 4 областей (Кіровоградська, Чернігівська, Миколаївська, Сумська) з 9 областей (статистично значимі

коефіцієнти кореляції 0.7–0.8). Для четвертої групи, до якої входять області з низькою щільністю населення, крім Херсонської області, кореляційних залежностей між значеннями нічної освітленості *СІО* та статистичними даними про кількість населення не отримано. При кореляційному аналізі, враховувалася вся територія області, а не окремі великі міста, що занизило вплив окремих великих промислових підприємств. Слід зазначити, що доступність такої оцінки дозволяє будь-якому користувачу визначити рівень просторової концентрації населення (на основі вільного доступу до даних нічної космічної зйомки).

Отримані кореляційні залежності в цілому підтвердили запропоноване ранжування адміністративних областей України, за параметром *СІО*.

Розселення населення, людність населених пунктів, агломеративність на території адміністративних областей, міграція українців в промислово розвинені регіони все це характеризує економічну активність даних регіонів. Приклади оцінки динаміки соціо-економічного розвитку в часі за 1992 та 2012 рр. на основі нічного освітлення наведено на рис. 1–3 для окремих територій.

На рис. 1–3 візуалізовано інформацію про концентрацію населення, розміщення об'єктів господарської діяльності і відповідно збільшення або зменшення території нічного освітлення.

Для аналізу змін нічної освітленості було взято, перші три соціо-економічно розвинуті області: Київська, Донецька, Дніпропетровська (рис. 1–3). На всіх трьох рисунках за 2012 рік видно зменшення площ нічної освітленості мабуть через втрату невеликих за розмірами низько енергетичних об'єктів, що пов'язано зі зменшенням кількості сіл, відповідно зменшення сільськогосподарських виробництв, невеликих містечок і закриття в них малих виробництв. Найбільше втрати за нічною освітленістю зазнала Дніпропетровська область.

З усіх інших адміністративних областей України, тільки в Київській області спостерігалась позитивна динаміка параметру *СІО*. Відбулося збільшення значень нічної освітленості майже в 1.5 рази більше, у порівнянні з 1992 роком. Це пояснюється тим, що в сучасних умовах наряду з ростом міського населення, де є промислове виробництво за рахунок внутрішньої міграції, де не має роботи відбувається розширення площ, як самого міста (Київ), так і створюються урбанізовані території, де збільшується концентрація населення і підвищується значення нічної освітленості (рис. 1).

Для інших великих міст Донецьк, Дніпропетровськ, Кривий Ріг та ін. дещо збільшується або освітленість самого міста, або залишається на тому ж рівні, але зменшується їх агломеративність, що свідчить про негаразди в промисловості (закриття виробництв в межах агломерацій) (рис. 2, 3).

Таблиця 2.
 Результати ранжування адміністративних областей України по рокам за нічною освітленістю ($\text{СЮ} \cdot 10^3$)

N	Області України	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
1	Донецька	380	342	359	317	330	303	256	223	219	234	243	253	197	217	206	171	215	183	220	257	304
2	Дніпропетровська	355	326	306	354	383	269	243	212	236	198	182	185	153	177	166	151	182	164	194	224	196
3	Київська	219	164	206	132	150	118	151	150	126	134	154	112	125	155	160	179	194	169	225	280	337
4	Харківська	214	212	230	201	218	190	195	134	114	134	135	135	102	117	110	104	121	128	143	159	151
5	Луганська	202	191	229	175	200	169	149	135	117	131	132	132	94	113	105	88	108	98	113	128	138
6	Полтавська	168	144	199	174	189	159	165	128	113	102	116	98	81	93	83	83	94	109	119	129	126
7	Запорізька	118	115	88	125	119	92	87	75	73	68	67	71	60	76	72	70	84	64	76	88	84
8	Одеська	127	95	80	94	97	70	81	81	71	68	70	74	70	67	76	72	71	64	86	109	94
9	Львівська	147	73	74	96	70	57	84	60	46	71	70	57	53	54	61	69	79	85	91	97	128
10	Автономна республіка Крим	134	109	75	90	71	56	63	60	49	62	75	63	65	61	75	76	83	62	73	84	91
11	Сумська	103	107	113	101	98	77	85	72	58	65	65	55	42	50	43	43	47	66	66	65	60
12	Миколаївська	92	69	48	83	86	52	55	45	50	47	45	52	42	43	44	39	42	43	56	69	59
13	Чернівецька	81	70	89	54	62	52	51	53	35	41	53	35	36	40	30	36	47	47	49	50	53
14	Вінницька	122	60	63	59	55	38	48	47	31	43	51	36	35	38	38	32	39	35	46	56	78
15	Кіровоградська	92	67	63	80	73	49	54	42	42	39	43	40	34	35	35	32	37	35	43	51	55
16	Черкаська	87	60	73	55	66	38	54	44	34	42	44	34	33	38	39	38	44	39	49	58	69
17	Івано-Франківська	84	61	61	58	46	39	48	35	30	47	44	41	34	31	35	39	50	55	53	52	66
18	Житомирська	71	48	72	49	52	36	46	38	31	41	39	27	28	33	29	31	32	32	41	49	71
19	Хмельницька	85	50	61	52	45	35	40	38	26	31	33	25	28	29	29	31	35	34	43	52	64
20	Закарпатська	72	42	41	41	29	25	38	30	28	29	41	43	32	37	35	27	35	46	45	45	50
21	Чернівецька	56	43	34	41	30	20	27	25	19	32	29	28	27	28	28	29	41	46	50	54	63
22	Херсонська	70	55	35	59	47	36	37	30	28	31	23	29	24	28	29	27	31	24	31	39	31
23	Рівненська	38	32	29	33	24	24	27	25	19	26	27	20	20	23	22	22	27	25	33	40	54
24	Тернопільська	72	46	43	41	26	23	26	23	15	19	20	17	16	15	15	17	20	24	27	31	41
25	Волинська	33	26	21	30	21	20	25	21	17	32	29	24	21	24	23	22	30	29	34	39	48

Таблиця 3.

Середні та мінімальні значення нічної освітленості ($CIO \cdot 10^4$) та роки, що відповідають мінімальним значенням CIO по адміністративним областям України

N	Області України	серед.	мін.	рік	N	Області України	серед.	мін.	рік
1	Донецька	259	17.1	2007	14	Вінницька	5.0	3.1	2000
2	Дніпропетровська	23.1	15.1	2007	15	Кіровоградська	4.9	3.2	2007
3	Київська	17.3	11.2	2003	16	Черкаська	4.9	3.3	2004
4	Харківська	15.5	10.2	2004	17	Івано-Франківська	4.8	3.0	2000
5	Луганська	14.0	8.8	2007	18	Житомирська	4.3	2.7	2003
6	Полтавська	12.7	8.1	2004	19	Хмельницька	4.1	2.5	2003
7	Запорізька	8.4	6.0	2004	20	Закарпатська	3.9	2.5	1997
8	Одеська	8.2	6.4	2009	21	Чернівецька	3.6	1.9	2000
9	Львівська	7.7	4.6	2000	22	Херсонська	3.5	2.3	2002
10	Автономна республіка Крим	7.5	4.9	2000	23	Рівненська	2.8	1.9	2000
11	Сумська	7.0	4.2	2004	24	Тернопільська	2.8	1.5	2005
12	Миколаївська	5.5	3.9	2007	25	Волинська	2.7	1.7	2000
13	Чернігівська	5.1	3.0	2006					

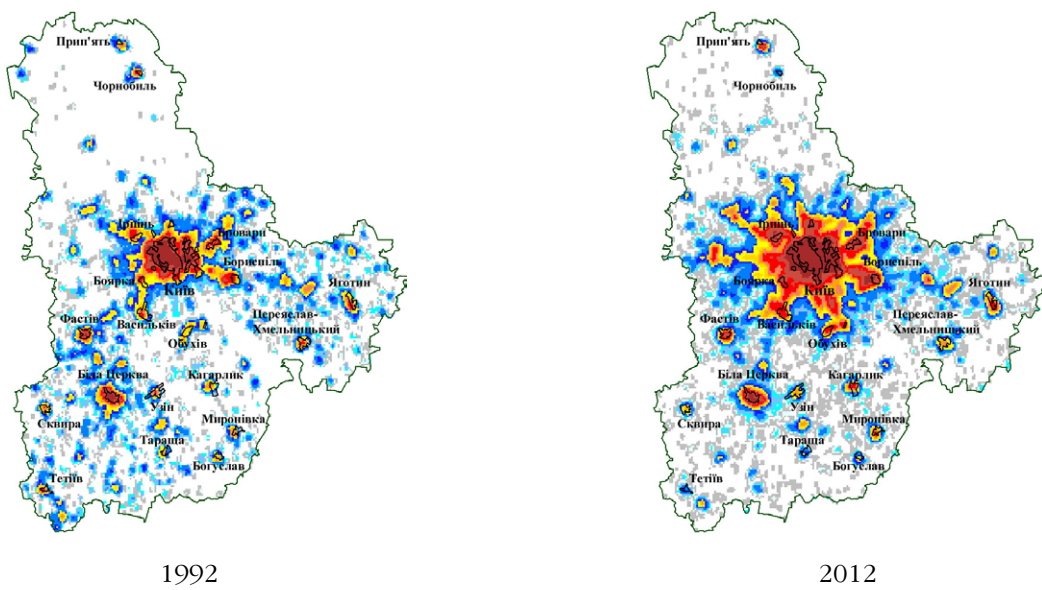


Рис.1. Зміна показника нічної освітленості CNO за 1992 та 2012 рік на території Київської області. Умовні позначення див. на рис. 3

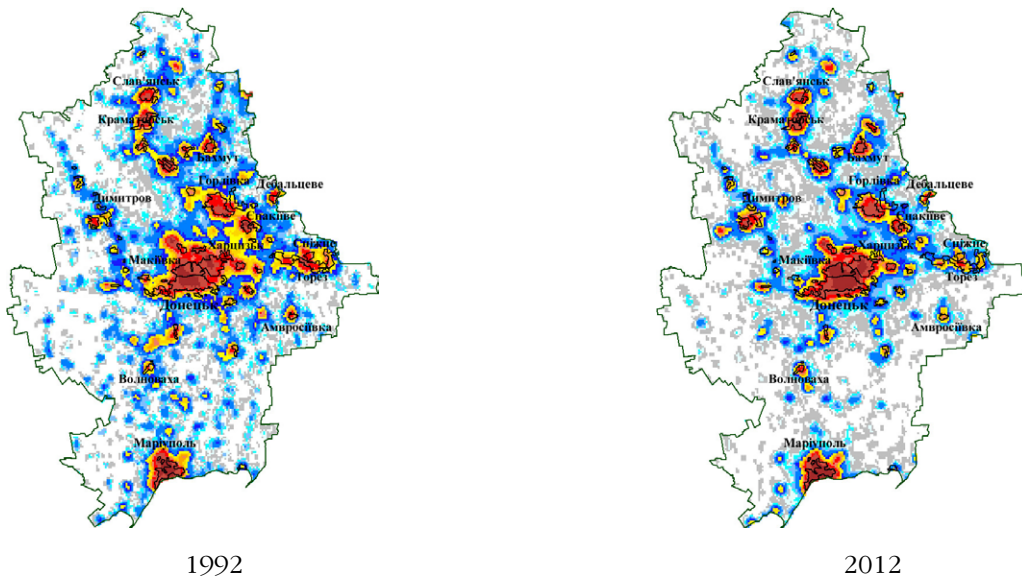
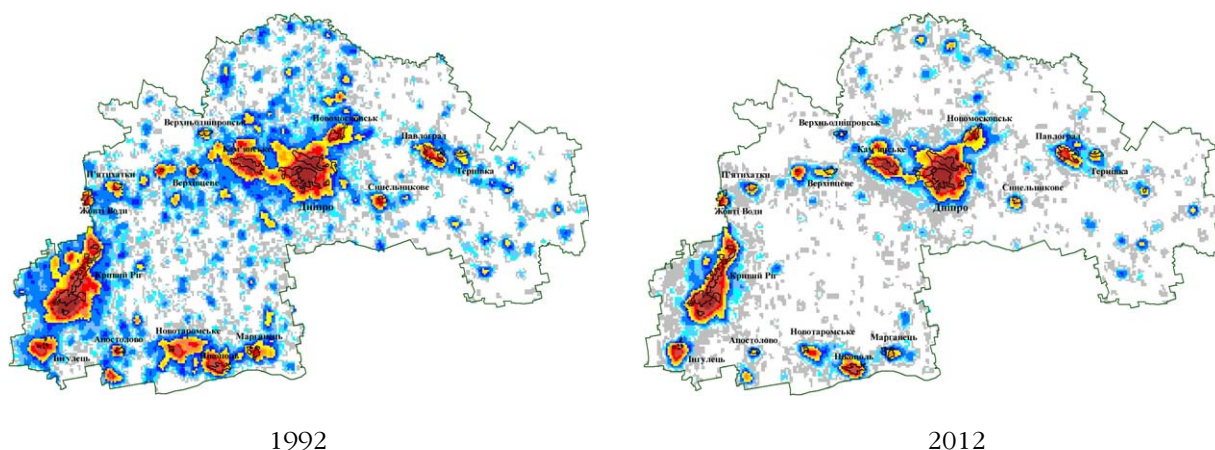


Рис. 2. Зміна показника нічної освітленості CNO за 1992 та 2012 рік на території Донецької області. Умовні позначення див. на рис. 3



1992

2012

Рис. 3. Зміна показника нічної освітленості CLO за 1992 та 2012 рік на території Дніпропетровської області



Висновки

Супутникові дані DMSP/OLS про нічну освітленість корелюють з показниками, що характеризують соціоекономічний стан адміністративних областей України і можуть використовуватися в якості засобу моніторингу загального стану регіонів України.

Супутниковий аналіз нічної освітленості адміністративних областей України за період 1992–2012 рр. показав, що соціально-економічна ситуація в більшості адміністративних областей погіршилась.

Загальна кількість населення за період 1992 по 2012 рр. в 25 адміністративних областях так і не змогла повернутися на рівень 1992 року. Іде постійне зменшення населення України. За даними Держстату [2], коли попри зростання валового регіонального продукту (ВРП) кількість населення зменшується, то збільшення ВРП на фоні зменшення людського капіталу можливе лише на основі надмірної експлуатації природного ресурсу, так званій “сировинний розвиток”. Така стадія стагнації відбувається в сучасній Україні по всій території.

Таким чином, супутникова інформація про нічне освітлення може бути використана в якості незалежного додаткового джерела даних про населення та економічний розвиток адміністративних областей України і їх зміну в часі.

Література

1. Аэрокосмические методы и геоинформационные технологии в лесоведении, лесном хозяйстве и экологии: Доклады VI Всероссийской конференции, 20–22 апреля 2016 г. Москва. — М.: ЦЭПЛ РАН, 2016. — 230 с.
2. Державна служба статистики України. [Електронний ресурс]. — Електрон. дані — Режим доступу: www.ukrstat.gov.ua. — Назва з екрану.
3. Кушнырь О. В. Разработка методики определения плотности населения по ночным снимкам DMSP OLS / О. В. Кушнырь // Известия ВУЗов. Геодезия и аэрофотосъёмка. — 2014. — № 1. — С. 66–70.
4. Лупян Е. А., Балашов И. В., Бурцев М. А., Саворский В. П., Карелов А. И., Щеглов М. А. Разработка технологий спутникового мониторинга железнодорожной инфраструктуры // 4-я Международная научно-практическая конференция “ИнтеллектТранс-2014”: тез. докл. — СПб.: ПГУПС, 2014. — С. 7.
5. Народне господарство України [1991–1993] році. Стат. щорічник/ М-во статистики України; відп. за вип. В. В. Самченко. — Київ: Техніка, 1992–1994.
6. Савин И. Ю. Спутниковые данные о ночной освещенности как индикаторе общего социально-экономического развития регионов России / И. Ю. Савин, Д. Статакис, П. А. Докукин // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. — 2017. — Том 14. — №6. — С. 210–221.
7. Статистичний щорічник за 1994 рік/ за ред. В. В. Самченко. — К.: Техніка, 1995. — 519 с.
8. Статистичний щорічник за 1995 рік/ відп. за вип. В. В. Самченко. — К.: Техніка, 1996. — 576 с.
9. Статистичний щорічник за 1996 рік/ відп. за вип. О. Г. Осауленко. — К.: Укр. енцикл., 1997. — 618 с.
10. Статистичний щорічник за 1997 рік/ відп. за вип. О. Г. Осауленко. — К.: Укр. енцикл., 1998. — 624 с.
11. Статистичний щорічник за 1998 рік/ за ред. О. Г. Осауленко; відп. за вип. В. А. Головка. — К.: Техніка, 1999. — 576 с.
12. Статистичний щорічник за 1999 рік/ за ред. О. Г. Осауленко; відп. за вип. В. А. Головка. — К.: Техніка, 2000. — 648 с.
13. Статистичний щорічник за 2000 рік/ за ред. О. Г. Осауленко; відп. за вип. В. А. Головка. — К.: Техніка, 2001. — 598 с.

14. Статистичний щорічник за 2001 рік/ за ред. О. Г. Осауленко; відп. за вип. В. А. Головка. — К.: Техніка, 2002. — 644 с.
15. Статистичний щорічник за 2002 рік/ за ред. О. Г. Осауленко; відп. за вип. В. А. Головка. — К.: Консультант, 2003. — 663 с.
16. Статистичний щорічник за 2003 рік/ за ред. О. Г. Осауленко; відп. за вип. В. А. Головка. — К.: Консультант, 2004. — 631 с.
17. Статистичний щорічник за 2004 рік/ за ред. О. Г. Осауленко; відп. за вип. В. А. Головка. — К.: Консультант, 2005. — 591 с.
18. Статистичний щорічник за 2005 рік/ за ред. О. Г. Осауленко; відп. за вип. В. А. Головка. — К.: Консультант, 2006. — 575 с.
19. Статистичний щорічник за 2006 рік/ за ред. О. Г. Осауленко; відп. за вип. П. П. Забродський. — К.: Консультант, 2007. — 551 с.
20. Статистичний щорічник за 2007 рік/ за ред. О. Г. Осауленко; відп. за вип. П. П. Забродський. — К.: Консультант, 2008. — 571 с.
21. Статистичний щорічник за 2008 рік/ за ред. О. Г. Осауленко; відп. за вип. Н. П. Павленко. — К.: Інформ-аналіт. агенство, 2009. — 566 с.
22. Статистичний щорічник за 2009 рік/ за ред. О. Г. Осауленко; відп. за вип. Н. П. Павленко. — К.: Інформ-аналіт. агенство, 2010. — 663 с.
23. Статистичний щорічник за 2010 рік/ за ред. О. Г. Осауленко; відп. за вип. Н. П. Павленко. — К.: Август Трейд, 2011. — 559 с.
24. Статистичний щорічник за 2011 рік/ за ред. О. Г. Осауленко; відп. за вип. О. Е. Остапчук. — К.: Август Трейд, 2012. — 558 с.
25. Статистичний щорічник за 2012 рік/ за ред. О. Г. Осауленко; відп. за вип. О. Е. Остапчук. — К.: Август Трейд, 2013. — 551 с.
26. Agro-meteorological Monitoring in Russia and Central Asian Countries, Ispra: OPOCE, 2006. — 214 p.
27. NOAA: National Centers for Environmental Information. Data Download. [Електронний ресурс]. — Електрон. дані — Режим доступу: <https://ngdc.noaa.gov/eog/index.html>. — Назва з екрану.

ОЦЕНКА СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ ОБЛАСТЕЙ УКРАИНЫ ЗА ГОДЫ НЕЗАВИСИМОСТИ НА ОСНОВАНИИ ДАННЫХ СПУТНИКА DMSP/OLS О НОЧНОЙ ОСВЕЩЕННОСТИ

В. И. Лялько, А. А. Апостолов, Л. А. Елистратова, А. Я. Ходоровский

Установлена зависимость интенсивности ночной освещенности территории Украины (данные со спутника DMSP/OLS) от количества населения. Дана оценка социально-экономических условий в отдельных областях и их изменений за период 1992–2012 гг. На основании полученных данных было проведено ранжирование областей Украины по социально-экономическим условиям. Полученные результаты подтверждены статистическими данными об изменении количества городского и сельского населения. Это подтверждает, что данные со спутника DMSP/OLS целесообразно использовать для мониторинга и экспресс оценки направленности изменений в экономике и социальной сфере отдельных областей.

Ключевые слова: спутник DMSP/OLS, количество населения, спутниковый мониторинг, административные области Украины

THE ASSESSMENT OF THE SOCIAL-ECONOMIC ELABORATION OF THE UKRAINE IN INDEPENDENT YEARS WITHIN THE DMSP/OLS SATELLITE DATA ABOUT THE NIGHT LIGHTING

V. I. Lyalko, A. A. Apostolov, L. A. Elistratova, A. Ya. Khodorovsky

The dependence of intensity of the night lighting of Ukrainian territory (DMSP/OLS satellite data) on quantity of population, were estimate the social-economic conditions and it changing in the particular areas from 1992 to 2012 years. On the obtained data were done ranking of the Ukrainian areas on social-economic conditions. Obtained data was confirmed with statistical information about changing of the urban and rural population number. It shows that the satellite data DMSP/OLS can be used for monitoring and express assessment of changes in economic and social fields of particular areas.

Keywords: satellite DMSP/OLS, population number, satellite monitoring, administrative areas of Ukraine

УДК 553.98:528.854:004.891

О возможности дистанционного поиска залежей углеводородов с использованием компьютерного ассистента геолога

М. А. Попов *, С. А. Станкевич, А. И. Архипов, О. В. Титаренко

ГУ "Научный центр аэрокосмических исследований Земли ИГН НАН Украины", Киев, Украина

Предложена концепция создания прикладной программной системы "компьютерный ассистент геолога" для дистанционного поиска залежей углеводородов. Её основными задачами определены логико-вычислительные операции над данными, фактами и другими сведениями, обработка гипотез, интеллектуальная поддержка принятия решений. Для их решения предлагаются соответствующие алгоритмические и программные средства инструментария экспертных систем.

Ключевые слова: данные дистанционного зондирования Земли, поиск залежей углеводородов, компьютерный ассистент геолога, морфоструктурный анализ, прогнозные объекты, интеграция гетерогенных геопространственных данных

© М. А. Попов, С. А. Станкевич, А. И. Архипов, О. В. Титаренко. 2018

Нефть, газ и продукты их переработки имеют огромное значение для устойчивого функционирования мировой экономики и жизни населения и, несомненно, их востребованность сохранится и в обозримом будущем. Однако объемы разведанных запасов углеводородов не покрывают потребности, и потому поиск новых месторождений является одной из важнейших задач, на решение которой направлены усилия специалистов во всем мире

Опыт экономически состоятельных государств показывает, что для обеспечения стабилизации добычи нефти и газа ежегодный прирост разведанных запасов должен в 2–3 раза превышать уровень добычи [7]. В Украине это условие не выполняется, но, вместе с тем нужно отметить, что Украина относится к числу стран, не бедных в энергетическом смысле: при территории, равной 0.4% мировой, сырьевые запасы недр Украины составляют 5% мировых. По оценкам специалистов, в недрах украинского черноморского шельфа может быть до 40 млрд кубометров природного газа, а запасы нефти на суше составляют более, чем 780 млн т. [25]. Однако поиск и разведка новых месторождений углеводородов ведутся в нашей стране последние несколько десятков лет явно недостаточными темпами

Следует также отметить, что структура имеющихся запасов полезных ископаемых имеет четкую тенденцию к ухудшению, поскольку на протяжении многих предыдущих десятков лет разрабатывались, в первую очередь, те месторождения, доступ к которым был более легким. В этом обстоятельстве – одна из причин, почему немногочисленные месторождения, открытые в нашей стране за последнюю четверть века, имеют незначительные запасы и, вследствие больших глубин и низких дебитов, прак-

тически не повлияли на общие объемы добычи углеводородного сырья

На выправление сложившейся в Украине ситуации в области нефтегазодобычи, совершенствование методического и научно-технического обеспечения нефтегазопроисковых работ, технологическое содействие открытию новых перспективных месторождений направлены исследования, проводимые в Научном центре аэрокосмических исследований Земли Института геологических наук Национальной академии наук Украины (ЦАКИЗ) в рамках целевой научно-прикладной программы "Розвиток геологічних, геофізичних наук, технологій і нарощування ресурсів корисних копалин в Україні та вивчення, прогнозування і мінімізація надзвичайних ситуацій". Цель этих исследований – повысить эффективность поиска залежей полезных ископаемых на основе разработки новых технологий с использованием материалов аэрокосмических съёмки.

В последние несколько десятилетий в задачах поиска залежей полезных ископаемых все большую роль играют методы дистанционного зондирования Земли [3, 4, 16]. Практика показывает, что дистанционные аэрокосмические методы находят успешное применение, как на региональном, так и локальном уровнях, особенно в условиях, при которых исследуемые участки территории имеют достаточно большие площади и прямой доступ к ним затруднен.

Применение метода дистанционного поиска месторождений нефти и газа, с использованием материалов аэрокосмической съёмки, основывается на феномене влияния имеющейся на некоторой глубине залежи углеводородов на геохимические и биофизические параметры расположенных над ней приповерхностных грунтов и растительного по-

* E-mail: mpopov@casre.kiev.ua. Тел.: +380 44 482 01 66

крова [8, 9]. Механизм такого влияния рассмотрен в [2]. Суть в том, что в условиях достаточно однородного по структуре и составу грунтов и растительности изотропного участка земной поверхности его элементы обычно не сильно отличаются по своим спектральным отражательным свойствам, однако присутствие в недрах залежи углеводородов ведет к изменению спектральных портретов соответствующих земных покровов. Эти изменения (если они достигают определенного уровня) рассматриваются как аномалии спектрального отражения земной поверхности и служат одним из важных индикаторов залежи.

Модель формирования аномалии спектрального отражения растительного покрова на земной поверхности над залежами углеводородов описана в монографии [3]. При дистанционном подходе подобные аномалии выявляют путём анализа материалов много- и гиперспектральной аэрокосмической съёмки. Однако выявление аномалий по материалам съёмки — лишь часть общего процесса изучения исследуемого участка земной поверхности, ибо при принятии решения о наличии залежи важное значение имеют геологические данные, результаты полевых спектрометрических измерений, геохимические показатели грунтов, данные сейсмических и гравитационных измерений, магнитометрии и др. Тщательный комплексный анализ всей собранной информации позволяет повысить достоверность поисково-прогнозных оценок на углеводороды и расширить круг решаемых задач.

В соответствии с общепринятой схемой геологоразведочного процесса на нефть и газ нефтегазопромысловые задачи решаются в процессе выполнения регионального, поискового и разведочного этапов [4]. Известно, что обязательным условием существования залежей углеводородов является наличие структурных или неструктурных ловушек и их заполненность нефтью, конденсатом или газом. Поэтому при комплексной обработке различной геофизической информации, материалов аэрокосмической съёмки в районах исследований необходимо выявлять наличие таких ловушек и по прямым или косвенным признакам устанавливать наполненность их углеводородами. То есть при любых использованных схемах решаются две основные задачи: первая — это поиск потенциальных ловушек-коллекторов, которые могут служить резервуарами залежей углеводородов, и вторая — определение наличия углеводородов в этих ловушках.

С учетом вышеизложенного решение любой задачи дистанционного поиска залежей углеводородов — это последовательная процедура, включающая в себя ряд этапов. Согласно [1], поиск залежей углеводородов на суше должен проводиться в определенной последовательности (рис. 1):

1) выбор материалов аэрокосмической съёмки и сбор необходимого объема первичной (априор-



Рис. 1. Схема дистанционного поиска залежей углеводородов на суше

ной) информации: картографических материалов на район интереса, данных геологических исследований, результатов проведенных сейсмических работ и др.;

- 2) дешифрирование и морфоструктурный анализ материалов много- или гиперспектральной аэрокосмической съёмки;
- 3) создание моделей разломно-блоковых структур изучаемой территории и выделение потенциально перспективных объектов;
- 4) выделение аномалий спектрального отражения земной поверхности (растительность, грунты) по материалам аэрокосмической съёмки с целью перевода потенциально перспективных объектов в разряд прогнозно-перспективных объектов;
- 5) полевые заверочные работы и наземные исследования (подтверждение результатов камеральных исследований) на объектах (спектрометрирование образцов растительности и грунтов, геохимические, магнитометрические и другие исследования)
- 6) интеграция и комплексный анализ результатов дистанционных и полевых (наземных) исследований
- 7) формирование гипотезы — решения о выявлении или отсутствии залежи углеводородов и её возможном потенциале.

Традиционно большая часть названных работ

выполняется непосредственно человеком, а именно геологами, дешифровщиками-интерпретаторами и другими специалистами. Однако практика показывает, что поисково-оценочные и прогнозные задачи отличаются высокой интеллектуальной сложностью, которая обусловлена огромным числом переменных, требующих учёта и анализа, отсутствием чётких правил их обработки и критериев принятия решений. Кроме того, эти переменные имеют различную физическую природу, представлены в разных форматах и измеряются в разных шкалах. Многие решения принимаются в условиях ограничений используемого методического инструментария (значительная часть переменных является результатом непрямых, косвенных измерений или наблюдений), при неполноте геологической картины, в присутствии множества посторонних случайных факторов.

По указанным причинам геолог, решая поставленную поисковую или прогнозную задачу, работает в напряженном режиме, и одним из последствий этого является достаточно быстрое проявление усталостного фактора. В подобных условиях весьма затруднительно обеспечить стабильное получение достоверных оценок и решений и, в связи с этим, актуальным представляется разгрузить, по возможности, геолога-исследователя, снять с него хотя бы часть интеллектуальной нагрузки при работе с данными. Для этого предлагается создание прикладной программной системы “компьютерный ассистент геолога”. На рис. 2 представлена схема решения нефтегазописковых задач при совместной работе геолога-исследователя и компьютерного ассистента, а также распределение функций между ними на региональном этапе исследований. Конечным продуктом исследований является схема расположения прогнозных объектов.

Рис. 3 отображает схему решения нефтегазописковых задач при совместной работе специалиста-геолога и его компьютерного ассистента, а также распределение функций между ними на поисковом и разведочном этапах [1]. В процессе работы выполняются оценки продуктивности прогнозных объектов, выделенных на региональном этапе, что позволяет перевести все или часть этих объектов в разряд прогнозно-перспективных объектов. Конечным продуктом процесса является схема расположения прогнозно-перспективных объектов на заданной площади.

Ключевым информационным элементом при совместной работе геолога и компьютерного ассистента является база знаний.

В базе знаний находятся:

- информация об объектах реального мира, относящихся к предметной области (графическая, описательная и др.);
- понятийный аппарат предметной области, терминология и т. д.;

- физико-математические, сущностные и другие модели объектов, явлений и процессов;
- отношения, существующие между объектами реального мира, правилами, утверждениями и т. д.;
- причинно-следственные правила;
- декларативные знания (о фактах и данных);
- процедурные знания (методы, алгоритмы, эвристики);
- метазнания, или информация о знаниях, содержащихся в базе знаний (их достоверность, указания по использованию, актуализации и др.)

Информация об объектах реального мира, терминология, понятия и определения, а также метазнания считаются априори достоверными. Относительно остальной информации, хранящейся в базе знаний, допускается наличие в ней ошибок, неточностей, элементов неопределенности

Все содержимое базы знаний структурируется в единую систему знаний и обычно описывается на одном из языков представления знаний (например, PROLOG, LISP), хотя во многих случаях для этого вполне может быть использован один из универсальных языков программирования (например, Basic).

Множество эвристик отражают причинно-следственные связи между наблюдениями / измерениями и соответствующими гипотезами. Существуют разные методы формального представления эвристики в базе знаний, однако наиболее простой и удобный — посредством семантических сетей [14]. Множество эвристик формируется экспертами данной предметной области, оно должно быть достаточно мощным, а при оценке справедливости эвристики исходят из предыдущего опыта решения подобных задач.

Компьютерный ассистент может выполнять такие поисковые, вычислительные и интеллектуальные функции:

- 1) поиск и получение необходимых материалов аэрокосмической съемки, нахождение первичной информации и данных, необходимых для решения поставленной задачи;
- 2) фильтрация и нормализация полученных данных, извлечение фактов и других сведений из первичной информации, их верификация (проверка точности и достоверности);
- 3) дешифрирование материалов аэрокосмической съемки и распознавание изображений;
- 4) выполнение логико-вычислительных операций над данными, фактами и другими сведениями согласно принятым правилам вывода;
- 5) обработка гипотез, интеллектуальная поддержка геолога при принятии оценочно-прогнозных решений по изучаемым объектам в соответствии с исходной постановкой задачи.

Уровень функционального задействования компьютерного ассистента зависит от конкретной задачи и задается геологом. Безусловно, достоверность и точность формируемых решений зависят

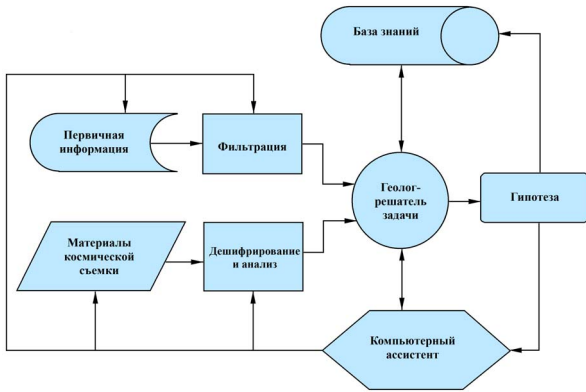


Рис. 2. Схема решения нефтегазопроисловых задач с использованием компьютерного ассистента (региональный уровень)

от качества и объемов исходных материалов и первичной (априорной) информации. При дистанционном поиске залежей углеводородов достаточно высокие требования предъявляются к спектральной разрешающей способности аэрокосмического изображения (для гиперспектральных снимков эта величина может составлять несколько нанометров), а необходимое пространственное разрешение на Земле может составлять 10–20 м и более. В современных условиях снимки с такими характеристиками обычно имеются в достаточном количестве и, как правило, доступны на вполне приемлемых условиях.

Для получения аэрокосмических снимков с нужными характеристиками, а также другой необходимой информации можно использовать многочисленные открытые базы данных и поисковые системы, в том числе семантические веб-сервисы (*semantic web services*) [23]. Следует, однако, учитывать, что цифровое описание сведений и знаний, накопленных в геологии и смежных науках о Земле, тезаурус понятий и семантика отношений между объектами в этой сфере пока стандартизованы явно недостаточно, что существенно ограничивает возможности применять такое поисковые средства как *semantic web services*.

Чтобы не пропустить какую-либо полезную и важную информацию, геолог часто вынужден задавать обобщенные, размытые критерии поиска, вследствие чего собираемые массивы данных оказываются далеко не всегда адекватными реальным потребностям задачи и требуют дополнительной обработки и фильтрации

Возможности человека по дешифрированию многоспектральных и гиперспектральных изображений (в отличие от панхроматических или цветных) весьма ограничены, поэтому для этих целей разработаны и успешно применяются специализированные прикладные программные системы, такие как ENVI, ERDAS, eCognition и др. Отметим, что в ЦАКИЗ наработан целый ряд новых методов классификации многоспектральных и гиперспектраль-

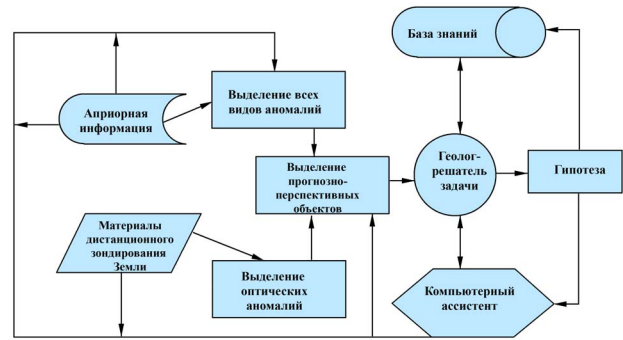


Рис. 3. Схема решения нефтегазопроисловых задач с использованием компьютерного ассистента (поисковый и разведочный этапы)

ных аэрокосмических изображений, которые показали свою эффективность [10, 11, 13] и могут быть успешно использованы при решении задач дистанционного поиска месторождений углеводородов

Что касается логико-вычислительных операций над данными, фактами и другими сведениями, обработки гипотез, интеллектуальной поддержки принятия решений, то при создании соответствующих алгоритмических и программных средств можно воспользоваться инструментарием экспертных систем [5, 17, 20]. Известно достаточно много экспертных систем различного назначения, в том числе созданных для оказания информационной помощи специалистам-практикам при поиске полезных ископаемых — *Dipmeter Advisor*, *PROSPECTOR*, *USGS Tetracorder* и др.

Большинство из них использует продукционную модель представления знаний [14]. Структура продукционного правила имеет вид: if <предпосылка>, then <заключение>. То есть правило состоит из двух частей: предпосылка (*proposition*) и заключение (*conclusion*). Предпосылка — это некоторое условие, которое может быть простым или составным; например — условие может описываться логическим выражением с использованием операторов конъюнкции и дизъюнкции. Предпосылки и заключения могут быть представлены в номинальной, количественной и других шкалах, т. е. могут выражаться в виде некоторых описаний, конкретных значений параметров изучаемого объекта, логических выражений и т. д. В теории продукционных систем предпосылка еще именуется как антецедент (*antecedent*), а заключение — как консеквент (*consequent*)

Продукционный механизм опирается на три компонента — рабочую память, базу правил и механизмы сопоставления и вывода (рис. 4). Рабочая память — это оперативное (временное) хранилище информации, относящейся к той конкретной задаче предметной области, которая решается в данный момент. Такое хранилище использует информацию, содержащуюся в базе знаний, и организуется в интересах экономии вычислитель-

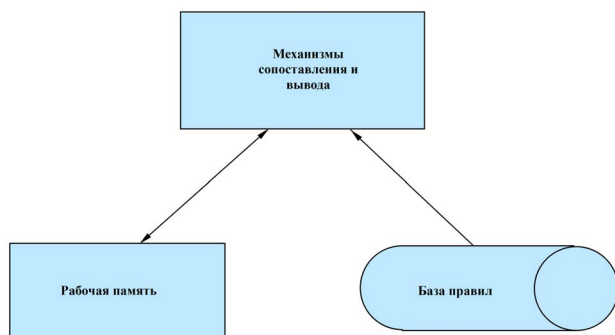


Рис. 4. Конфигурация продукционной системы

ных затрат. База правил также является частью базы знаний. Третий компонент — механизмы логического вывода, использующие правила (продукцию) в соответствии с содержанием рабочей памяти.

Все три компонента наполняются информацией на этапе обучения системы, которое проводится с помощью экспертов предметной области.

Опыт создания и применения экспертных систем показал, что продукционная модель представления знаний является мощным средством для реализации множества логико-вычислительных операций над данными, фактами и другими сведениями, для автоматической обработки гипотез и иной интеллектуальной поддержки геолога. Вместе с тем, анализ применения разработанных образцов экспертных систем в геологии показывает, что пока они так и не стали действенным средством оказания эффективной помощи геологу при решении нефтегазопоисковых задач. На наш взгляд, одна из основных причин этого состоит в том, что в качестве математической основы для проведения логико-вычислительных операций и обработки гипотез известных экспертных систем обычно задействуются либо байесовский вероятностный подход, либо методы теории нечетких множеств Демпстера-Шейфера [24]. Математика теории свидетельств позволяет работать с неполностью определёнными данными и даже в отсутствие части данных, на формальной основе алгоритмически комплексировать эвристические знания с учётом надёжности их источников, формировать решения при наличии противоречивых гипотез и др. Учитывая эти преимущества, представляется перспективным использовать в дальнейшем возможности теории свидетельств Демпстера-Шейфера в качестве математической основы при построении компьютерного ассистента.

Надёжное и достоверное решение реальных природоресурсных задач нуждается в анализе большого количества геопространственных данных, требуемых для создания и уточнения геологических моделей и тематической интерпретации полученных результатов. Общей практикой

выступает комбинирование и совместная обработка многих слоёв разнородных геопространственных данных из разнообразных источников (рис. 5). При этом должен проводиться комплексный анализ всей имеющейся совокупности геопространственных данных на исследуемую территорию — дистанционных (оптических и радарных изображений, авиационных и спутниковых измерений), полевых (геофизических, геохимических, фитометрических), ранее накопленных (геологических и других тематических карт) и т. п. [15]

Обычно разделяют подготовительные процедуры, обеспечивающие возможность проведения общего анализа геопространственных данных — преобразование форматов, согласование пространственных экстенгов и датумов, пространственная регуляризация, выбор методов обработки данных разной физической природы (интеграция в узком смысле) и, собственно, семантико-ориентированные процедуры, направленные на получение конечных результатов геопространственного анализа (целевая интеграция) [21]

Для пространственного согласования регулярных и нерегулярных растровых и векторных геопривязанных данных современные геоинформационные технологии обеспечивают целый арсенал методов — от простой сплайн-интерполяции до физического моделирования [22]. При этом перед обработкой количественные поля данных разной физической природы должны преобразовываться в определённую единую измерительную форму, например, путём разного рода масштабирования, нормирования или фильтрации. Целесообразно использовать собственные масштабные преобразования для каждого из типов данных, чтобы в результате привести все измерения к единому масштабу [12]

Общий подход к решению задачи дистанционного поиска залежей углеводородов геологом с использованием компьютерного ассистента состоит в следующем. Геолог по результатам проведенного информационного анализа всех доступных ему материалов, приходит к определённому суждению. Суждение передается компьютерному ассистенту, где интерпретируется (используя рабочую память и базу правил) как предпосылка на множестве продукционных правил. По этой предпосылке продукционная система компьютерного ассистента, исходя из имеющейся предпосылки (антецедента), отбирает все правила с такой предпосылкой и далее на основе их применения и анализа выводится заключение (консеквент), или рабочая гипотеза. Правильность выбора правила и достоверность выведенной гипотезы проверяются и оцениваются через базу знаний.

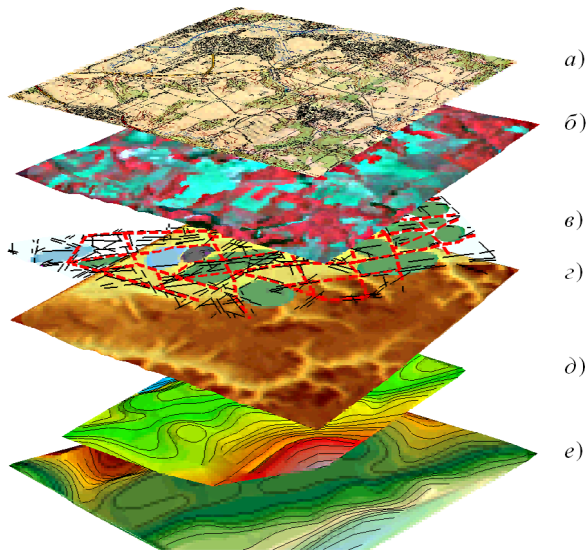


Рис. 5. Набор исходных слоёв гетерогенных геопространственных данных: а – топографическая карта; б – многоспектральный космический снимок; в – схема разломно-блоковой тектоники; г – гипсометрия рельефа; д, е – структурные карты разных горизонтов залегания

Представляется, что предложенный подход будет полезным при решении нефтегазопроисковых задач на суше, в первую очередь, в таких постановках:

- при готовности начать бурение новой поисковой (разведочной) скважины в пределах территории, оцениваемой специалистами (геологами и геофизиками) как нефтегазоперспективной, выбрать среди возможных вариантов места ее заложения тот, где бурение будет иметь наибольший коэффициент успеха [19]
- уточнение контура нефтегазоносности, ранее установленного с помощью традиционных прямых или косвенных методов поиска [6, 18];
- упорядочить (проранжировать) несколько площадей, подготовленных к бурению, по степени их перспективности [1].

Каждая постановка задачи требует своей стратегии ее решения и соответствующего информационного и программного обеспечения. Все необходимое должно быть сосредоточено в базе знаний, однако выполнение этого требования – сложная и трудоемкая задача, включающая в себя обучение компьютерного ассистента геолога с помощью специалистов – экспертов в рассматриваемой предметной области, формализацию ключевых понятий, моделирование, тестирование и др. Авторы статьи планируют, что названные вопросы будут предметом рассмотрения на последующих этапах выполнения исследований в рамках названной выше целевой научно-прикладной программы НАН Украины.

Литература

1. Архипов А. И. Прогрессивная технология для решения

нефтегазопроисковых задач на суше аэрокосмическими методами / А. И. Архипов, В. И. Лялька, З. М. Товстюк, В. П. Ключко // Аэрокосмический мониторинг объектов нефтегазового комплекса / Под ред. В. Г. Бондура. — М.: Научный мир, 2012. — С. 165–174.

- Архіпова Т. О. Попередні результати геохімічних та дистанційних досліджень ландшафтів при розв'язанні нафтогазопроискових задач / Т. О. Архіпова // Пошукова та екологічна геохімія, 2004. — № 4. — С. 77–80.
- Багатоспектральні методи дистанційного зондування Землі в задачах природокористування / За ред. В. І. Лялька і М. О. Попова. — К.: Наук. думка, 2006. — 360 с.
- Галузевий стандарт України ГСТУ 41-00032626-00-011-99. Етапи і стадії геологорозвідувальних робіт на нафту і газ. — Київ: Комітет України з питань геології та використання надр, 1999. — 18 с.
- Лорьер Ж.-Л. Системы искусственного интеллекта / Ж.-Л. Лорьер; пер. с фр. — М.: Мир, 1991. — 568 с.
- Лукин А. Е. Прямые поиски нефти и газа: причины неудач и пути повышения эффективности / А. Е. Лукин // Геолог Украины. — 2004. — № 3. — С. 18–43.
- Мстиславская Л. П. Геология, поиски и разведка нефти и газа / Л. П. Мстиславская, В. П. Филиппов. — М.: ЦентрЛитНефтеГаз, 2005. — 199 с.
- Перерва В. М. Состояние и пути совершенствования спутниковой технологии прогнозирования залежей нефти и газа / В. М. Перерва, А. И. Архипов, Г. Ф. Бусел, Е. И. Левчик, Е. А. Рыбак, Т. В. Оскарян // Космічна наука і технологія. — 2002. — Т. 8. — № 2/3. — С. 201–206.
- Перерва В. М. Мультиспектральний структурно-польовий спосіб прогнозування покладів нафти і газу / В. М. Перерва, М. О. Тепляков, О. І. Архіпов, О. В. Гончаренко, Г. Ф. Бусел, О. І. Левчик, Т. В. Оскарян // Декларативний патент на винахід UA № 63073A. — Опубл. 15.01.2004. — Бюл. № 1/2004.
- Попов М. А. Метод классификации космических изображений с использованием подхода Демпстера-Шейфера / М. А. Попов, С. И. Альперт, В. Н. Подорван // Исследование Земли из космоса. — 2016. — № 5. — С.26–37.
- Попов М. А. Методика классификации площадных объектов на многоспектральных космических изображениях на основе последовательного слияния информации / М. А. Попов, В. И. Лялька, В. Н. Подорван, А. И. Сахацкий // Материалы Второй открытой Всероссийской научной конференции “Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса”. — М.: ИКИ РАН, 2005. — С. 88–94.
- Попов М. А. Решение задач поиска нефти и газа с использованием гетерогенной пространственной информации / М. А. Попов, С. А. Станкевич, С. Ю. Марков, А. В. Зайцев, Е. Б. Кудашев // Труды XV Всероссийской объединенной конференции “Интернет и современное общество” (IMS-2012). — СПб.: Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, 2012. — С. 94-101.
- Попов М. А. Использование полного набора нормализованных

- зованих межканальних індексів многоспектральних космічних зображень при класифікації покритий ландшафта / М. А. Попов, С. А. Станкевич, А. І. Сахацький, А. А. Козлова // Ученые записки Таврического национального университета им. В.И. Вернадского. — 2007. — Т.20(59). — № 1. — С. 175–182.
14. Представление и использование знаний / Под ред. Х Уэно, М. Исидзука; пер. с яп. — М.: Мир, 1989. — 220 с.
 15. Станкевич С. А. Інтегрування гетерогенної просторової інформації при вирішенні нафтогазопошукових задач / С. А. Станкевич, М. О. Попов, О. В. Зайцев, С. Ю. Марков, Е. Б. Кудашев, О. П. Дишлик // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва. — 2012. — Вип. 2 (24). — С. 105–110.
 16. Трофимов Д. М. Современные методы и алгоритмы обработки космической, геолого-геофизической и геохимической информации для прогноза углеводородного потенциала неизученных участков недр / Д. М. Трофимов, В. Н. Евдокименков, М. К. Шуваева. — М.: Физматлит, 2012. — 320 с.
 17. Уотермен Д. Руководство по экспертным системам / Д. Уотермен; пер. с англ. — М.: Мир, 1989. — 388 с.
 18. Федоровский А. Д. Прогнозирование и поиск месторождений нефти и газа на основе спектрофотометрирования растительного покрова / А. Д. Федоровский, В. Г. Якимчук, А. И. Архипов, А. Ю. Порушкевич, С. А. Станкевич, К. Ю. Суханов, О. В. Титаренко // Геоинформатика. — 2010. — № 3. — С. 44–47.
 19. Хижняк А. В. Евристичні методи оцінки нафтогазоперспективності ділянок досліджуваної території на основі міждисциплінарної інтеграції аерокосмічної і наземної інформації (на прикладі Дніпровсько-Донецької западини) [Електронний ресурс] / А. В. Хижняк, Т. А. Єфіменко, О. І. Архипов, О. В. Томченко, К. Ю. Суханов, О. Д. Федоровський // Український журнал дистанційного зондування Землі. 2016. — № 9. — С. 12–21. — Режим доступа к журн.: <http://www.ujrs.org.ua>. — Заглавие с экрана.
 20. Clark R.N. Imaging spectroscopy: Earth and planetary remote sensing with the USGS Tetracorder and expert systems / R. N. Clark, G. A. Swayze, K. E. Livo, R. F. Kokaly, S. J. Sutley, J. B. Dalton, R. R. McDougal, C. A. Gent // Journal of Geophysical Research. — 2003. — Vol. 108. — №. E12. — P. 5–44.
 21. Flowerdew R. Spatial data integration / R. Flowerdew // Geographic Information Systems: Principles and Applications / D. J. Maguire, M. F. Goodchild, and D. W. Rhind (Eds). — L.: Longman, 1991. — P. 375–387.
 22. Giuliani G. WPS mediation: An approach to process geospatial data on different computing backends / G. Giuliani, S. Nativi, A. Lehmann, N. Ray // Computers & Geosciences. — 2012. — Vol. 47.— №. 10. — P. 20–33.
 23. Gladun A. Intelligent Techniques of User-Oriented Recognition of Objects from the Web Informational Resources / A. Gladun, J. Rogushina // Journal of Emerging Technologies in Web Intelligence. — 2014. — Vol. 6. — №. 3. — P. 348–353.
 24. Shafer G. A Mathematical Theory of Evidence / G. Shafer / Princeton: Princeton Univ. Press, 1976. — 297 p.
 25. URL: <https://ru.tsn.ua/ukrayina/ukraina-nachnet-dobychu-gaza-na-shelfe-chernogo-morya-do-2020-goda-803995.html> (дата обращения: 12.03.2018).

ПРО МОЖЛИВІСТЬ ДИСТАНЦІЙНОГО ПОШУКУ ПОКЛАДІВ ВУГЛЕВОДНІВ З ВИКОРИСТАННЯМ КОМП'ЮТЕРНОГО АСИСТЕНТА ГЕОЛОГА

М. О. Попов, С. А. Станкевич, А. І. Архипов, О. В. Титаренко

Пропонується концепція створення прикладної програмної системи “комп’ютерний асистент геолога” для дистанційного пошуку покладів вуглеводнів. Основними задачами визначені логіко-розрахункові операції з даними, фактами та іншими повідомленнями, обробка гіпотез, інтелектуальна підтримка прийняття рішень. Для їхнього вирішення пропонуються відповідні алгоритмічні та програмні засоби інструментарія експертних систем.

Ключові слова: дані дистанційного зондування Землі, пошук покладів вуглеводнів, комп’ютерний асистент геолога, морфоструктурний аналіз, прогнозні об’єкти, інтеграція гетерогенних геопросторових даних

ABOUT POSSIBILITY OF HYDROCARBON DEPOSIT REMOTE DETECTION USING COMPUTER ASSISTANCE

Mikhail A. Popov, Sergey A. Stankevich, Alexander. I. Arkhipov, Olga V. Titarenko

The paper considers the possibility of hydrocarbon deposit remote detection using the specially developed software application entitled “geologist’s computer assistant”. Its tasks defined as logic-computational operations on data, facts and other information, hypothesis processing, intellectual decision-making support. The appropriate algorithmic and software tools of expert systems are offered for this tasks solving.

Keywords: remote sensing data, hydrocarbon deposit prospecting, geologist’s computer assistant, morphostructural analysis, predicted targets, heterogenic geospatial data integration

УДК 551.1:550.3(477)

Куполи Середньопридніпровського тектоноконцентру Українського щита

С. М. Єсіпович *

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

Граніто-гнейсові куполи Середнього Придніпров'я були виявлені за даними гравітаційного та магнітного полів, оскільки Український щит виявився значно денудований та перекритий плащом осадових утворень різної потужності. В результаті зіставлення геолого-геофізичної інформації Українського Щита з даними Канадського, Скандинавського та інших щитів планети виникло стійке припущення щодо схожості їхньої історії розвитку. Конкретно для розуміння будови УЩ не вирішувалось основне структурне питання – які комплекси природних асоціацій, і чому саме, залягають на різних денудаційних його зрізах. В численних описаних фаціях, а згодом і формаціях не вирішувались питання геологічного розвитку щита. В даній роботі зроблена спроба прояснити деякі з цих питань.

Ключові слова: класична ідея, ооїдно-кільцевий, формування, континентальна, тектоноконцентр, перетин-накладання, геодинамічний, земна кора

© С. М. Єсіпович. 2018

Вступ

Значну кількість геологічного матеріалу, задіяного в даній роботі, було почерпнуто з праць Г. І. Каляєва [15, 34]. Кожен, хто бере в руки його книги та статті, не залишається байдужим від описання ним конкретної геології, яка дуже часто вже переходила в аналітичну. Його явно не вдовольняли існуючі на той час геотектонічні концепції розвитку планети і, хоча “Тектоніка УЩ” написана в руслі теорії геосинкліналей, він явно відчував некомфортність її застосування для докембрію. Особисто я не знайшов в опублікованих працях Г. І. Каляєва “кільцевих схем” тектоніки УЩ. Але академік Є. Ф. Шнюков бачив одну з таких схем і був свідком розмови академіка М. П. Семененка та Г. І. Каляєва. Один із тодішніх “Тур” української геології явно не підтримав погляди Георгія Івановича і роздратовано кинув наостанок:

— Забери свої кільця!

Саме тоді почався бурхливий розвиток розломно-блокової тектоніки, яка, по-суті, лише ускладнювала моделі теорії геосинкліналей. Єдиний вчений, який обґрунтував припущення, що субмеридіональні розломні зони УЩ можуть бути активізованими більш древніми структурами, був Г. Я. Голіздра [14]. На превеликий жаль високопоставленою геологічною спільнотою в семидесяті роки минулого століття не були підтримані ідеї “рухомої” стадії розвитку земної кори і, перш за все, робота О. Б. Гінтова, опублікована ним у 1978 році. Академік І. І. Чебаненко написав в своїй останній рецензії на мою статтю [35], що не поділяє погляди, висвітлені в ній, але вони достатньо обґрунтовані, спираються на

морфологію структур океанів та континентів і мають право на публікацію.

У роботі [11] обґрунтовується, що протокора Землі має основний склад і утворювалася на “місячній” стадії її розвитку (в межах 7 082–4 818 млн р.). Саме тоді, в рамках моделі “мантійного геода”, формувалися блоки-призми підвищеної жорсткості (БПЖ), які, набуваючи більший чи менший ступінь свободи, в режимах розширення-стиснення, під дією обертальної динаміки планети, і формували первинні структурні лінії її поверхні. Зараз ансамблі БПЖ виділені в улоговинах океанів, крайніх і внутрішніх морях, фундаменти серединних масивів континентів. Континентальні масиви формувались вже пізніше, на так званій “пермобільній (рухомій)” стадії (4 818–2 554 млн р.), в рамках моделі “реону” Л. Й. Салопа [30], який складався з “тектоноконцентрів” О. Б. Гінтова [6], заповнених стадами куполів Павловського-Глуховського [8], вписуючись в прокрустове ложе між вже утвореними океанами. Так була сформована основа континентальних “айсбергів”, які в подальшому, протягом чотирьох глобальних галактичних циклів (ГЦ) в інтервалі 2 554–743 млн р. нарощувалися та цементувалися високоенергетичною речовиною пластичного ядра.

Розвиток проблеми

Для встановлення раціональної геологічної періодизації важливою є думка О. О. Борисяка, оприлюднена ним ще у 1924 році — земна кора не переживає замкнутих і схожих між собою циклів розвитку. Він виділив догеосинклінальний та геосинклінальний етапи, з границею між ними, що лежить в основі кембрію. Його думки цікаво розвивали Пейве

* Тел. +38-044-486-84-21

А. В. та Синіцин В. М. (1950), обмеживши догеосинклінальний вік початком рифею. Дорифейський розвиток структури земної кори завершився формуванням суцільної, але, можливо, неоднорідної у всіх своїх частинах, потужної салічної оболонки сучасних континентів, який умовно можна виділити в особливий етап розвитку структури Землі, коли не існувало ще ні геосинкліналей, ні платформ, характерних для післярифейського етапу.

В роботі [12] наведені варіанти підрозділів протерозою (таблиця б) за даними Геологічного словника 1973 року, Геохронологічної таблиці 1982 року та Глобальних Галактичних циклів 1998 року. Отримані в результаті формалізованої обробки Міжнародної шкали вимирань живих організмів в історії планети. Точність шкали – 0.1 млн р., а, отже, і точність виділених ГГЦ також така сама, що на декілька порядків вище за всі відомі геохронологічні шкали. Ми беремо дані Геологічного словника 1973 року з поняттям Епіпротерозою, дещо скоригувавши вікові межі по ГГЦ. Початок рифею у Геохронологічній таблиці 1982 року тяжіє до відмітки в $1\ 600 \pm 50$ млн р., а за уточненими даними ГГЦ, — це $1\ 648$ млн р. — початок Епіпротерозою.

Є. М. Лазько [19], спираючись на глибокі та якісні відміни між архейським та пізнішими етапами розвитку Землі, вважає, що геосинкліналі та платформи вперше виникли уже на межі архею та протерозою, яка тяжіє до Родезійської тектоно-магматичної активації в інтервалі $2\ 600 \pm 100$ млн р., що по шкалі ГГЦ відповідає віковій межі в $2\ 554$ млн р. [12]. Очевидно саме тому багато дослідників докембрію УЩ трактували його розвиток з позицій теорії геосинкліналей. Це було помилкове уявлення і, після накопичення нових геологічних фактів, воно само по собі відпало, адже навіть добре вивчену Криворізько-Кременчуцьку зону не можна вважати геосинклінальною — бо це лише необернений прогин земної кори.

Пояснимо дійсно важливу думку О. О. Борисяка, висловлену ним майже століття тому.

В роботах [11, 12] показано, що пульсуючий розвиток планети Земля, як і всієї Сонячної системи (С.с.), залежить від неоднорідності шляху її по Галактичному диску. Для того, щоб С.с. пересікла всю спіральну структуру Галактики — “Чумацький шлях”, їй треба зробити майже півтора оберти навколо центра Галактики, спіраль якої рухається в тому ж напрямку, що й С.с., немовби “тікаючи від неї”. Оце власне і буде Глобальний Галактичний цикл (ГГЦ) довжиною 453 млн р. Сам ГГЦ був вирахований за відомими фактами геологічної історії фанерозою і розпадається на цикли першого, другого та третього порядків [11], жорстко зафіксованих в межах шкали катастроф У. Харленда [39]. Сьогодні немає підстав вважати, що довжина ГГЦ і їх внутрішня структура може суттєво змінюватись в глибину історії — про це говорить зіставлення Каледоно-Гер-

цинського та Альпійсько-Нового ГГЦ в роботі [11], а також консерватизм самопідтримуючої будови Галактики. Отже, хоча структура і довжина ГГЦ залишається циклічно консервативною, земна кора не переживає замкнутих і схожих між собою циклів розвитку саме тому, що весь час змінюється первинна глобула планети — від повністю пластичної на початку до твердої в кінці, коли енергетичний потенціал зовнішнього ядра буде вичерпано.

Необхідно відмітити думку М. С. Шатського (1965), що формації в геологічній історії зазнають великих змін, а деякі взагалі характерні лише для окремих значних відрізків геологічного часу. Архейські формації в цьому відношенні особливо показові, не маючи аналогів в післяархейських відкладах. І хоча для багатьох архейських порід може бути доведено первинно осадове, або вулканогенне походження, на цьому і закінчується їх подібність з відповідними формаціями геосинклінального етапу [19].

Крім складу формацій, архейські товщі мають ряд інших характерних особливостей. Вони нерідко займають величезні площі більш-менш ізометричної форми, що властиво для платформених осадових порід. Потужності їх дуже великі і можуть навіть перевищувати геосинклінальні товщі, але для них не характерні різкі градієнти (що може говорити про слабку розчленованість рельєфу). Літологічний склад архейських комплексів зазвичай різко змінюється по стратиграфічній вертикалі, але порівняно витриманий у латеральних напрямках, хоча інколи зустрічаються потужні та одноманітні товщі основних кристалосланців, кварцитів та інших порід. Зафіксована майже повна відсутність конгломератів. Характерною рисою архейських товщ є відсутність чітко виражених переривів та неузгоджень, якщо вони і трапляються, то ніколи не мають регіонального характеру.

Є. М. Лазько вважає, що особливості складу і будови архейських комплексів дозволяють повністю приєднатися до думки Н. В. Фролової (1951, 1962), що умови утворення порід в археї були глибоко специфічними, не подібними на умови утворення будь-яких молодших комплексів порід, і що ці умови не можуть відповідати ні пізнішим геосинклінальним областям, ні платформам.

Співвідношення порід різного складу дозволяють думати, що у першій половині архею вулканізм відігравав значну роль, але поступово на перше місце висувуються осадові процеси — маючи на увазі різноманітність типів архейських порід, можна стверджувати, що більшість з них сформована в результаті осадового літогенезу.

Осадки нагромаджувались, головним чином, у водних басейнах за рахунок матеріалу, який зносився з суші. Області осадових накопичень, судячи за площинним поширенням багатьох однотипних порід, були дуже великими, але архейські моря і оке-

Історія розвитку Землі до часу 4 818 млн років, в епохах розширення й стиснення 11-ти ГТЦ

Галактичний рік	Номер тектоно-епохи	Тектоно-епохи			Время по У.Харленду млн.лет	Эпизода	Примерные	Український підступ		
		Назва	Епохи розширення і стиснення	Время проявления, млн. лет				Датировка по годам	Граничные	Степень развития
n+1	2n+1		розширення стиснення	4818,0-4551,3 4551,3-4499,2	4560	Доказармей	Базальты обратной стороны Луны 4600 млн.лет.	2700-2560 млн.л.	I	Конский 3500 млн.л.
	2n+2		розширення стиснення	4499,2-4420,2 4420,2-4365,2						
n+2	2n+3		розширення стиснення	4365,2-4098,5 4098,5-4046,4	3950	AR	Белозерская т. м. а. 3500 ± 100 млн.лет.	2700-2560 млн.л.	I	Аульский 3100 млн.л.
	2n+4		розширення стиснення	4046,4-3967,4 3967,4-3912,4						
n+3	2n+5	Белозерская-1	расшир. стиснение расшир. стиснение	3912,4-3882,1 3882,1-3857,4 3857,4-3788,5 3788,5-3754,2 -3645,7	3800	AR	Белозерская т. м. а. 3500 ± 100 млн.лет.	2700-2560 млн.л.	I	Аульский 3100 млн.л.
	2n+6	Белозерская-2	расшир. стиснение	3645,7-3593,6 3593,6-3514,6 3514,6-3459,6						
n+4	2n+7	Кольская-1	расшир. стиснение расшир. стиснение	3459,6-3429,3 3429,3-3404,6 3404,6-3335,7 3335,7-3301,4 -3192,8	3000	AR	Базальты южной стороны Луны 3200 млн.лет.	2700-2560 млн.л.	I	Аульский 3100 млн.л.
	2n+8	Кольская-2	расшир. стиснение	3192,8-3140,8 3140,8-3061,8 3061,8-3006,8						
n+5	2n+9	Родзвильская-1	расшир. стиснение расшир. стиснение	3006,8-2976,5 2976,5-2951,8 2951,8-2882,9 2882,9-2848,6 -2740,1	2800	AR	Кольская т.м. а. 3000 ± 100 млн.лет.	2700-2560 млн.л.	I	Аульский 3100 млн.л.
	2n+10	Родзвильская-2	расшир. стиснение	2740,1-2688,0 2688,0-2609,0 2609,0-2554,0						
n+6	2n+11	Крижорожская-1	расшир. стиснение расшир. стиснение	2554,0-2523,7 2523,7-2499,0 2499,0-2430,1 2430,1-2395,8 -2287,3	2200	AR	Крижорожская т. м. а. 2300 ± 100 млн.лет.	2700-2560 млн.л.	I	Аульский 3100 млн.л.
	2n+12	Крижорожская-2	расшир. стиснение	2287,3-2235,2 2235,2-2156,2 2156,2-2101,2						
n+7	2n+13	Карельская-1	расшир. стиснение расшир. стиснение	2101,2-2070,9 2070,9-2046,2 2046,2-1977,3 1977,3-1943,0 -1834,5	1650	AR	Карельская т.м.а. 1900 ± 100 млн.лет.	2700-2560 млн.л.	I	Аульский 3100 млн.л.
	2n+14	Карельская-2	расшир. стиснение	1834,5-1782,4 1782,4-1703,4 1703,4-1648,4						
n+8	2n+15	Готская-1	расшир. стиснение расшир. стиснение	1648,4-1618,1 1618,1-1593,4 1593,4-1524,5 1524,5-1490,2 -1381,7	800	Эпипротерозой	Готская т. м. а. 1200 ± 100 млн.лет.	2700-2560 млн.л.	I	Аульский 3100 млн.л.
	2n+16	Готская-2	расшир. стиснение	1381,7-1329,6 1329,6-1250,6 1250,6-1195,6						
n+9	2n+17	Гренвильская	расшир. стиснение расшир. стиснение	1195,6-1165,3 1165,3-1140,6 1140,6-1071,7 1071,7-1037,4 -928,9	800	V	Гренвильская т. м. а. 900- 800 млн.лет. Байкальская т. м. а. 800- 600 млн.лет.	2700-2560 млн.л.	I	Аульский 3100 млн.л.
	2n+18	Байкальская	расшир. стиснение	928,9-876,8 876,8-797,8 797,8-742,8						
n+10	2n+19	Каледонская	расшир. стиснение расшир. стиснение	742,8-712,5 712,5-687,8 687,8-618,9 618,9-584,6 -476,1	3450-2900	PZ	Тектоно-эра Раннекаледонская-1 Тектоно-эра Раннекаледонская-2	2700-2560 млн.л.	I	Аульский 3100 млн.л.
	2n+20	Гердинская	расшир. стиснение	476,1-424,0 424,0-345,0 345,0-290,0						
n+11	2n+21	Альпийская	расшир. стиснение расшир. стиснение	290,0-259,7 259,7-235,0 235,0-166,1 166,1-131,8 -23,3	23,0	KZ	Кливерийская тектоно-эра Ранне альпийская тектоно-эра	2700-2560 млн.л.	I	Аульский 3100 млн.л.
			сжатие	23,3-0						

ани були мілководними. Плоский нерозчленований рельєф архейської суші, що підтверджується відсутністю конгломератів та інших грубоуламкових порід, свідчить про те, що горотворчі процеси протягом архейської ери ніде не були значними.

Ронов А. Б. (1964) вважає, що океани залишалися мілководними до кінця архею — періоду найбільш інтенсивної гранітизації в історії Землі, коли об'єм гідросфери різко збільшився внаслідок виносу з мантії величезних мас ювенільних вод.

Отже, умови осадоутворення в археї були неповторно своєрідними, а цей висновок, в свою чергу, є одним з багатьох доказів на користь найважливішого — необоротності геологічного розвитку.

Геологічні погляди на первинний розвиток континентальної земної кори

Типові структури докембрійського фундаменту неправильної форми часто наближаються до ізометричних чи витягнутих у вигляді куполів або валів. Зазвичай в їх склепіннях та ядрах залягають різноманітні гранітоїди, а на крилах та між куполами — товщі метаморфічних порід. Подібні складчасті утворення вперше були описані Вегманом (Wegmann, 1930, 1935). А пізніше досліджувалися (Бубнов, 1935; Cloos, 1937, 1948; Hills, 1945, 1947; Escola, 1949, 1952; Haller, 1955; Kranck, 1957; Buddington, 1959; Вярюнен, 1959). В радянській геологічній літературі узагальнені характеристики даних структур наведені в роботах В. В. Білоусова (1962), Е. В. Павловського (1962–1963) та М. С. Маркова (1962–1963).

Структурні форми докембрію Е. Кранк (1957) назвав структурами нижньої, глибинної частини фундаменту, що виникають завдяки вижиманню та видавлюванню знизу вгору гранітоїдного матеріалу, а Вегман назвав це явище гранітоїдним діапїризмом. Є. В. Павловський (1962) звернув увагу, що купольні інфраструктури в значній мірі визначають специфіку стилю тектонічного розвитку земної кори в ранньому докембрію, а В. В. Білоусов (1962) назвав їх глибинним типом складчастості на відміну від поверхневої лінійної, притаманної молодим рухомих зонам.

Купольні інфраструктури вперше були встановлені в межах Балтійського, Канадського та Південно-Африканського щитів. За даними буріння та геофізики куполовидні форми на Українському щиті були виявлені Н. П. Семененко (1957) та Г. І. Каляєвим (1965) в Придніпровському геоблоці, Г. К. Кужеловим (1960) — в районі Середнього Побужжя та в Приазов'ї, а В. А. Рябенко (1960) — у Верхньому Побужжі (на думку Василя Адамовича, вони формувалися в умовах розм'якшеного стану кори, протягом єдиного періоду розвитку — від нагромадження до консолідації). Це були первинні осередки мігматизації, ізометрична форма яких пояснюється слаб-

кою латеральною розчленованістю первинної земної кори та малою диференційованістю рельєфу.

Зазвичай купольні структури, складені гранітоїдами, мають досить значні розміри та займають великі площі, а відносно вузькі проміжки між ними, в вигляді синкліналей, заповнені осадовими і вулканогенними породами. А. Мекгрегор (1951), розглядаючи батоліти Південної Родезії, зазначав, що метаосадові породи немов би заповнюють «пори» між ними. Так, власне, і виникають нелінійні, примхливі за формою синкліналі, які повністю залежать від контурів оточуючих їх куполів.

От як описувалась гранулітова фація Українського щита в роботі [1]: "...Мозаїчна геологічна структура, в якій складові частини мозаїки мають ізометричну або овальну форму та складені гранітоїдами, а проміжки між ними — полосами метаморфічних порід... Розміри гранітних овалів від 2–3 до 15–20 км, частіш за все 5–12 км в перетині... Полоси метаморфічних порід, що розділяють овали, — вузькі, сильно витягнуті, нерідко складно гілкоподібні. Їх ширина частіше всього 500–1000 м (рідко до 2000–3000 м) зазвичай не витримана по простиранню. Довжина смуг метаморфічних порід складає від 2–3 до 20 км, рідко більше, але частіше — 5–15 км; залягання круте, моноклінальне".

Найчастіше куполоподібні структури мають овальну форму в плані або витягнуту в вигляді валів. Падіння порід на крилах зазвичай круте. Нерідко прошарки в осадово-метаморфічних породах на крилах куполів немов би "підвернуті" та падають під гранітоїди. Це можна пояснити циклічністю розвитку купольних структур — коли реомобілізований глибинний матеріал нагнітається в певні періоди, розмежовані більшими або меншими проміжками часу. Під час переривів в нагнітанні йде руйнування гранітоїдних ядер та формування осадово-метаморфічних порід до нового викиду глибинного матеріалу. Саме така модель формування може пояснити спостереження таких структур Х. Вярюненом (1959) в докембрії Південної Фінляндії району західніше Куопіо — тут гнейсо-гранітоїдні антикліналі куполоподібно здиблюються в рельєфі над оточуючими їх кварцитами, гнейсами та сланцевими товщами, які залягають в міжкупольних депресіях — синкліналях.

Г. І. Каляєв (1965) зазначає, що терміни купол, вал чи купольні структури, які застосовуються при характеристиці докембрійської складчастості, є узагальнюючими, і не у всіх випадках гарантують пологі падіння в склепіннях антикліналей та не завжди мають типову куполоподібну форму. Головною ознакою даних складчастих форм є залягання метаморфічних порід на крилах антиклінальних підняття та наявність в їх склепіннях гранітоїдів.

Класифікація масивів гранітоїдів наведена в роботі Галлера (Haller J., 1958). Він встановив "цибулеподібну структуру" для куполів Гренландії. Тут виді-

ляються релікти мігматизованих осадових порід та первинна послідовність їх залягання, ускладнена різноманітними складками — лежачими, перевернутими, грибоподібними — завдяки вторгненню гранітного матеріалу між пластами метаморфічних порід і активної дії на них. При цьому найбільш складні та “динамічні” складчасті форми фіксуються у верхній частині розрізу в межах гранітизованої амфіболітової зони. Нижче знаходиться гранулітова зона куполів, де складчастість відносно спокійна.

Розміри куполів в поперечнику змінюються в широких межах. Зазвичай це перші десятки кілометрів, однак відомі і куполи-гіганти. На Південно-Африканському щиті відомі куполи понад 100 км. В районі Вітватерсранда Вредефортський купол сягає в поперечнику 80 км. В ядрі його, поперечником до 40 км, залягають граніти, а на крилах — у вигляді концентрів послідовно розміщені системи “вітватерсранд”, “вентерсдорп” та “трансвааль” (Дю Тойт, 1958). У Придніпровському блоці (Г. І. Каляєв, 1965) куполи досягають 15–30 км (Демури́нський та Криничанський), а Саксаганський за розмірами — не менше Вредефортського. Оскільки складки в метаморфічних породах виникають між суміжними гнейсо-мігматитовими куполами, їм притаманне нерівномірне стиснення в умовах пластичного середовища. Нагнітання пластичного матеріалу супроводжується переміщенням його та утворенням вертикальних чи круто падаючих складок. А нерівномірне підняття куполів викликає утворення асиметричних чи однокрихлих складок та монокліналей в прошарках ефузивно-осадових порід, які віджимаються угору. Останні, обгортаючи куполи, немов би повторюють в плані нерівності їх крил. Від складок і монокліналей, радіально відходять допоміжні системи деформацій, підкреслюючи радіальну активність купольних ядер (Г. І. Каляєв, 1965).

Гнейсо-мігматитові куполи та супроводжуюча їх складчастість є глибоко специфічним тектонічним явищем, характерним, за Є. В. Павловським (1962, 1963), ранньому докембрію, коли проходив початковий етап формування земної кори. Він запропонував назвати його Нуклеарним періодом. На думку цього автора та М. С. Маркова (1963), тектонічний режим даного періоду є незворотним в історії з. к. та різко відмінним від платформеного чи геосинклінального, які настали пізніше.

Є немало даних, які свідчать про дію структур фундаменту на вищезалігаючі складчасті структури. Е. Кранк (1957) наводить опис Свекофенського складчастого пояса в районі Хельсинки, де лінійні дислокації деформовані більш пізніми роздуттями мігматитових мас фундаменту. Структури, типові для раннього докембрію, проявляють себе і в молодих рухомих зонах, зокрема в Аппалачах та Кавказькому хребті. На це вказують П. Ескола (1949), Е. Кранк (1957), Ф. Кінг (1961), В. В. Білоусов (1962). В зазначених областях було встановлено активну

тектонічну дію древніх купольних структур фундаменту на породи післякембрійських циклів геологічного розвитку. Активізація структур фундаменту, яка викликана більш пізнім орогенезом, супроводжується процесами метаморфізму та гранітизації палеозойських та кайнозойських порід. На думку П. Ескола, в поліциклічних рухомих зонах купольні структури фундаменту проявляють себе в кожному орогенічному циклі.

Обґрунтування геодинамічної моделі розвитку континентальної земної кори в катархей-археї

Початковий етап формування “айсбергів” континентів

У часовому інтервалі 4818–2554 млн р., на перемобільній стадії розвитку планети, в “прокрустовому ложі” майбутніх “айсбергів” континентів [11], була сформована овоїдно-кільцева їх основа. Каркас ансамблів БПЖ океанів не тільки просідав, але й здобував усе більш чітку сигмоїдність своїх структурних ліній, вписуючи в їхні форми зачатки континентів.

В. Г. Бондарчук говорив ще у 1955 році :

— Основний об’єм континентального корового прошарку складений скученими та тектонічно перемішаними породами кори океанічних сегментів, на які накладені процеси фізичної та хімічної дезінтеграції, а також багатократного прогресивного метаморфізму від зеленосланцевої до гранулітової та еклогітової фацій. Значну частину цих мас складають тіла діоритового та гранітного складу. Відомо, що всі ці маси, а також покриваючі їх вулканогенно-осадові породи мають щільність меншу, ніж у нижчезалігаючих комплексів та перебувають у стані позитивної плавучості. Саме тому, при розгляді структурної еволюції літосфери на основі в’язких рухів середовища, її континентальні сегменти раціонально розглядати як певні згустки корового прошарку, що перебувають у стані плавучості в речовині верхньої мантії”. По суті, в цій роботі [3] закладені основні геологічні уявлення щодо формування континентальної земної кори на її “рухомій стадії.

Перемобільну (рухому)” стадію, описували: В. А. Рябенко (1960, 1967); Є. В. Павловський (1962, 1963); М. С. Марков (1962, 1963); Г. І. Каляєв (1965); В. А. Глібовицький, Т. М. Дугова, М. Д. Крилова (1965); М. З. Глухівський, Є. В. Павловський (1973) та інші дослідники

Л. Й. Салопом у 1971 р сформульовано поняття Реона, як “гнейсового складчастого овала” [30]. Подальший розвиток ідеології купольних структур належить О. Б. Гінтову (1978). Він зазначив, що термін для пояснення великих кільцевих структур Землі повинен відображати вирішальну роль у їхньому формуванні тектонічних рухів і кільцеву або кон-

центричну будову. Олег Борисович запропонував їх називати *тектонічний концентр* або *тектоноконцентр* (ТКЦ). Вже пізніше, в 1982 році, Л. Й. Салоп деталізував поняття “реону” для катархею, представивши його як механізм формування керівних тектонічних форм на прикладі ізометричних структур Алданського щита та Південно-Родезійського кратону (рис. 1). Спираючись на дослідження попередників, зазначених вище, він стверджував, що при створенні структурних форм куполів та овалів основні переміщення мас були субвертикальні, а всі інші — похідними від них. Аналіз структур незаперечно показує, що під час деформації джерело тектонічної активності знаходиться всередині овальних систем. Судячи з ізометричної форми складчастих овалів та їхнього, в цілому, невпорядкованого розміщення, можна стверджувати, що складчасте поле не мало обрамлення, тобто його не обмежували будь-які жорсткі брили. Можна припустити, що при утворенні інфраструктур катархею процеси складчастих деформацій, метаморфізму та гранітизації були тісно пов’язані в часі та просторі генетично. Також не підлягає сумніву, що при утворенні складчастих структур деформації проходили в умовах значної, хоча й нерівномірної пластичності матеріалу.

Концентричні складчасті системи (овали), могли виникнути в результаті підняття великих мас мобілізованого та частково реоморфізованого матеріалу (реона) земної кори. В. М. Шолпо (1986) зазначає, що в геології встановлено емпірично-інтуїтивне правило — розміри структури на поверхні відповідають глибини їхніх коренів. Враховуючи значні розміри реонів (800–1 000 км в перетині), можна вважати, що джерело енергії знаходилося на межі пластичного зовнішнього ядра, яке на той час мало значно більші розміри, та тонкого тоді ще, прошарка первинної мантії. Але цей прошарок хоч і мав меншу товщину, ніж БПЖ океанів, був достатній для формування високого енергетичного потенціалу реону. Причиною підйому його був рух енергетичного фронту з надр пластичного ядра планети до її поверхні. По мірі руху в область понижених температур (за Л. Й. Салопом, 1982) реон звужується, поперечник зменшується, а поверхня, в цілому, набуває сфероподібної форми. Деформацію порід в реоні можна розглядати як результат ламінарної течії матеріалу в напрямку найменшого спротиву. Швидкість руху струменів буде різною в залежності від пластичності та енергетичності матеріалу, насиченості його летючими глибинними компонентами.

Л. Й. Салоп звернув увагу на специфічність тектонічних обставин на ранньому етапі геологічного розвитку Землі. Перш за все, це відсутність розподілу поверхні планети на платформи та геосинклінали. Активізувалася вся територія через розвиток концентричних складчастих систем та інтенсивного метаморфізму. Не було високих підняття та опускань, а

особливості будови та складу супракрустальних товщ, а також їхня дивовижна одноманітність на всіх континентах можуть свідчити про наявність великого, а можливо навіть загальнопланетарного океану (“Панталаса”). Широкий розвиток серед катархейських інтрузивних основних порід анортозитів говорить про спокійні умови диференціації магми та відносно стабільний тектонічний режим. Первинна кора Землі, на якій були відкладені найдавніші осадово-вулканогенні товщі, очевидно була тонкою та достатньо пластичною, в якій не могли виникати високі підняття та великі глибинні розломи.

З вищевикладеного випливає, що реон є планетарною структурою. Він формувався на межі пластичного ядра і тоді ще тонкої мантії, яка під його натиском тріскалася, подрібнювалася та розсовувалася в сторони, а сам реон рухався до поверхні планети. В його гіпотетичній структурі, побудованій Л. Й. Салопом (1982), показані всі елементи, які ми спостерігаємо в поверхневому прошарку земної кори. Перш за все, це оvoidно-кільцеві структури великих розмірів, 800–1 000 км в поперечнику, розділені центральними особливо активними зонами (ДДЗ між УЩ та ВКМ). Площі реона (рис. 2) хаотично розкидані “стада куполів”, які групуються в тектоноконцентри О. Б. Гінтова. В роботі [13] представлена схема розміщення ТКЦ на території України (рис. 3), причому ТКЦ Північно- та Південно-Українські подані в рисовці О. Б. Гінтова [6]. На цьому ж рисунку показано розміщення “стада куполів” в межах ТКЦ Середньопридніпровський. Отже, структура Центрально-Європейського реону складається з Українського щита, Воронезького кристалічного масиву та Білоруської сідловини, які роз’єднані Дніпровсько-Донецькою та Прип’ятською западинами. Мобільні кільцеві обрамлення тектоноконцентрів УЩ (див. рис. 3) не пересікають бортових шовних рифтогенних зон Дніпровсько-Донецької западини, а по суті останні є їхніми фрагментами. З цього незаперечно випливає, що ДДЗ, як і Прип’ятський прогин, є характерною “візиткою” реону, як зона постійного потоку енергії від Катархею до наших днів. Виділяючи структури реонів на інших континентах, ми обов’язково будемо знаходити в них, крім великих розмірів планетарних овалів, активні центральні зони — як Гудзонова затока Канадського щита, Ботнічна — Балтійського чи центральна зона грабенів, що січе кратони Східної Африки.

В роботі [33] великий колектив вчених різних країн, з допомогою геофізичних робіт, досліджував будову земної кори та верхньої мантії Центральної та Східної Європи. Більшість авторів прийшла до висновку, що границя Конрада, яка відділяє кислі породи від основних, — *відсутня*. Тільки на деяких ділянках вона фіксується доволі чітко, не маючи, однак, регіонального розповсюдження, як це вважалося раніше. Конкретно для УЩ було встановлено відсутність сейсмічної хвилі зі швидкістю 6.8–7.0 км/с, яку пов’язують з поверхнею Конрада.

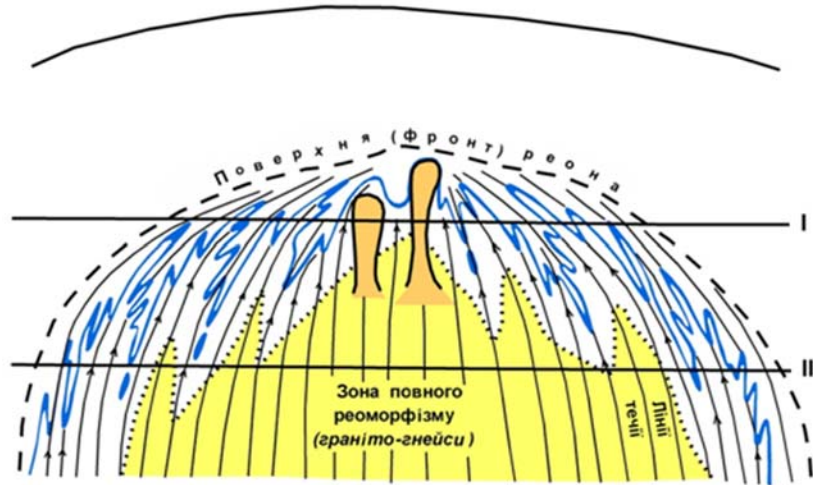


Рис. 1. Схематичний вертикальний розріз складчастих овалів, який зображує характер течії речовини в регіоні [29]. I та II — різні рівні денудаційного зрізу, що відповідають спостереженням на Алданському щиті та в Південній Африці

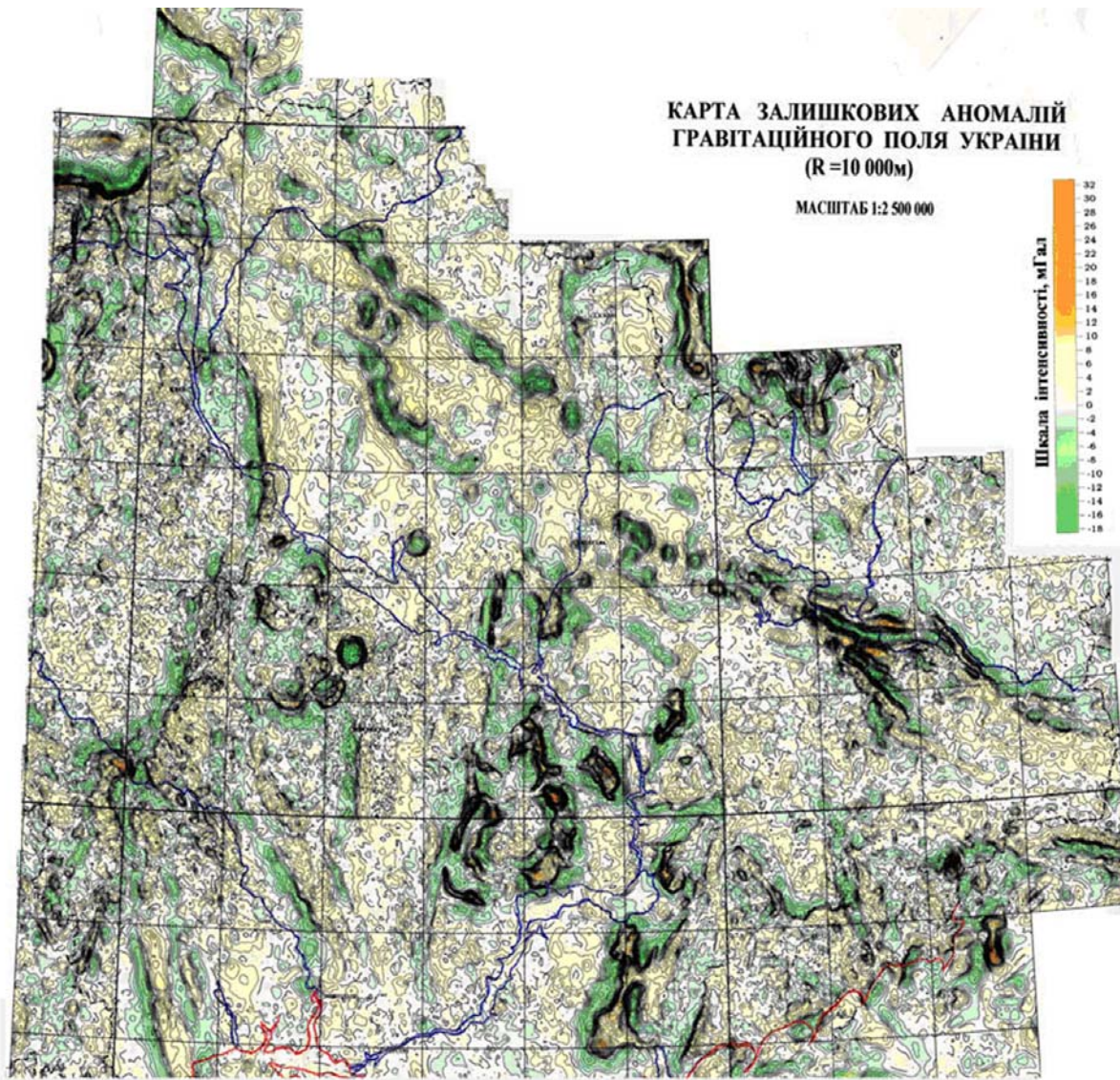


Рис. 2. Карта аномального гравітаційного поля України

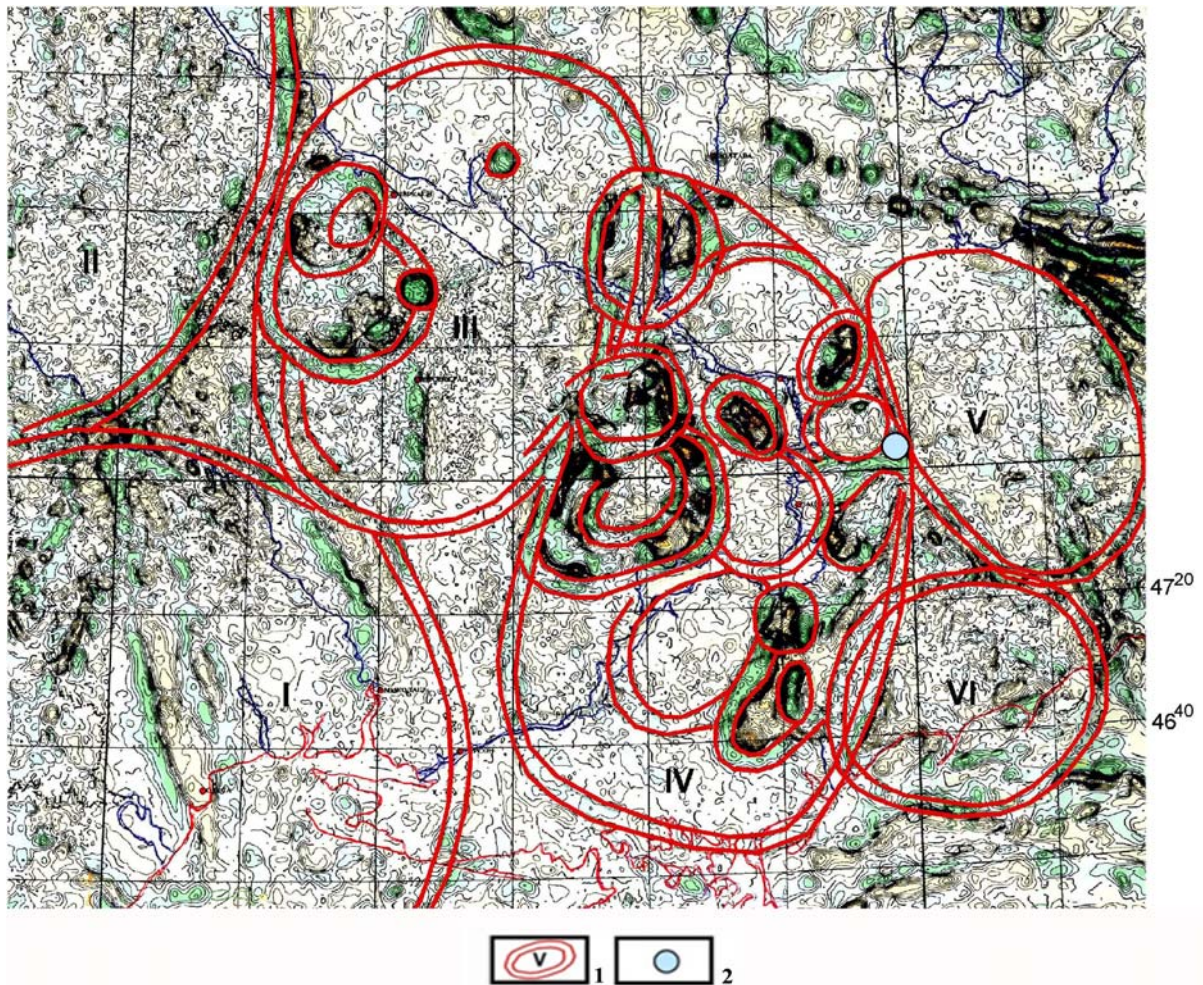


Рис. 3. Тектоноконцентри України з фрагментами купольних структур, на фоні аномального гравітаційного поля [15].
 1 — тектоноконцентри: I — Південноукраїнський, II — Північноукраїнський, III — Кіровоградський, IV — Середньопридніпровський, V — Лозоватинський, VI — Західно-Приазовський, 2 — місце польових досліджень з визначення віку порід

Вік докембрійських порід УЩ

У роботі [24] стверджується, що вік нижньої частини порід кряжа Зверева Алданського щита дорівнює 4 500–4 580 млн р., тобто близький до віку Місячної кори. Це дозволило авторам роботи [8] висловити думку про те, що катархей басейну ріки Сутам і кряжа Зверева являє собою релікт базальтової земної кори “місячного” етапу розвитку, коли гранітний прошарок ще не сформувався. О. Б. Гінтов в роботі [1973], доводить, що хімічний склад основних порід бузької серії УЩ і басейну ріки Сутам ідентичний, а тектонічні сили *куполютворення* могли проявитися при необхідних умовах пластичності середовища, які існували в архей та ще раніше.

Граніт-зеленокам'яна область, УЩ-Середньопридніпровський блок, — обмежений з заходу Криворізько-Кременчуцькою, а зі сходу — Оріхово-Павлоградською зонами розломів. Саме в ньому виділений аульський “сірогнейсовий” комплекс, але основну роль у структурі блоку відіграють гранітогнейсові куполи саксаганського типу та зеленокам'яні утво-

рення конксько-верхівцевської серії, яка надбудовує аульську і заповнює проміжки між куполами. Її потужність — 6–7 км, метаморфізм — зеленосланцева фація. Вік вулканітів з нижньої частини конксько-верхівцевської серії визначений в 3 360–3 240 млн р. Це середина прояву довгого циклу Кольського-1 в різних режимах — розширення (24 млн р.), стиснення (35 млн р.) та розширення (61 млн р.).

Колектив дослідників (О. М. Пономаренко та інші, 2010 р.), вивчаючи ділянку Оріхово-Павлоградської міжблокової зони УЩ біля с. Васильківки на річці Вовча (див. рис. 3), прийшли до висновків, що деформаційні утворення здебільшого формувались у високопластичному геологічному середовищі, а ступінь їхнього метаморфізму досягав гранулітової та амфіболітової фацій. Автори зазначають, що раніше були описані декілька різновидів цирконів та відповідно їм групи інтервалів віку в межах: 3.6 млрд р. — кінець Катархею; 3.4–3.3 млрд р. — ранній Архей; 2.8–2.7 млрд р. — пізній Архей та 2.0 млрд р. — середній Протерозой, а самі вони зафіксували утворення віком 1.8–1.7 млрд р, які фор-

мувались в термобаричних умовах від гранулітової до зеленосланцевої фації метаморфізму. З першими чотирма віковими групами в роботі [17] пов'язують мікро- та мезоструктури, які різняться між собою просторовими та речовинними показниками. А пізніші дислокаційні перетворення в інтервалі часу 1.8–1.7 млрд р. вже не супроводжувалися інтенсивними динамометаморфічними змінами порід, порівняно з попередніми деформаціями.

Звернімось до таблиці, з роботи [12], де представлена історія розвитку Землі до часу 4 818 млн р. в епохах розширення-стиснення одинадцяти Глобальних Галактичних Циклів — ми називаємо її шкалою циклічності. Дана таблиця була трохи поповнена допоміжною інформацією в роботі [11], але суть її залишилася незмінною. Розглянемо всі етапи, виділені в роботі [17].

3 600 млн р. — кінець Катархею (3 460 млн р.). По шкалі циклічності в даний інтервал входять короткий цикл I-го порядку Білозерський-2 та епоха стиснення довгого циклу першого порядку Білозерський-1. Це був потужний режим переважаючого стиснення між кінцем Катархею та Археєм.

3 400–3 300 млн р. Ідеально співпадає з циклом II-го порядку в середині довгого циклу Кольський-2 800–2 700 млн р. Розміщений в кінці довгого циклу Родезійський-1, він характеризує частково його епоху розширення та повністю епоху стиснення.

2 000 млн р. По суті цей відрізок часу знаходиться всередині довгого циклу Карельського-1, між епохами розширення та стиснення циклу II-го порядку.

1 800–1 700 млн р. Це кінець епохи стиснення довгого циклу Карельського-1, (18 млн р.) та епоха розширення короткого циклу Карельського-2 (79 млн р.).

Отже, останній відрізок часу, виділений авторами роботи [17], єдиний, що закінчується в межах епохи розширення. Саме тому порівнювати його дію, або відображення на оточуючі породи в порівнянні з іншими віковими інтервалами є некоректно. Однак достатньо змістити часовий інтервал до часу 1 648 млн р., охарактеризувавши епоху стиснення короткого циклу Карельського-2 і обґрунтовано можна робити висновки.

Відзначені в історії Землі різні тектоно-магматичні активності (т. м. а.), як і слід було сподіватися, добре збігаються з епохами стиснення різних циклів. От як з таблицею I узгоджуються рубежі орогенних циклів, виділених для Українського щита [32]:

1. Конкський (3 500 млн р.) збігається з епохою стиснення короткого циклу I-го порядку, n + 3-го ГПЦ.
2. Аульський (3100 млн р.) — середина епохи розширення короткого циклу I-го порядку, n+4-го ГПЦ.
3. Базавлуцький (2 700 млн р.) — епоха стиснення довгого циклу I-го порядку, n+5-го ГПЦ.

4. Бузько-Подільський (2 300 млн р.) — практично збігається (2 287 млн р.) з початком епохи стиснення довгого циклу I-го порядку, n+6-го ГПЦ.

5. Криворізький (2 000 млн р.) — практично збігається (1 977 млн р.) з початком епохи стиснення Ранньоальпійського аналога довгого циклу I-го порядку, n+7-го ГПЦ.

6. Волинський (1 700 млн р.) — початок епохи стиснення короткого циклу I-го порядку, n+7-го ГПЦ.

7. Овруцький (1 500 млн р.) — збігається з епохою стиснення Ранньоальпійського аналога довгого циклу I-го порядку, n+8-го ГПЦ.

8. Чорноморський (1 200 млн р.) — збігається з епохою стиснення короткого циклу I-го порядку, n+8-го ГПЦ.

9. Рахівський (800 млн р.) — початок епохи стиснення короткого циклу I-го порядку, n+9-го ГПЦ.

10. Мезозойський (300 млн р.) — епоха стиснення короткого циклу I-го порядку, n+10-го ГПЦ.

У роботі [25] А. Я. Радзивілл зазначає, що мікроклінові граніти черкаського типу були джерелами тепла для графітизації органічної речовини в контактній зоні. У всіх проявах графіту на УЩ мікроклінові граніти з датуванням мікроклінів і біотитів (по калій-аргону) 1 400–1 200 млн р., перебувають разом з вуглецевими утвореннями (графітоносними товщами). За даними таблиці 1, у n+8-му ГПЦ, на часовому відрізку 1382–1 196 млн р. зафіксовано стиснення довгого циклу I-го порядку (1 382–1 330 млн р.), плюс розширення (1 330–1 251 млн р.) і стиснення (1 251–1 196 млн р.) короткого циклу I-го порядку.

Заключний етап формування “айсбергів” континентів

Період 2 554–743 млн років — це чотири ГПЦ, які відповідають ранньому, середньому, пізньому протерозою та епіпротерозою.

Для подальших роздумів необхідно навести дуже важливі думки Я. М. Белевцева, висловлені ним у 1970 році. Встановлено необоротну зміну геологічного життя Землі від архею до наймолодших епох. Для докембрійських періодів зафіксовано провідну роль вулканічних утворень, метаморфізму та ультраметаморфізму, які призвели до формування кристалічних щитів, що вміщують метаморфогенні родовища майже всіх металів. Для післякембрійських епох характерне осадове рудоутворення та обмежений розвиток метаморфізму, магматизму та ендегенної рудної мінералізації. Можна намітити два типи глибинних джерел рудоутворення:

- а) рудоносні підкорові магми переважно базальтоїдного складу,
- б) підкорові рудоносні флюїди.

Величезні поля розвитку метаморфізму та ультраметаморфізму в межах докембрійських щитів є дійсно грандіозними. 90% метаморфічних порід

УЩ утворилися з вулканогенних та осадових. Неможливо пояснити таке перетворення порід та рудоутворення локальними процесами, тому що метаморфізм розвинутий на сотні і тисячі кілометрів і охоплює всі породи в усій товщі земної кори. Цілоком ймовірними є ювенільні (верхньомантіїні) джерела теплової енергії та флюїдів, багатих натрієм і калієм, що призвели до метаморфізму цілих континентів осадових і вулканогенних порід та до утворення рудних родовищ.

Роздумуючи над феноменом Срібного поясу Америки, Я. М. Белевцев говорив, що таку зональність, яка представлена поступовою зміною однієї геохімічної зони другою, простягається на тисячі кілометрів та пов'язана із системою розломів глибокого закладання, неможливо пояснити послідовним вкоріненням магми або пульсаційною діяльністю одного магматичного осередку, фізико-хімічними властивостями вміщуваних порід, зміною теплового режиму постмагматичного процесу або іншими причинами постмагматичної діяльності інтрузій. Найімовірніше, утворення родовищ Срібного поясу пов'язане з підняттям потужного фронту рудоносних термальних флюїдів з підкорових глибин з. к. вздовж зон розломів глибокого закладання. Склад цих флюїдів мав змогу з часом змінюватися внаслідок взаємодії з боковими породами, змішування з вадозними водами, втрати термодинамічного потенціалу розчинів.

Оскільки на пермобільній стадії була сформована овоїдно-кільцева основа реонів в межах майбутніх континентів, то в протерозої, протягом трьох ГЦ, області реонів цементувалися та розросталися. Цьому сприяли наступні обставини:

- насиченість об'єму реонів субкільцевими веретеноподібними та здвиговими ослабленими зонами різних розмірів, як похідними від субкільцевих (з закруткою проти годинникової стрілки в Північній півкулі, та за годинниковою — в Південній);
- віддаленні від поверхні планети границі зовнішнього ядра, яка формувала все більш «легкі» енергетичні субстанції.
- з появою певної жорсткості в овоїдно-кільцевому середовищі реонів, під дією ротаційної динаміки планети почали формуватись системи сублінійних розломів, як похідні від кільцевих.

В зоні перетину бокових кілець ТКЦ УЩ, виділених по від'ємному гравітаційному полю (див. рис. 3), розмістилися так звані Проторифтоїди УЩ – Білоцерківсько-Голованівський, Криворізько-Кременчуцький та Оріхово-Павлоградський. Підтвердилося геніальне припущення Г. Я. Голіздри [2], що субмеридіональні розломні зони УЩ можуть виявитися активізацією більш ранніх ослаблених зон. Субкільцева система первинних порушень, в принципі здатна формувати нові розломні зони будь-яких азимутів, в рамках ротаційної динаміки планети.

Очевидно, що під час протерозою овоїдно-кільцева система реону перш за все цементувалася високоенергетичною субстанцією зовнішнього ядра, збільшуючись у своїх розмірах шляхом закладання необернених ровоподібних прогинів. Яскравий приклад — Криворізько-Кременчуцька зона УЩ, яка виникла в області перетину-накладання мобільних зон Кіровоградського та Середньопридніпровського ТКЦ, Саксаганського та Демурицького куполів і П'ятихатського валу (див. рис. 3).

Четвертий ГЦ Епіпротерозойський, є перехідним, коли в означених проторифтоїдах усе чіткіше починають проявлятися елементи геосинклінального режиму розвитку земної кори.

Активізація геодинамічного розвитку (згідно правила буравчика) збільшувалась в бік південного полюса планети, а субмеридіональні необернені прогини в субширотному напрямку розвивалися з західною вергенцією.

Протерозойський і епіпротерозойський етапи завершилися формуванням «айсбергів» континентів із глибокими коріннями в мантії [11]. На етапах розширення планети в необернених синклінальних прогинах накопичувалися потужні вулканічні й осадові товщі, які на етапах стиснення зминалися в складки, піддаючись все більш глибокому й повному регіональному метаморфізму, інтрузивному магматизму й процесам гранітизації.

Етап розвитку необернених прогинів можна назвати субгеосинклінальним, тобто утворювалися синклінальні прогини, в них відкладалися осадововулканогенні породи, зминалися в складки, проривалися інтрузіями й піддавалися метаморфізму, проте загальної інверсії геотектонічного режиму ще не відбувалося. Хоча земна кора на початку протерозою вже була крихкою для того, щоб утворити трогові западини великої довжини, але недостатньо консолідованою для того, щоб в умовах стиснення сформувати гірські системи.

Модель геотектонічного розвитку планети

На базі наявних геофізичних даних будови внутрішнього й зовнішнього ядра, мантії, океанічної та континентальної земної кори, у рамках концепції саморозвитку й самоорганізації протопланетної речовини, під дією космічного пресингу, на тлі пульсуючого скорочення радіуса Землі, представлений можливий механізм формування планети. Для розробки концепції її розвитку звернена увага на морфологію геотектур і морфоструктур океанічного дна — як інформаційної системи, що дає уявлення про хід глибинних процесів. Блоки-призми підвищеної жорсткості (БПЖ) первинної океанічної кори, розміщені в глибоководних улоговинах, окраїнних і внутрішніх морях континентів, в їхніх понижених місцях. Обґрунтовано припущення, що

“ансамблі БПЖ”, переміщуючись у режимах розширення-стиснення, під дією сил радіальної та ротаційної динаміки, створювали сигмоїдні структури поверхні планети та формували “прокрустове” ложе для розвитку в майбутньому “айсбергів” континентів. Симетрія й антиподальність поверхневих структур Землі пояснюється суперпозицією двох енергетичних джерел — зовнішнього та внутрішнього: внутрішня енергетична субстанція згідно правила буравчика виділяється більш динамічно в південній півкулі, а хвилі поля зовнішньої енергії Всесвіту “б’ють” в область Тихого океану.

Висновки

- “Реон” Л. Й. Салопа є планетарною структурою, яка формувала зачатки “айсбергів” континентів на овоїдно-кільцевій стадії розвитку поверхні планети. Він складається з хаотичного розміщення “стадів куполів” Павловського-Глухівського, що заповнюють тектоноконцентри О. Б. Гінтова;
- Формування структурної основи від куполів до реону відбувалося в режимах розширення-стиснення різнорангових циклів — від Глобального Галактичного (453 млн р.), до четвертого порядку (1–17 млн р.);
- Джерело тектонічної напруги було не тільки зосереджене в середині овальних систем (як справедливо вказували попередники), але й всі подальші тектонічні рухи є похідними від субкільцевих;
- Оскільки ТКЦ території України виділялись лише по аномальному гравітаційному полю, залишається реальна можливість вибудувати їхню внутрішню структуру, застосувавши широкий комплекс геолого-геофізичної морфометричної та аерокосмічної інформації на основі циклічного розвитку геологічних формацій в просторі та часі.
- На особливу увагу при пошуках корисних копалин буде заслуговувати вивчення історії розвитку мобільних (рухомих) кілець різних рангів від ТКЦ до куполів та зони їх перекриття. При цьому необхідно використовувати не тільки геофізичні дослідження, а перш за все, аерокосмічні в самому широкому їх сенсі, тому що саме вони надають інформацію про сучасну геодинаміку поверхні планети.

Література

1. Белевцев Я. М. Глибинні джерела ендегенного рудоутворення. / Я. М. Белевцев // Геологічний журнал. — 1970. — Т. 30. — вип. 2. — С. 63–69.
2. Белоусов В. В. Основные вопросы геотектоники / В. В. Белоусов. — Госгеоліздат, 1962. — 608 с.
3. Бондарчук В. Г. Нарис тектонічної будови території Української РСР / В. Г. Бондарчук // Геол. журнал. АН УРСР. — Т. XV. — вип. 3. — 1955. — С. 3–25.
4. Борисьяк А. А. Теория геосинклиналей / А. А. Борисьяк // Изв. Геол. ком. — 1924. — Т. 43. — № 1. — С. 1–14.
5. Вьярюнен Х. Кристаллический фундамент Финляндии / Х. Вьярюнен. — ИЛ. — М., 1959. — 295 с.
6. Гинтов О. Б. Структуры континентальной земной коры на ранних этапах ее развития / О. Б. Гинтов. — К.: Наукова думка, 1978. — 164 с.
7. Гинтов О. Б. Кольцевые структуры докембрия Украины / О. Б. Гинтов // Геотектоника. — 1973. — №5. — С. 65–74.
8. Глуховский М. З. К проблемам ранних стадий развития Земли / М. З. Глуховский, Е. В. Павловский // Геотектоника. — 1973. — №2. — С. 3–8.
9. Гранулитовая фация Украинского щита / Р. Я. Белевцев, Б. Г. Яковлев, Т. Г. Щербакова [и др.]. — К.: Наукова думка. — 1985. — 220 с.
10. Дю-Тойт. Геология Южной Африки / Дю-Тойт. — М.: ИЛ, 1958. — 297 с.
11. Єсіпович С. М. Історія планети Земля — пульсуючий розвиток під дією космічного пресингу [Електронний ресурс]: монографія: С. М. Єсіпович; ДУ Наук. центр аерокосміч. досл. Землі Інст-ту геолог. наук НАН України.— Електрон. дані (1 файл). — К.: 2015. — 190 с. — Інтернет-портал “Research Gate”. — Режим доступу: www.geol.univ.kiev.ua/lib/monogr_Yesypovych.pdf. — Назва з екрану. — Дата звернення: 15.03.2018.
12. Єсіпович С. М. История развития планеты Земля — пульсирующее расширение под действием космического прессинга / С. М. Єсіпович. — Одесса: Астропринт, 1998. — 152 с.
13. Єсіпович С. М. Структури овоїдно-кільцевого етапу розвитку земної кори на території України / С. М. Єсіпович // Геология и полезные ископаемые мирового океана. — 2016. — №4. — С. 104–108.
14. Изучение тектоники докембрия геолого-геофизическими методами / В. М. Беланов, Г. Я. Голиздра [и др.]. — М.: Недра, 1972. — 260 с.
15. Каляев Г. И. Тектоника докембрия украинской железорудной провинции / Г. И. Каляев. — К.: Наукова думка, 1965. — 191 с.
16. Кинг Ф. Геологическая история Северной Америки. Принстон. 1959 / Ф. Кинг, — М.: ИЛ, 1961. — 268 с.
17. Кореляція структурно-геологічних і аерокосмічних досліджень з метою уточнення будови та розвитку Оріхово-Павлоградської міжблокової зони Українського щита / О. М. Пономаренко, О. Т. Азімов, Л. С. Осьмачко, В. П. Янченко // Геоінформатика. — 2010. — №4. — С. 69–76.
18. Кужелов Г. К. Геологическая структура докембрия Среднего Побужья (по геофизическим данным) / Г. К. Кужелов // Геол. журн. АН УРСР. — Т. XX. — вып. 2. — 1960. — С. 12–20.
19. Лазько Є. М. Особливості осадко нагромадження в до геосинклинальний етап розвитку земної кори. / Є. М. Лазько // Геологічний журнал. — 1969. — Т. 29. — Вип.3. — С. 12–20.
20. Марков М. С. Об особенностях развития земной коры в раннем докембрии / М. С. Марков. // Сб. “Геология и петрология докембрия”. — М.: АН СССР, 1962. — С. 42–58.
21. Павловский Е. В. О специфике стиля тектонического развития земной коры в раннем докембрии / Е. В. Пав-

- ловский. — М.: “Геология и петрология докембрия”. АН СССР, 1962. — С. 82–108.
22. Павловский Е. В. Некоторые общие вопросы геотектоники (о необратимости развития земной коры) / Е. В. Павловский, М. С. Марков. — М.: Труды Геол. ин-та АН СССР. — вып. 93, 1963. — С. 18–32.
 23. Пейве А. В. Некоторые основные вопросы учения о геосинклиналиях / А. В. Пейве, В. М. Синицын. — Изв. АН СССР. — серия геол. — 1950. — № 4. — С. 28–53.
 24. Последовательность геологических процессов в южном обрамлении Алданского щита и геохронологические данные / В. А. Глебовицкий, Т. М. Другова, М. Д. Крылова [и др.]. // Абсолютный возраст докембрийских пород СССР. — М.: 1965. — С. 103–135.
 25. Радзивилл А. Я. Углеродистые формации и тектономагматические структуры Украины / А. Я. Радзивилл. — К.: Наук. думка, 1994. — 175 с.
 26. Ронов А. Б. Общие тенденции в эволюции состава земной коры, океана и атмосферы. / А. Б. Ронов, А. А. Мигдисов. — М.: Геохимия, 1964. — С. 3–18.
 27. Рябенко В. А. Об особенностях архейской складчатости УЩ / В. А. Рябенко // Пробл. осад. геол. докембрия. — К., 1967, вып. 2. — С. 189–193.
 28. Рябенко В. А. Про куполовидні структури північно-західної частини Українського кристалічного щита / В. А. Рябенко // ДАН УРСР. — №12. — 1960. — С. 1538–1541.
 29. Салоп Л. И. Геологическое развитие Земли в докембрии / Л. И. Салоп. — Л.: Недра, 1982. — 343 с.
 30. Салоп Л. И. Два типа структур докембрия: гнейсовые складчатые овалы и гнейсовые купола / Л. И. Салоп. — М.: Бюл. Московск. о-ва испыт. Природы. Отд. геологии, 1971. 16. — вып. 4. — С. 5–30.
 31. Семенов Н. П. Структурно-петрографическая карта Украинского массива / Н. П. Семенов. — Изд-во АН УССР. — К.: 1957. Объяснительная записка. — 76 с.
 32. Стратиграфія УРСР, т.1. Докембрій. [Відр. ред. М. П. Семенов, Л. Г. Ткачук]. — К.: Наук. думка, 1972. — 344 с.
 33. Строение земной коры и верхней мантии Центральной и Восточной Европы / В. Б. Соллогуб, А. Гутерх, Д. И. Просен [и др.]. — К.: Наук. думка, 1978. — 272 с.
 34. Тектоніка Українського щита. / Г. І. Каляев, З. А. Крутиховська, Г. В. Жуков [та ін.]. — К.: Наукова думка, 1972. — 300 с.
 35. Формування структури земної поверхні від протокори до геотектур і морфоструктур морського дна / С. М. Єсипович, В. П. Савченко, А. Д. Бондаренко, О. В. Титаренко, Н. І. Єсипович // Геология и полезные ископаемые Мирового океана. — 2011. — №4. — С.47–63.
 36. Фролова Н. В. Об условиях осадконакопления в архейской эре. / Н. В. Фролова. // Труды Иркут. ун-та, 5, 2, серия геол. — М.: Госгеоліздат, 1951. — С. 38–67.
 37. Фролова Н. В. Вопросы стратиграфии, регионального метаморфизма и гранитизации Южной Якутии и Восточной Сибири. / Н. В. Фролова. // Труды Вост. Сиб. геол. ин-та АН СССР, 5. серия геол. — М.: Изд-во АН СССР, 1962. — С. 38.
 38. Шатский Н. С. Фосфоритоносные формации и классификация фосфоритовых залежей / Н. С. Шатский. Избр. труды, 3. — М.: Наука, 1965. — С. 37–49.
 39. Шкала геологического времени / У. Б. Харленд, Р. Л. Амстронг, А. В. Кокс [и др.]. — М.: Мир, 1985. — 139 с.
 40. Шолпо В. Н. Структура Земли: упорядоченность или беспорядок? / В. Н. Шолпо. — М.: Наука, 1986. — 157 с.
 41. Buddington A. F. Granite emplacement with special reference to North America, Bull. Geol. soc. Amer., v. 70, No 6, 1959. — P. 48–62.
 42. Cloos H., The ancient European basement blok, preliminary note, Amer. Geophys. union, Trans., v. 29, 1948. — P. 80–97.
 43. Escola P. E., The nature problem of mantled gneiss domes, Quart. J. Geol. soc., London, v. civ, pt. 4, 1949.
 44. Escola P. E., A discussion of domes and granites and ores, C. r. Soc. Geol. Finlande, 25, 1952. — P. 72–96.
 45. Haller J., Der “Zentrale Metamorphe Komplex” von NE-Grenland, Teil 2 : Die geologische Karte der Straunings Alpet und des Forsblands Fjordes. — Medd. Grenland, 1958, 154. — N3. — P. 137.
 46. Hills E. S., Some aspects of the tectonics of Australian, J. Royal soc. NSW, 79, 1945. — P. 92–98.
 47. Hills E.S., Tektonic patterns in the earth’s crust, Report of 26-th Meeting of Australian and NZ Ass. for the advancement of sci, Perth, 1947. — P. 11–18.
 48. Kranck E.H., On folding-movements in the zone of the basement, Geol. Rundschau, Bd. 46, No 2, 1957 (1959). — P.81–89.
 49. McGregor A. M., Some milestones in the Precambrian of Southern Rhodesia, Trans. and Proc. Geol. soc. S. Africa, v. 54, XXV, 1951. — P. 110–122.
 50. Wegmann C. E., Zur Deutung der Migmatite, Geol. Rundschau, Bd. 26, N. 3, 5, 1935. — P. 25–47.

КУПОЛА СРЕДНЕПРИДНЕПРОВСКОГО ТЕКТОНОКОНЦЕНТРА УКРАИНСКОГО ЩИТА

С. М. Єсипович

Гранито-гнейсовые купола Среднего Приднепровья были обнаружены по данным гравитационного и магнитного полей, поскольку Украинский щит оказался значительно денудирован и перекрыт плащом осадочных образований различной мощности. В результате сопоставления геолого-геофизической информации УЩ с данными Канадского, Скандинавского и других щитов планеты возникло устойчивое предположение о сходстве их истории развития. Именно для понимания строения УЩ не решался основной структурный вопрос – какие комплексы природных ассоциаций, и почему именно, залегают на различных денудационных его срезях. Во множественных описанных фациях, а впоследствии и формациях не решались вопросы геологического развития щита. В данной работе сделана попытка прояснить некоторые из этих вопросов.

Ключевые слова: классическая идея, ооидно-кольцевой, формирование, континентальная, тектоноконцентр, сечение-наложение, геодинамический, земная кора

DOMES OF THE SREDNEPRIDNEPROVSKY TECTONOCONCENTRE OF UKRAINIAN SHIELD

S. M. Esypovych

The granite-gneiss domes of the Middle Dnieper were discovered from the data of gravitational and magnetic fields, since Ukrainian shield was significantly denuded and covered by a layer of sedimentary formations of various thicknesses. As a result of the comparison of US geological and geophysical information with the data of the Canadian, Scandinavian and other shields of the planet, a stable assumption about the similarity of their development history arose.

It was for understanding the structure of US that the key structural question was not solved - which complexes of natural associations, and why, lie on different denudation sections of it. In numerous described facies, and then in the formations, the questions of the geological development of the shield were not solved. In this work, an attempt is made to clarify some of these issues.

Key words: classical idea, ooid-circular, formation, continental, tectonoconcentre, cross-section, geodynamic, earth crust

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 97–2003. 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-97–2003. Формат графических приложений — TIFF, разрешение — 300 dpi/inch. Размер страницы — А4. 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 подаются в квадратных скобках. .Список литературы делают *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

2.9. Комплексний метод прогнозування нафтогазоперспективних об'єктів в нафтогазових басейнах

Відомо, що коефіцієнт успіху нафтогазового буріння звичайно не перевищує 30%. Підвищити ефективність пошуково-розвідувального буріння можна, здійснивши перехід від високозатратного площинного опошукування до економічного зонального. При цьому пошуки та розвідка ведуться не в межах структурних форм нафтогазового басейну, а в межах певних тектоно-фаціальних зон, де є глибинні передумови утворення ВВ. Адже сприятливі умови для утворення високодебітних родовищ виникають в найбільш мобільних зонах земної кори — так званих шовних рифтогенних (ШРЗ), де до механічних умов “перетирання”, а, значить, і примусової фільтрації ювенільних ВВ через динамічно напружені осадово-магматичні товщі, збагачені органічною речовиною, добавляються умови високої температури та тиску. Ширина таких зон складає від 8 до 12 км, і виділяються вони по історії геологічного розвитку регіону, а пошук в їх межах перспективних на нафту та газ блоків проводиться на базі аналізу широкого комплексу аерокосмічних та геолого-геофізичних робіт. Це дозволяє не тільки отримати уточнену структурну модель перспективної ділянки, але й наповнити її неструктурною інформацією, яка прогнозує фізичний стан порід (ущільнення, розущільнення, епігенетичні зміни, фаціальний склад, тощо) і визначає, в якому місці — антиклінальному склепінні, крилі чи монокліналі треба закласти пошукову свердловину. При цьому пошукове буріння ведеться не на одному або на кількох продуктивних комплексах, а спрямоване на вивчення всього розрізу свердловини, оскільки з глибиною вірогідність відкриття нових покладів підвищується. Площина пасток з глибиною в цілому зменшується, і вони можуть навіть не співпадати в плані, але дебіти вуглеводневої сировини будуть тільки зростати.

Сьогодні традиційні підходи до пошуку родовищ ВВ базуються на комплексному аналізі геолого-геофізичних робіт, який є дуже трудомістким, потребує багато часу та значних асигнувань і, надаючи структурну модель пастки, не дає відповіді щодо її заповнення продукцією. Залучення до нафтогазопошукових робіт матеріалів багатоспектральної аерокосмічної зйомки в комплексі з морфометричними дослідженнями дозволяють виділяти ділянки земної поверхні, де фіксується аномальна концентрація ВВ. Такі малозатратні, випереджуючі сейморозвідку роботи проводяться Науковим центром аерокосмічних досліджень Землі і підсумовані у звіті про НДР за 2014 р., № держреєстрації 0109U008821, Інв. № У-10-35/1 “Модернізований комплекс методів прогнозу нафтогазоперспективних об'єктів Дніпровсько-Донецької западини з використанням даних дистанційного зондування Землі”).

Комплекс методів прогнозування нафтогазоперспективних об'єктів базується на реальній моделі зв'язку певних компонентів ландшафту і особливостей геофізичних полів Землі в межах промислових скупчень ВВ. Результатом досліджень є додаткова інформація для прийняття рішення при плануванні детальних геофізичних робіт та пошукового буріння. Обґрунтовано комплекс аерокосмічних, геоморфологічних та геолого-геофізичних методів вивчення геологічних структур, доступних для промислової розробки родовищ корисних копалин. Базовими є аерокосмічні та геолого-геофізичні дослідження, при яких вирішуються наступні задачі:

- структурне дешифрування матеріалів космічних зйомок;
- структурно-геоморфологічні дослідження на базі космічної радарної топографічної зйомки SRTM та використання ЦМР;
- інтерпретація та переосмислення геолого-геофізичних матеріалів, основними з яких є теплові, гравіметричні та сейморозвідувальні, з метою створення нової схеми геодинамічної будови регіону (регіональний рівень) та виділення глибинного об'єкту можливого покладу ВВ в межах поверхневої суперпозиційної аномалії (локальний рівень);
- розробляється спеціальне комп'ютерне забезпечення для оброблення космічних знімків та геофізичних даних.

Відповідно до глибинної концепції утворення ВВ обґрунтований та вибудований комплекс методів передбачає:

- побудову принципово нової геодинамічної схеми тектоніки регіону та історії його геологічного розвитку на базі циклічних процесів формування земної кори. В історії розвитку першочергова увага приділяється міжблоковим ШРЗ і визначається їх геодинамічна активність. Виділяються ШРЗ за широким комплексом аерокосмічних, морфометричних та геолого-геофізичних методів. ШРЗ і стають регіональним об'єктом пошуку родовищ ВВ.

Врахування шовних зон дає такі дві принципові переваги:

- звужується площа пошуку в межах самої ШРЗ, а це 10–15 км, та 5-ти кілометрової оторочки;
- тільки в цій, визначеній зоні пошуку можна сподіватися на відкриття родовищ ВВ з високими та стабільними дебітами вуглеводневої сировини, причому чим молодша та активніша по віку буде ШРЗ — тим потужніший її вуглеводневий потенціал.

В межах регіонального об'єкту ШРЗ проводяться пошукові та детальні аерокосмогеологічні роботи

за методом суперпозиції (накладання-співставлення) аномальних зон, виділених різними методами. Обґрунтовується положення суперпозиційної аномалії на поверхні, яка може говорити про існування покладу ВВ на глибині.

Виділення глибинного об'єкту можливого покладу ВВ, в межах поверхневої суперпозиційної аномалії, виконується в результаті переобробки сейсмічної інформації по методу Тимошина-Семенової. При цьому виділяється та аналізується неструктурна інформація сейсмічного поля.

В залежності від задач, які вирішуються, комплекс таких досліджень може проводитися:

- на регіональному рівні для виділення ШРЗ в межах осадового басейну та перед детальними геологорозвідувальними роботами, коли йде мова про попередню привабливість та оцінку даної площі або ділянки;
- при плануванні об'єму детальних геологорозвідувальних робіт;
- на стадії проведення детальних пошукових робіт з метою одержання додаткової інформації про перспективність виявлених об'єктів і місцезонавання пошукових свердловин.

Необхідно виділити чотири основні рівні складності виконання даної роботи

I. Визначення перспектив нафтогазоносності ліцензійної ділянки (блоку) відносно загальних перспектив регіону, області, площі.

Початкові дані

Замовник має намір взяти ліцензію на певну ділянку (блок), але перед цим хоче визначитись, наскільки він виявиться перспективним у нафтогазоносному відношенні у порівнянні з іншими блоками нафтогазового басейну.

Виконавець робіт вивчає дане питання, аналізуючи геолого-геофізичну та аерокосмічну інформацію, і через деякий час (від одного до двох місяців) видає заключення по перспективам нафтогазоносності ділянки-блоку без врахування аналізу першого рівня).

Аналіз другого рівня виконується на протязі двох-чотирьох місяців (все залежить від необхідної повноти інформації, яку Замовник надає Виконавцю). Ускладнення роботи і продовження терміну аналізу виникає тоді, коли наданий матеріал неякісний або його не вистачає.

Виконання Замовником рекомендацій Виконавця (при якісному бурінні та випробуванні) дозволить отримати продукцію з хорошими дебітами в двох свердловинах з трьох. Процент успіху на площах, де вже є пробурені свердловини, буде ще вищий.

III. Аналіз причин негативних результатів пошуково-розвідувального буріння як в окремих свердловинах так і в межах ліцензійних блоків.

Початкові дані

Замовник хоче визначитись, чому в межах його ліцензійної ділянки пошуково-розвідувальне буріння дає негативний результат — припливів вуглеводневої сировини або взагалі немає, або вона короткочасна і не забезпечує економічного ефекту буріння.

Виконавець виконує роботи по першому рівню складності з елементами другого рівня і надає аналітичний звіт Замовнику:

- неперспективна;
- слабоперспективна;
- перспективна,
- високоперспективна.

Якщо ділянка виявляється слабо перспективною або неперспективною, то, за бажанням Замовника, простір аналізу може бути розширений і йому пропонується область басейну, де може бути розміщена перспективна ділянка.

II. Обґрунтування місцезонавання пошуково-розвідувальної свердловини.

Початкові дані

Ліцензія на ділянку взята, проведена робота геофізичними методами, треба визначитись з місцезонаванням точки під буріння. Можливо й таке, що місцезонавання свердловини вже рекомендовано, але, враховуючи її велику собівартість, Замовник хоче підстрахуватись і звертається до Виконавця, надаючи йому для аналізу всю наявну геолого-геофізичну інформацію, якою володіє.

Виконавець робить комплексний аналіз, при потребі надані матеріали доопрацьовуються, і якщо їх не вистачає для однозначного висновку, рекомендується отримати нові, в тому числі і певний об'єм аерокосмічних досліджень та сейсморозвідки. В результаті Виконавець або рекомендує точку під буріння на цій площі або ні (особливо якщо ліцензійна ділянка була взята

IV. Визначення доцільності відновлення свердловини.

Початкові дані

Замовникові рекомендують взяти під відновлення ту чи іншу свердловину, яка давала продукцію. Однак він хоче знати доцільність цієї операції. Чи вдасться отримати запланований приплив вуглеводневої сировини?

Відповідно до конкретного замовлення Виконавець робить аналіз по першому рівню (дивись пункт один) і деякі елементи аналізу другого рівня (дивись пункт два).

В результаті проведених комплексних досліджень рекомендується витратити кошти на відновлення свердловини або цього не робити.

Комплексний метод прогнозування нафтогазоперспективних об'єктів в нафтогазових басейнах ми розглянемо як на суходолі, так і на морському

шельфі на основі інтегрування даних багатоспектрального космічного знімання і геолого-геофізичних даних.

Основними постулатами при пошуках нафтогазоносних структур дистанційними методами, були й залишаються твердження про неоген-четвертинний час утворення нафтогазових покладів, провідну роль неотектонічного фактора та геофлюїдодинамічних процесів у формуванні родовищ нафти і газу [160, 161]. Ці процеси і явища мають вплив на формування сучасної земної поверхні, що фіксується дистанційними сенсорами одночасно на значній території в широкому спектрі електромагнітного випромінювання.

Сучасні технології використання матеріалів ДЗЗ у геологорозвідувальному виробництві засновані на тому, що аерокосмічна інформація являє собою складову частину геопросторових даних і обробляється разом з широким спектром картографічних і цифрових геологічних, геофізичних, екологічних, геохімічних, метеорологічних та інших даних.

Основні положення інформаційного забезпечення інтеграції даних

На основі аналізу сучасних підходів до інформаційного інтегрування геолого-геофізичних та дистанційних даних сформовано наступні принципи:

- формулювання поняття геологічної і фізико-геологічної моделей з встановленням зв'язків між ними;
- визначення поняття прямої і оберненої задач інтегральної інтерпретації геофізичних даних;
- визначення вимог до методів розв'язання прямих і обернених задач в межах єдиного підходу, що дозволяє природним шляхом переходити від розв'язання задачі для окремих геофізичних методів до задачі кількісної комплексної інтеграції даних для декількох методів;
- обґрунтування оптимального комплексу геолого-геофізичних матеріалів для вивчення нафтогазоносних структур.

Метою інтеграції геолого-геофізичних даних є досягнення однозначності геологічного тлумачення нафтогазоносних об'єктів. При цьому під інтеграцією даних розуміється оброблення комплексу різних ознак, при якій вирішуються завдання геокартування й районування досліджуваної площі на кілька класів. Інтеграція геолого-геофізичних даних полягає в побудові погодженої комплексної фізико-геологічної моделі, тобто моделі з оцінками петрофізичних властивостей, форми й геометрії досліджуваних об'єктів або геосередовища.

При формуванні комплексу інтеграції геолого-геофізичних даних виділяють наступні його види:

- типовий комплекс, створюваний для досить узагальнених і в той же час найтипівіших геологічних і геоморфологічних умов проведення робіт. Типовий комплекс може містити надлишкове

число геофізичних методів, оскільки в нього включають усі методи, тією чи іншою мірою сприятливі розв'язку поставленого завдання;

- раціональний комплекс, що представляє геологічно й економічно обґрунтовану комбінацію геофізичних методів і супровідних їхніх геологічних і геохімічних видів досліджень із метою ефективного розв'язання поставленого завдання [162]. Особливістю раціонального комплексу є його прив'язка до певних, а не до типових, геологічних, геоморфологічних і геолого-економічних умов конкретного об'єкта. При цьому необхідна хоча б приблизна оцінка інформативності й економічних витрат для всіх методів. Раціональний комплекс створюється на основі типового комплексу інтеграції геолого-геофізичних даних при наявності достатнього обсягу апріорної інформації, що дозволяє оцінити інформативність окремих методів і їх різних комбінацій;
- комплекс створюється на основі використання того або іншого критерію. У якості такого критерію Е. А. Козловим [163] запропонована мінімізація функції втрат, що включає істотні апріорні відомості про об'єкт дослідження: апріорні ймовірності наявності й відсутності об'єкта, геологічну інформативність окремих методів і їх комбінацій, витрати на перевірку неправильних аномалій, що виявляються одним методом і комбінаціями методів. Вибір оптимального комплексу може бути реалізований лише в добре вивчених регіонах і при наявності достатнього статистичного матеріалу.

Загальні принципи інтеграції даних, отриманих різними методами

Через різноманіття факторів, від яких залежить вибір інтегрованого комплексу, це завдання не має аналітичного розв'язку. При виборі комплексу інтеграції геолого-геофізичних даних, насамперед, використовуються досить загальні принципи, до яких відносяться:

- принцип аналогії, що базується на досвіді досліджень, проведених у подібних геологічних умовах і який дотепер є основним при комплексуванні методів;
- принцип послідовних наближень, обумовлений стадійністю геологорозвідувального процесу й зростаючою детальністю досліджень об'єкта за правилом "від загального до частки". Цей принцип найповніше проявляється при геофізичних зйомках у масштабах, що послідовно укрупнюються, при одночасному скороченні досліджуваних площ. Завдяки дії такого принципу безупинно відбувається вдосконалення геологічної моделі об'єкта досліджень, а отже, і самого комплексу. Принцип послідовних наближень аналогічний принципу зворотного зв'язку, коли, почавши з побудови апріорної геологічної моделі і

пройшовши етапи вибору комплексу й одержання на основі його застосування нових геолого-геофізичних результатів, знову повертаються до побудови більш досконалої геологічної моделі, тим самим уточнюючи вибір методу для подальших досліджень;

- принцип оптимальності (доцільності) вимагає досягнення найбільш повного розв'язку геологічного завдання при мінімально можливих витратах засобів і часу. Одним із шляхів реалізації цього принципу є мінімізація функції втрат, що поєднує в собі показники геологічної інформативності й економічної ефективності окремих методів і їх різних комбінацій.

Методичне забезпечення пошуку покладів корисних копалин на суходолі

Як відзначено вище, сучасні технології використання матеріалів ДЗЗ у геолого-пошукових дослідженнях базуються на тому, що аерокосмічна інформація є складовою частиною ГС і обробляється разом з іншими геопросторовими даними. Інтегрування дистанційних та геолого-геофізичних просторових даних дає змогу автоматизувати процес оцінювання площі, що досліджується, та встановити ступінь її подібності до еталонної ділянки (родовища) [164–167]. Класифікація дистанційних даних з урахуванням геолого-геофізичної складової дає можливість без створення спеціальних бібліотек для геологічних об'єктів визначити ступінь подібності прогнозних ділянок і типових еталонів на певний регіон та виокремлювати ділянки різного рангу перспективності.

На першому етапі були проведені роботи по введенню всіх існуючих даних на територію дослідження в середовище ArcGIS:

Свердловини (продуктивні, непродуктивні).

Схема розломів.

Структурна карта по відбивному горизонті покрівлі фундаменту ДДЗ,

Структурно-геологічна карта доверхньосерпуківських відкладів (C_1s) ДДЗ.

Структурні карти по продуктивних горизонтах V_{B21}, V_{B20} .

Схема лінеаментів.

Карта залишкових аномалій Δg М-6 1:500 000.

Контур родовища за даними сейсмозвідки та буріння.

Схема новітньої розломно-блокової будови.

Схема геохімічних аномалій.

Схема оптичних аномалій за даними аерокосмічних досліджень.

Схема маршрутів для фотометрування дистанційних даних.

Схема маршрутів з точками відбору проб ґрунту та рослинності.

Створені карти товщин нафтогазоносних горизонтів ДДЗ.

При структурно-геоморфологічних дослідженнях використовувалася апріорна структурна та геоморфологічна інформація в ArcGIS. Для реалізації структурно-геоморфологічних досліджень запропоновано модель проведення структурно-геоморфологічного ГС-аналізу [168–171]. Крім морфометричних показників, для створення вихідного куба геопросторових даних був проведений пошук додаткових ознак (зон геодинамічного впливу активних розривних порушень, за якими можна з високою точністю локалізувати родовища ВВ. Для цього виконувався лінеаментний аналіз для виявлення розривних порушень і зон їх геодинамічного впливу за даними ДЗЗ. Для аналізу лінійних елементів використовувалися два різних підходи: статистичний аналіз і побудова лінеаментів. У статистичному аналізі оцінювалося розташування лінійних елементів кожного напрямку на досліджуваній площі.

Щільність лінеаментів інтерпретуються як канали міграції ВВ та зони розуцільнення, що просторово збігаються з пастками ВВ, за якими відбувається перенос енергії та речовини з нижніх горизонтів земної кори в осадовий чохол. Розрахунки полів щільності лінійних елементів різного напрямку проводилися в ArcGIS у напівавтоматичному режимі для подальшої геолого-геофізичної інтерпретації. Крім цього, в залежності від простягання були виявлені як позитивні, так і негативні ознаки, одні з яких сприяють формуванню умов для міграції та локалізації ВВ в осадовому чохолі, а інші — навпаки екранують процес перетікання ВВ.

На другому етапі проведена просторова регуляризація геолого-геофізичних даних та космічних зображень, остаточне створення вихідного куба геопросторових даних та реалізація процедури інтеграції геопросторової інформації на території Хухрянського нафтогазоконденсатного родовища.

Методичне забезпечення пошуку покладів корисних копалин на морському шельфі

Питання комплексування даних, системного підходу до вивчення геологічних явищ і процесів є необхідними при створенні моделі геологічної будови та вивченні історії геологічного розвитку певного регіону [153, 154].

Методика комплексування дистанційних та геофізичних методів при прогнозі нафтогазоносності шельфових зон відпрацьовувалася у межах північно-західного шельфу Чорного моря [153] і складалася з трьох етапів, перший з яких — використання різних варіантів дистанційних методів — включає результати комплексування даних різночасової зйомки і зйомки у різних спектральних діапазонах; другий — дослідження детальними геофізичними методами, третій — комплексна інтерпретація. Дані дистанційного зондування отримувались незалежно один від одного у кожному спектральному діапазоні, в подальшому зіставлялися з даними гео-

фізичних досліджень або оброблялися засобами геоінформаційних систем.

При складанні тектонічної карти нафтогазоносних областей південного заходу СРСР автори [154] визнали доцільним скомпонувати багатоплановий ряд топографічних і геолого-геофізичних карт і схем для отримання відповіді про глибинність віддешифрованих на космічних знімках зон лінеаментів так, щоб висхідна послідовність карт відповідала б глибинності методів. Такий комплексний підхід дозволив представити геологічну модель зон лінеаментів в трьох вимірах — у просторі (довжина, ширина), в часі і на глибину проникнення і потім вже здійснити класифікацію зон, намітити їх ранг, встановити морфологію та ієрархію.

У подальшому, в розвиток цієї ідеї, зроблено спробу застосування нового підходу до виявлення геологічних об'єктів — площинних структурних утворень з певними геологічними (а також дистанційними) характеристиками — на матеріалах дистанційного зондування у різних спектральних діапазонах (EOS/MODIS — просторова розрізненість 1 км; 36 спектральних каналів у діапазоні довжин хвиль від 0.405 до 14.085 мкм) з одночасним використанням геолого-геофізичних даних та інтеграції даних [166].

Отримані результати дозволять площинно в регіональному масштабі визначити ділянки, характеристики яких найбільше подібні до характеристик еталонних ділянок — родовищ.

Для створення інтегральної просторової геологічної моделі за основу були взяті структурні карти поверхні фундаменту, горизонтів відбиття у відкладах осадового чохла та дані про батиметрію:

Карта залишкових аномалій Δg та родовищ корисних копалин України та Південно-Західної частини СНГ;

Структурна карта відбивного горизонту IV підшва нижньокрейдових відкладів;

Структурна карта відбивного горизонту III^m (P₁) підшва палеогену;

Структурна карта відбивного горизонту II^a (P₁³) підшва відкладів майкопу;

Батиметрична карта;

Теплові аномалії.

Процес інтеграції значно ускладнюють такі фактори, як відмінності просторової розрізненості та масштабів даних, наявність помилок, пропусків та невизначеностей у даних, неузгодженість часу отримання, одночасне використання векторних та растрових форматів. Тому важливими етапами проведення інтеграції є регуляризація наземних і аерокосмічних даних, приведення даних до єдиної вимірної платформи (масштабування і нормалізація) [172].

Подальші дослідження були спрямовані на проведення інтеграції отриманого гіперкубу даних та побудову графічного образу розподілення інтегрального індикатора дистанційних та геолого-гео-

фізичних даних, який можна трактувати як комплексну оцінку нафтогазоперспективності досліджуваної площі.

Інтеграція геолого-геофізичних та аерокосмічних даних, з метою ефективного вирішення завдань дистанційного пошуку покладів корисних копалин на суходолі

Нами зроблено спробу застосування нового підходу до виявлення геологічних об'єктів — площинних структурних утворень з певними геологічними (а також дистанційними) характеристиками — на матеріалах дистанційного зондування у різних спектральних діапазонах з одночасним використанням геолого-геофізичних даних.

При інтегруванні геолого-геофізичних і геоморфологічних ознак з дистанційними даними залучаються:

- матеріали багатоспектральної космічної зйомки;
- топографічні карти масштабу 1:100 000–1:10 000;
- цифровий рельєф території дослідження;
- розподіл температури поверхні;
- структурні карти по відбивним горизонтам масштабів 1:10 000–1:50 000;
- геолого-промислові дані про продуктивність свердловин;
- геологічні розрізи;
- стратиграфічні колонки;
- дані наземних та дистанційних фотометричних та спектральних вимірювань;
- дані геохімічних досліджень та ін.;
- інформація про геоекологічні ситуації в районах досліджень.

Якщо оброблення аерокосмічних зображень не викликає особливих труднощів, то залучення даних принципово іншої фізичної природи потребує спеціальних моделей.

По-перше, аерокосмічні зображення, як правило, одержуються в цифровій растровій формі, а геолого-геофізичні дані — у формі наборів просторових відліків на нерегулярній решітці, причому майже завжди більш низької просторової розрізненості. Тому першим етапом інтеграції має бути просторова регуляризація наявних геолого-геофізичних даних до растру аерокосмічного зображення. Сучасні геоінформаційні системи мають для цього цілий арсенал способів — від найпростішої сплайн-інтерполяції до геолого-геофізичного моделювання [173].

По-друге, відомі моделі інтеграції залишають відкритим питання про порядок сумісної обробки кількісних полів різної фізичної природи. Очевидно, що перед обробкою різноманітні дані мають приводитися до певної єдиної кількісно-виміральної форми, наприклад шляхом різного роду масштабування, нормування та фільтрування. Наприклад, в математичній статистиці прийнято центрувати та нормувати вхідні фізичні дані таким чином, щоб їх дисперсія складала одиницю. В загальному випадку слід перед обробкою обрати певний

єдиний діапазон припустимих змін даних $[f_{\min} \dots f_{\max}]$ та визначити відповідні перетворення F_j зазвичай лінійні:

$$F_j: [x_{\max j} \dots x_{\min j}] \rightarrow [f_{\min} \dots f_{\max}], \quad \forall j=1..m, \quad (2.68)$$

де $x_{\max j}, x_{\min j}$ — максимальне та мінімальне значення j -го геолого-геофізичного показника, f_{\min}, f_{\max} — верхня та нижня границі єдиного діапазону, m — загальна кількість використаних геолого-геофізичних полів. Додаткову інформацію про раціональне масштабування даних можуть надати позитивні та негативні приклади пошукових об'єктів. Наприклад, інколи можливо підібрати таку систему масштабованих перетворень $F_j, j=1..m$, яка забезпечить максимальну відмінність набору різномірних даних від позитивних і негативних прикладів в заданій інформаційній метриці [174].

По-третє, дуже важливим етапом інтеграції є вибір адекватної метрики сумісної обробки даних. Зараз при сумісній обробці дистанційних та геолого-геофізичних даних використовують різноманітні статистичні методи (Махалобіса, Бхатчарія, Чернова) [174], інформаційні (взаємна ентропія, Фішерівська інформація) [175] та евристичні (нелінійні індекси, топологічні оцінки) [176]. При нафтогазоперспективних дослідженнях з використанням дистанційних даних добре себе зарекомендувала інформаційна дивергенція Кульбака-Лейблера [177] D :

$$D = \sum_{j=1}^m p_j \log_2 \frac{p_j}{q_j}, \quad (2.69)$$

де p_j, q_j — розподіли щільності ймовірностей j -го з оброблюваних полів даних для поточного вимірювання та цільового зразка відповідно.

Після того, як визначено процедури просторової регуляризації $R_j, j=1..m$ і масштабовані перетворення (2.68) та обрано інформаційну метрику (2.69), стає можливим провести сумісне оброблення дистанційних та геолого-геофізичних даних для їх інтеграції. Загальний порядок інтеграції m просторових полів даних пояснюється схемою, наведеною на рис. 2.45.

Для виконання просторової регуляризації R_j та масштабованих перетворень F_j потрібні параметри вхідних Δx_j та цільового растру, а також значення вхідних діапазонів кожного набору даних $[x_{\max j} \dots x_{\min j}]$ та єдиного вихідного діапазону $[f_{\min} \dots f_{\max}]$ даних. Щільності ймовірності p_j для обчислення інформаційної дивергенції D оцінюються за вибірковими гістограмами, причому для об'єктів пошуку бажано мати перелік еталонних ділянок даних $z(x)$. Якщо таких ділянок в межах району досліджень немає, оцінювання щільностей ймовірності q_j має здійснюватися або за виявленими аномаліями наборів даних, або за певними додатковими міркуваннями, зовнішніми відносно системи інтеграції даних.

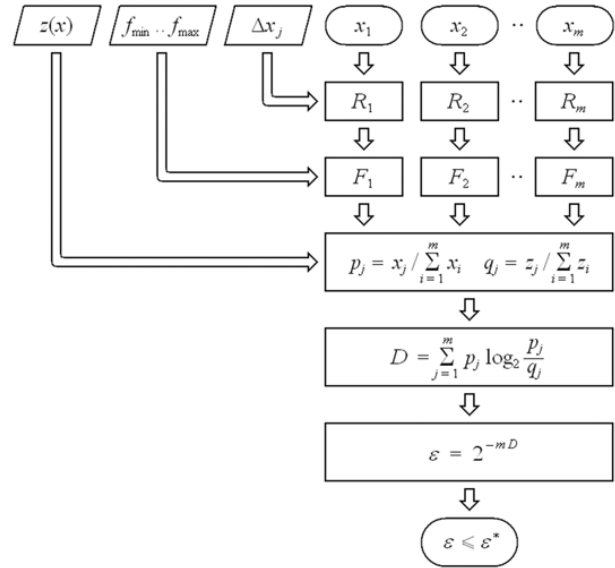


Рис. 2.45. Алгоритм інтеграції просторових дистанційних та геолого-геофізичних даних

Результатом інтеграції дистанційних та геолого-геофізичних просторових полів даних має бути певна кількісна величина, яка однозначно характеризує близькість довільного m -вимірного просторового сегменту даних до еталонного зразка. Просторовий розподіл цієї величини — це тематична карта, яка забезпечує осмислену інтерпретацію та візуалізацію багатовимірних полів даних різної фізичної природи. Показником близькості поточного та еталонного наборів даних є ймовірність їх переплутування ϵ . В обраній інформаційній моделі цю ймовірність можна оцінити як

$$\epsilon = 2^{-mD}. \quad (2.70)$$

За нашими оцінками та даними попередніх досліджень, можна очікувати високу підтверджуваність (на рівні 60–80 %) результатів інтеграції дистанційних та геолого-геофізичних даних при дослідженні нафтогазоперспективності окремих територій.

Апробація запропонованої методики інтеграції дистанційних та геолого-геофізичних даних проводилася по-кроково на еталонних ділянках ДДЗ.

Крок 1. Збір та аналіз геолого-геофізичних та структурно-геоморфологічних даних на територію дослідження.

Геометрична корекція топографічних карт проводилася методом поліноміального моделювання за допомогою відібраних опорних точок. Було використано систему координат Гауса-Крюгера (еліпсоїд Красовського), у метрах, з осьовим меридіаном 33° , з масштабним коефіцієнтом, рівним 1.

Крок 2. Вивчення висотного і блокових полів ландшафту (структурно-геоморфологічні дослідження), як додаткових даних для інтеграції.

У роботі для вивчення висотних полів ландшафту використовувалися дані ASTER GDEM. GDEM

(*Global Digital Elevation Model*) — це глобальна цифрова модель рельєфу.

Для дослідження впливу факторів геологічної будови використовуються кількісні морфологічні характеристики земної поверхні. За основу приймаються дані абсолютних висот рельєфу.

Крок 3. Просторова регуляризація даних.

Проведено регуляризацію даних космічних знімків з даними структурних карт по різних горизонтах. Матриця висот відтворюється з точністю, що відповідає просторовій розрізненості космічного знімка (наприклад, 30 м для Landsat/ETM+, 15 м для EOS/ASTER).

Крок 4. Інтеграція даних.

В результаті інтеграції одержано графічний образ просторового розподілу інтегрального індикатора за даними дистанційних та геолого-геофізичних досліджень, який можна трактувати як комплексну оцінку нафтогазоперспективності досліджуваної площі. За результатами розвідувального буріння встановлювалася наявність чи відсутність ВВ в прогнозній точці. Оскільки достовірних кількісних характеристик виявлених покладів ВВ немає, оцінювалася рангова кореляція між розподілом інтегрального індикатора та розташуванням продуктивних/непродуктивних свердловин. Ко-

ефіцієнт рангової кореляції Кендала за даними 22 розвідувальних свердловин перевищує 0.82, що свідчить про достатню ефективність запропонованої методики.

Таким чином, отримані результати дозволяють площинно в регіональному масштабі визначити ділянки, статистичні характеристики яких найбільше подібні до характеристик еталонного об'єкта — родовища. Розрізненість геологічних даних, які використовувались для аналізу, було зіставлено з розрізненістю дистанційних даних. В результаті проведеного аналізу і інтерпретації отриманих даних виділено ділянки, які є перспективними на наявність нафтогазоносних структур.

Застосування запропонованої методики інтеграції дистанційних та геолого-геофізичних просторових даних полягає в реалізації ідеї підкріплення геоіндикаційних ознак глибинних геологічних структур на космічному зображенні (можливо меншої просторової розрізненості) наземними даними.

Застосування запропонованого підходу дозволить підвищити оперативність та об'єктивність попередніх оцінок нафтогазоперспективності площ, що досліджуються, на різних етапах проведення нафтогазопошукових робіт

2.10. Приклади застосування розробленого комплексного методу прогнозування нафтогазоперспективних об'єктів

Розглянемо деякі приклади комплексних оцінок нафтогазоперспективності шельфу Чорного моря (регіональний рівень) та Хухринсько-Чернетчинської площі північного борту ДДЗ (детальний рівень), які були отримані із залученням розробленого і описаного вище комплексного методу прогнозування нафтогазоперспективних об'єктів.

2.10.1. Північно-Західний шельф Чорного моря

Методика комплексування дистанційних та геофізичних методів при прогнозуванні нафтогазоносності шельфових зон відпрацьовувалася у межах північно-західного шельфу Чорного моря і складалася з трьох етапів, перший з яких — використання різних варіантів дистанційних методів — включає результати комплексування даних різночасової зйомки і зйомки у різних спектральних діапазонах; другий — дослідження детальними геофізичними методами, третій — комплексна інтерпретація. Особливо актуальним є подібний підхід на значних за площею територіях з недостатнім рівнем детального дослідження саме для прийняття рішень у постановці подальших детальних геологорозвідувальних робіт.

Розбуреність акваторії Північно-Західного шельфу Чорного моря загалом по осадовому чохла ста-

новить біля 10 м/км² або біля 250 км²/1 св. Однак, вона нерівномірна. Найкраще вивчена центральна частина Каркінітсько-Північнокримського прогину, переважно по неглибокозалегаючих палеоценово-неогенових газоносних горизонтах.

Завдання науково-дослідних і тематичних робіт на даний момент полягає в обробці матеріалів буріння та геофізики з метою уточнення геологічної будови, тектонічного та нафтогазогеологічного районування, обґрунтування критеріїв нафтогазоносності та переоцінки початкових сумарних ресурсів ВВ з урахуванням нових геолого-геофізичних даних [178].

Основні риси геологічної будови Північно-Західного шельфу Чорного моря України

З позицій розломно-блокової тектоніки в межах Північно-Західного шельфу Чорного моря виділені наступні структурно-тектонічні елементи [179]: Східноєвропейська платформа: Південноукраїнська монокліналь, занурена частина Південноукраїнської монокліналі, Молдавська монокліналь, Передобрудзький прогин: Криловський прогин, Кілійсько-Зміїне підняття, Каменська депресія, Горіхово-Суворівське підняття (виступ), Сулинська депресія (Алуатсько-Чалицька депресія); Скіфська плита: Каркінітсько-Північнокримський прогин, Кала-

мітсько-Центральнокримське підняття, Альмінська западина (депресія); Складчаста зона Північної Добруджі: вал Губкіна, Крайовий уступ.

З позиції теорії літосферних плит геодинамічний режим Південноукраїнського регіону в альпійську тектонічну епоху зумовив переміщення та зіткнення літосферних плит, під час яких утворювалися покриви, складчастість і сформувався, зокрема, гірські споруди Криму та Кавказу. Виходячи з глобальної будови Альпійсько-Гімалайського складчастого поясу виділяються два надпорядкові структурно-тектонічні елементи [179]: південна окраїна древньої Східноєвропейської платформи і західна частина Мізійсько-Скіфської епіорогенної зони (Скіфської плити). Шовна зона зчленування цих надпорядкових структур, з точки зору більшості дослідників, проводиться західніше Одеського розлому по Цигансько-ЧаDIRлунзько-Балабанівській системі дислокацій. По Одеському порушенню вона зміщується на південь до Північноголіцинського субширотного розлому і трасується до району Каркінітської затоки, дещо північніше Бакальської коси. У фундаменті та нижніх горизонтах чохла широко розвинуті різноспрямовані тектонічні порушення, які об'єднуються в три системи: субмеридіональні — Одеське, Фрунзівсько-Арцизьке; субширотні — Кишинівське та північно-західні — Придністровське.

Нафтогазоносні і перспективні комплекси Північно-Західного шельфу Чорного моря України

У межах Північно-Західного шельфу Чорного моря розташовані складові двох нафтогазоносних провінцій: на захід від Одеського розлому — Балтійсько-Переддобрудзької та на схід — Чорноморсько-Північнокавказько-Мангішлацької [178].

У Чорноморсько-Мангішлацькій провінції на Північно-Західному шельфі Чорного моря виділена Північночорноморсько-Кримська нафтогазоносна область, яка простежується і на прилеглій суші Північного Причорномор'я та Кримського півострова. Вона розділяється на Північнокримський і Каркінітський нафтогазоносні райони, Таврійський, Північнокаркінітський, Каламітський та Центральнокримський нафтогазоперспективні райони.

У Північночорноморсько-Кримській нафтогазоносній області до основних нафтогазоносних і перспективних літолого-стратиграфічних комплексів належать: нижньокрейдовий — 22.8 % сумарних ресурсів; верхньокрейдовий — 10.3 %; палеоцен-еоценовий 22.3 %; олігоцен-нижньоміоценовий (майкопський) — 17.2 %; середньоміоценовий-пліоценовий 22.1 % (за підрахунками станом на 2009 р.) [179].

Створення бази даних Північно-Західного шельфу Чорного моря України в середовищі ArcGIS

Для оцінки перспектив нафтогазоносності великих територій та окремих літолого-стратиграфічних комплексів з сучасних поглядів нафтогазової геології структурно-тектонічні і літолого-фаціальні критерії є найбільш доцільними [180]. Практично вони визначають величину потенційних ресурсів ВВ, фазовий стан флюїдів і закономірності їх розміщення. Важливим є також врахування неотектонічного фактору, а також змін ландшафтів під впливом геохімічних, гідрогеологічних та інших факторів. Таким чином були зібрані дані, що створюють ознаковий простір, який був у подальшому використаний для аналізу нафтогазоперспективності зон на основі інтеграції даних. На першому етапі були проведені роботи по введенню всіх зібраних даних на територію дослідження в середовище ArcGIS (рис. 2.46): карта залишкового гравітаційного поля, карта аномального магнітного поля, структурна карта відбивного горизонту IV (підшва нижньокрейдових відкладів), структурна карта відбивного горизонту III^m (P₁) (підшва палеоцену), структурна карта відбивного горизонту II^a (P₁³) (підшва відкладів майкопу), батиметрична карта, карта фонду структур Південного нафтогазоносного регіону (родовища, прогнозні, прогнозно-перспективні та структури у бурінні), карта регіональних та зональних тектонічних порушень, схема лінементів та зон лінементів, теплові аномалії поверхні моря, аномалії хлорофілу, зони розповсюдження зависів.

Оскільки наявні дані перекривали Північно-Західний шельф Чорного моря не повністю, для подальшого аналізу був обраний полігон неправильної форми, на площу якого були наявні виміри всіх визначених шарів даних.

Для статистичного аналізу та проведення інтеграції даних необхідно створити карту позитивних і негативних еталонів. За позитивні еталони обрані відомі на Північно-Західному шельфі родовища газу і конденсату: Безіменне, Одеське, Південноголіцинське, Архангельське, Кримське (газові), Голіцинське, Шмідтівське, Штормове (газоконденсатні). Негативними еталонами ми вважали структури, виведені з буріння з негативним результатом: Прадніпровська, Флангова, Гамбурцева, Федорівська, Каркініцька, Десантна, Дельфін (рис. 2.47).

Окрім того, було проведено оброблення мозаїки багатоспектральних знімків КА Landsat-8, які характеризують розподіл певних компонентів морських ландшафтів: температури морської поверхні, хлорофілу і мінеральних зависів у товщі води (рис. 2.48). Попередніми дослідженнями було встановлено, що тектонічні і геофлюїдодинамічні фактори впливають на розподіл і розвиток цих компонентів, тому, оброблені за певними програмами мозаїки багатоспектральних космічних знімків були додані до оз-

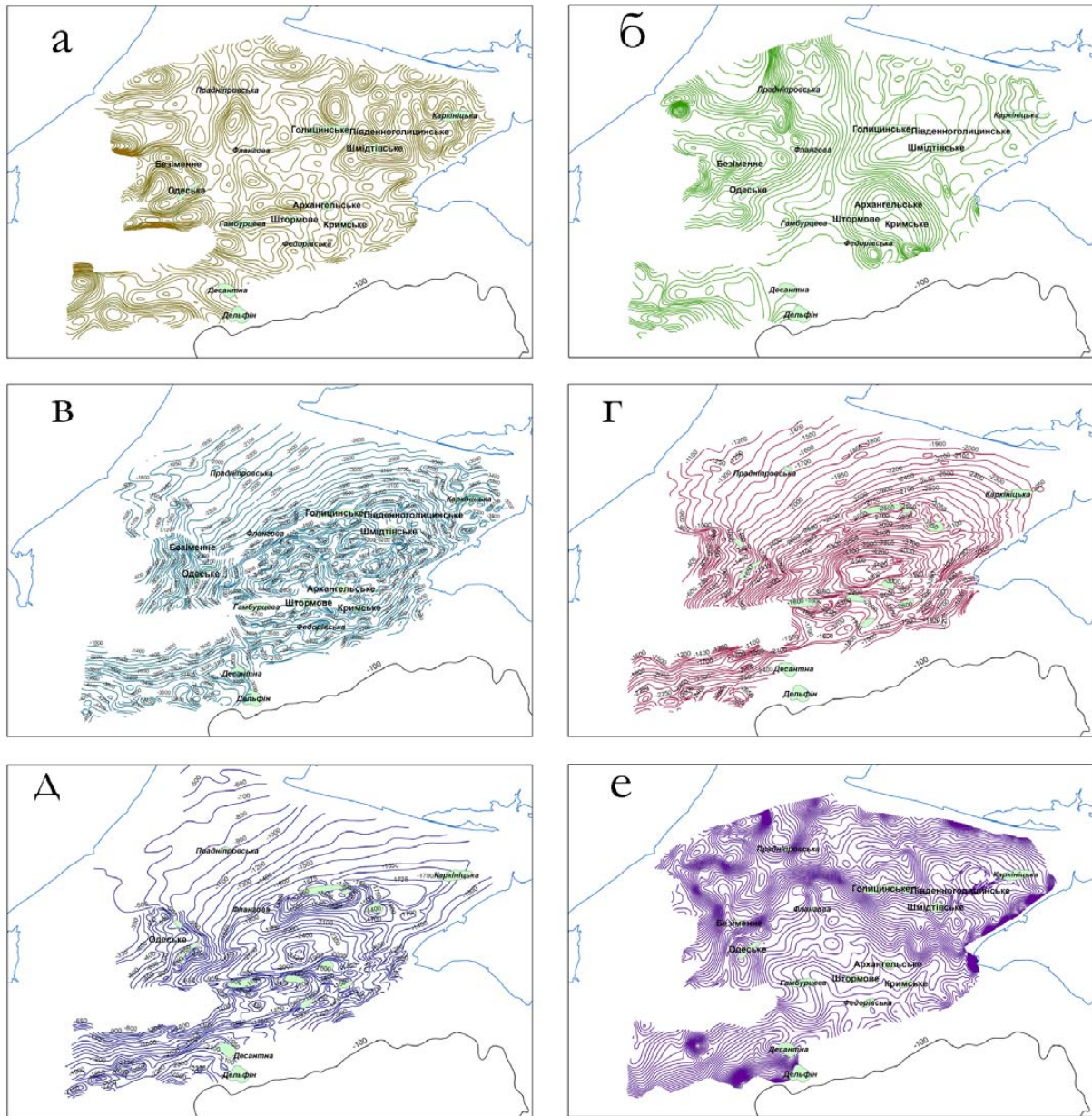


Рис. 2.46. Представлення геолого-геофізичної інформації у вигляді векторних shp файлів: а — карта залишкового гравітаційного поля; б — карта аномального магнітного поля; в — структурна карта відбивного горизонту IV (підшва нижньокрейдових відкладів); г — структурна карта відбивного горизонту III^m (P₁) (підшва палеогену); д — структурна карта відбивного горизонту II^a (P₁³) (підшва відкладів майкопу); е — карта батиметрії за даними SRTM

накового простору для проведення інтеграції даних Північно-Західного шельфу з метою його класифікації на перспективні і неперспективні зони у нафтогазоносному відношенні.

Для створення вихідного куба геопросторових даних був проведений пошук додаткових ознак (зон геодинамічного впливу активних розривних порушень, за якими можна з високою точністю локалізувати родовища ВВ. Для виявлення розривних порушень і зон їхнього геодинамічного впливу за даними ДЗЗ виконувався лінеаментний аналіз. Для аналізу лінійних елементів використовувалися два різних підходи: статистичний аналіз і побудова лінеаментів. У статистичному аналізі оцінювалося роз-

ташування лінійних елементів кожного напрямку на досліджуваній площі.

Особливості зображень космічних знімків шельфу формуються проявами розповсюдження хлорофілу, зависів та температурного поля поверхні моря. Безумовно, на їх розподіл і розповсюдження у товщі моря мають вплив зміни фізичних полів, механічні переміщення блоків земної кори, геохімічні перетворення, які визначаються локальними та регіональними закономірностями переносу речовини та енергії у надрах і товщі води. Таким чином, аналізуючи особливості просторового розподілу компонентів у товщі води, можна відтворити геодинамічну модель досліджуваного регіону.

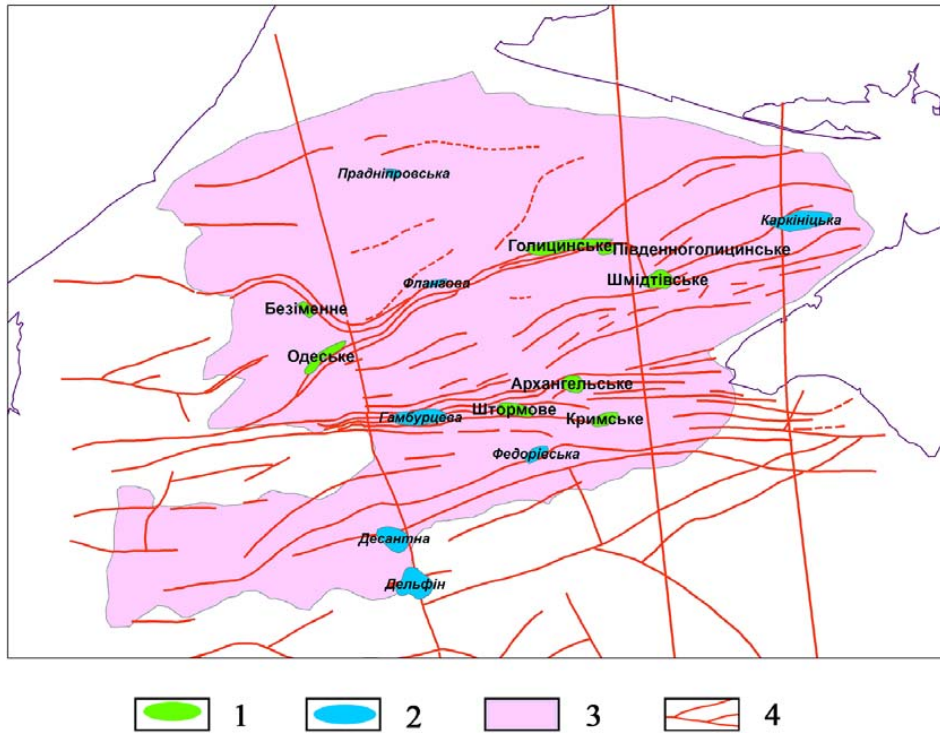


Рис. 2.47. Північно-Західний шельф Чорного моря. Карта родовищ і структур: 1 — газові і газоконденсатні родовища; 2 — структури, виведені з буріння з негативним результатом; 3 — площа полігону досліджень; 4 — тектонічні порушення за геофізичними даними

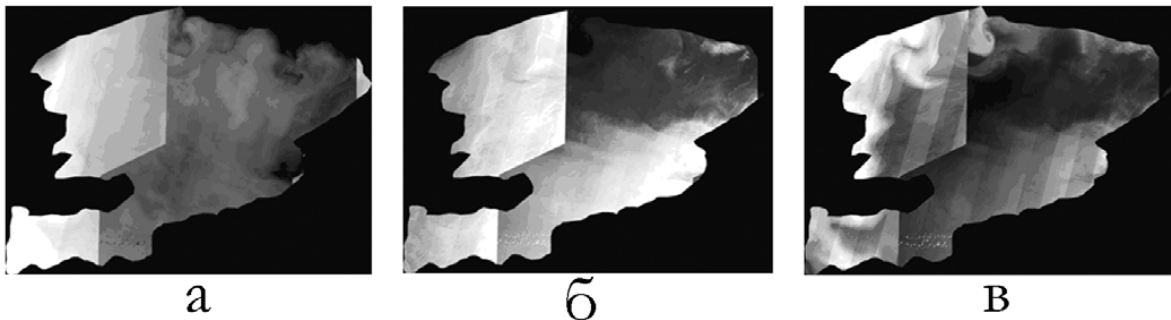


Рис. 2.48. Тематичні продукти оброблення космічних знімків Landsat-8 на полігон дослідження у межах Північно-Західного шельфу Чорного моря: а — продукт SST температура морської поверхні; б — розподіл хлорофілу у товщі води; в — розподіл мінеральних завесів у товщі води

Результатом дешифрування космічних знімків із виділенням прямолінійних елементів зображення є вихідна схема лінеаментів (рис. 2.49). Її складовими є різноспрямовані лінії — елементарні лінеаменти відповідного порядку. Порядок лінеаментів визначається масштабом і просторовою розрізненістю вихідного зображення.

Похідна карта лінеаментів дозволяє перейти до аналізу континуального лінеаментного поля, яке відображає просторову неоднорідність тектонічної роздробленості земної кори, її тектонічно-напружений стан. Ступінь генералізації дистанційних даних, що є основою для виділення лінеаментів, та масштаб підсумкових карт визначають розмір вікна-ґрида. У той же час, варіювання параметрами інтерполяції дозволяє виділяти аномалії поля лінеаментів у за-

лежності від масштабу та особливостей геологічної будови території.

За результатами побудов з використанням відпрацьованих методик лінеаментного аналізу були складені карти: загальної щільності лінеаментів, щільності лінеаментів певних напрямків, густини лінеаментів.

Щільність лінеаментів інтерпретується як канали міграції ВВ та зони розуцільнення, що просторово збігаються з пастками ВВ, за якими відбувається перенос енергії та речовини з нижніх горизонтів земної кори в осадовий чохол.

Розрахунки полів щільності лінійних елементів різного напрямку проводилися в ArcGIS у напівавтоматичному режимі для подальшої інтеграції та геолого-геофізичної інтерпретації (рис. 2.50).

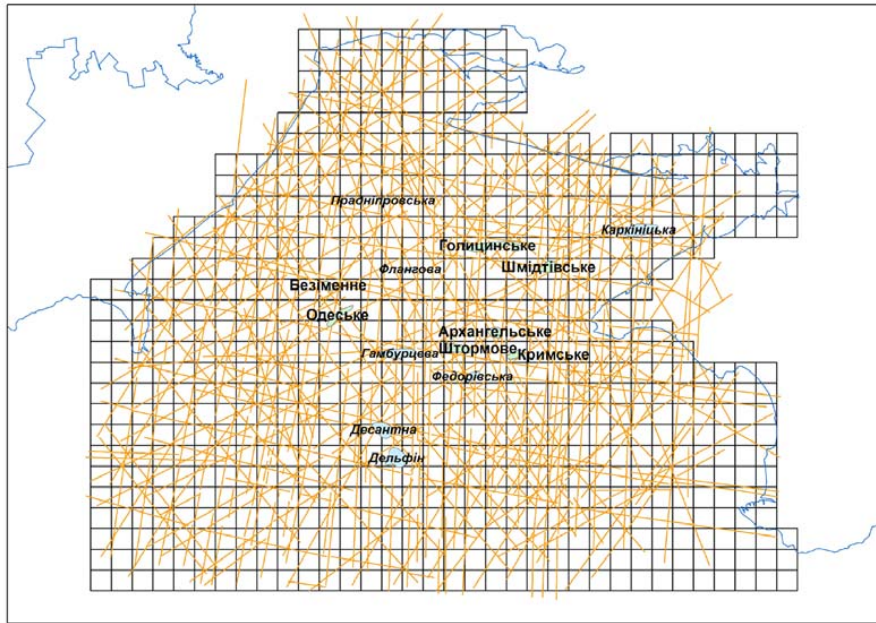


Рис. 2.49. Вихідна схема лінементів Північно-Західного шельфу Чорного моря за даними В. М. Перерви, 1994 р. [181] (сітка 10×10 км)

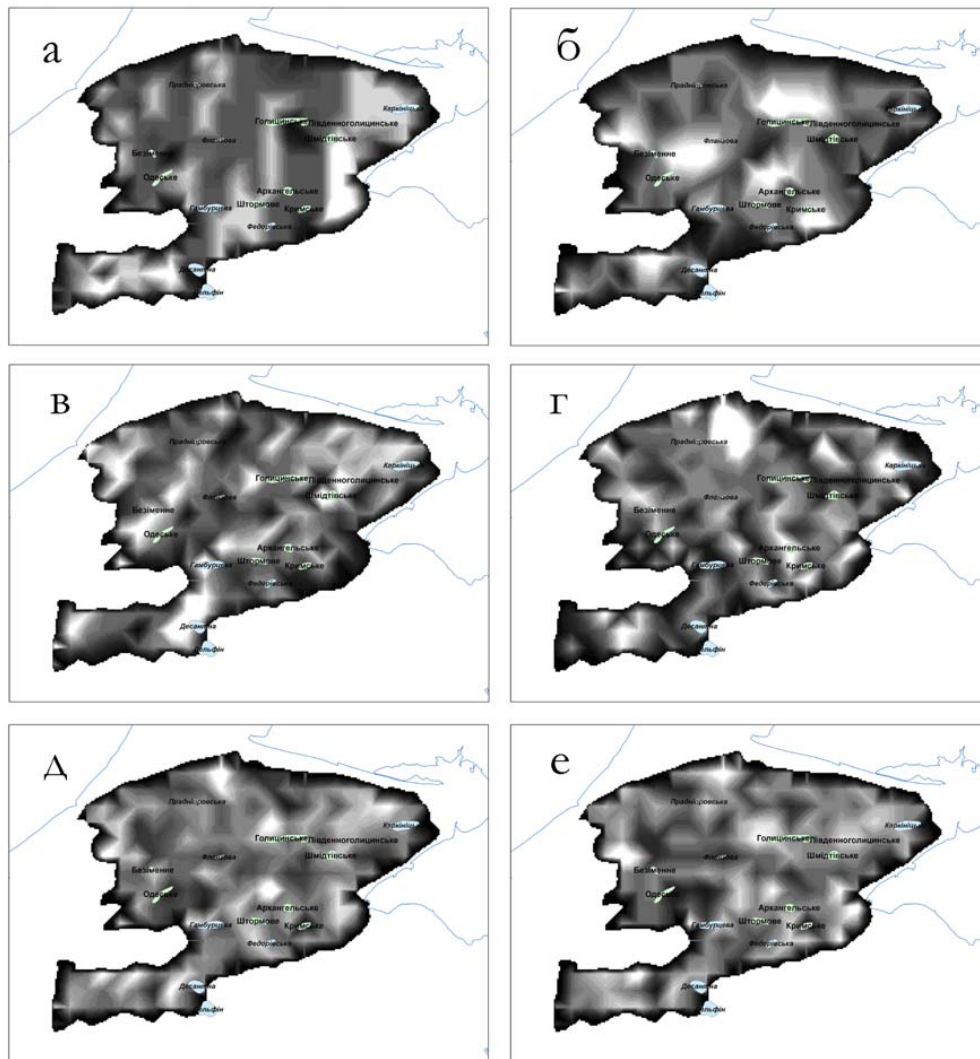


Рис. 2.50. Карти щільності та густини лінементів: а–г — за напрямками; д — карта сумарної щільності лінементів; е — карта сумарної густини лінементів

Геофізичними методами дослідження земної поверхні (сейсмогеофізичними, магнітометричними, гравіметричними) з великою мірою достовірності визначається розрив щільності шарів осадового чохла і порід фундаменту зі зміщенням як в горизонтальному, так і у вертикальному напрямках, що відповідає розломам регіонального і зонального масштабу. Аналіз наявних структурних карт показав, що більш глибоким горизонтам відповідають регіональні розломи, які, ближче до денної поверхні, розпадаються на низку менших розломів, утворюючи зони розущільнення осадової товщі. Враховуючи вплив виділених за геофізичними даними роз-

ломних зон на нафтогазоносність полігона, для Північно-Західного шельфу створена зведена схема розломів і тектонічних порушень різного масштабу за структурними горизонтами від нижньої крейди до майкопу (рис. 2.51). Тому при створенні гіперкубу даних необхідно враховувати цю апріорну інформацію. Найбільш адекватно врахувати вплив розривних порушень на загальну геофлюїдодинаміку регіону і локалізацію нафтогазоносних структур можливо за принципом лінеamentного аналізу. Тобто, в ArcGIS у напівавтоматичному режимі створені карти загальної щільності розривних порушень і їх густини (рис. 2.52).

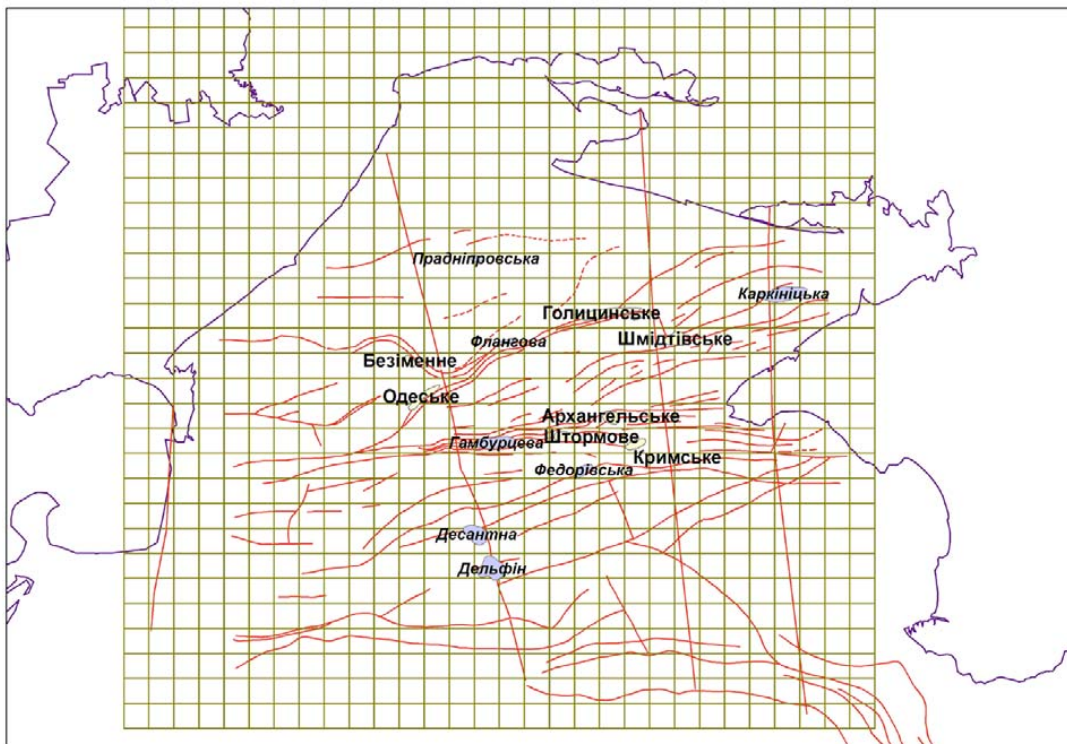


Рис. 2.51. Вихідна схема регіональних і зональних розломів Північно-Західного шельфу Чорного моря за геофізичними даними ДРГП "Причорноморгеологія" (сітка 10 × 10 км)

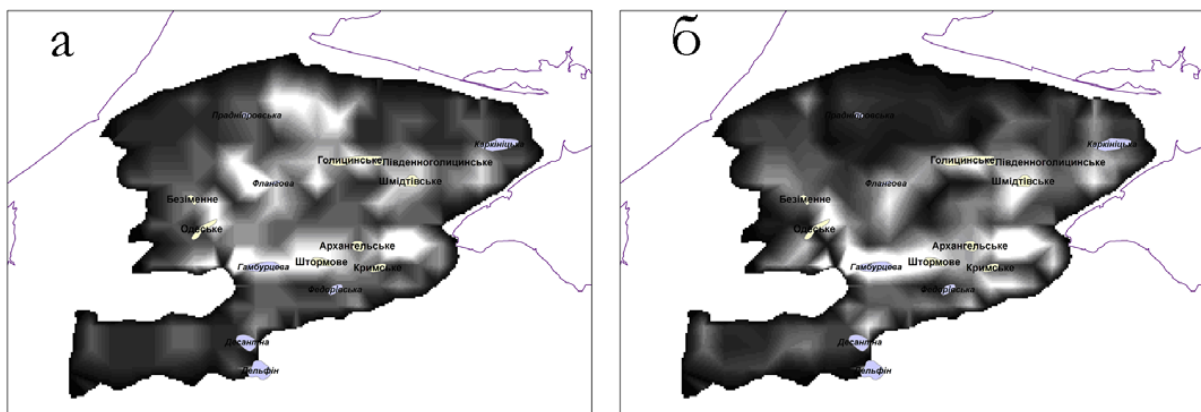


Рис. 2.52. Карти щільності (а) та густини (б) регіональних і зональних розломів Північно-Західного шельфу Чорного моря

Процедура інтегрування геопросторової інформації

Вхідними даними для інтеграції даних Північно-Західного шельфу Чорного моря є просторові шари, що містяться у відповідних файлах різних форматів та систем координат:

- рельєф місцевості SRTM v2, формат DEM HGT;
- температура поверхні SST, формат ENVI BIN;
- хлорофіл у товщі води, формат ENVI BIN;
- розподіл мінеральних зависив, формат ENVI BIN;
- карти щільності лінеаментів, 6 шт., формат GeoTIFF;
- карти щільності розломів, 2 шт., формат GeoTIFF;
- карта залишкового гравітаційного поля, формат ArcGIS SHP;
- карта аномального магнітного поля, формат ArcGIS SHP;
- карти структурних горизонтів, 3 шт., формат ArcGIS SHP;
- карта родовищ і структур, на яких отриманий негативний результат буріння, формат ArcGIS SHP.

Після підключення всіх джерел створюються зв'язки між вхідними файлами, перетворювачем та вихідним файлом. В результаті виконання створеного проекту був сформований вихідний куб геопросторових даних, готових до інтеграції. Крім того, зазвичай, геолого-геофізичні дані мають іншу просторову розрізненість по відношенню до даних ДЗЗ. З огляду на це, до геолого-геофізичних даних застосовують процедуру ресамплінгу (зміна об'єму даних при зміні розрізненості), яка дозволяє привести зазначені дані по просторовому розрізненню до даних дистанційного зондування Землі. На етапі об'єднання даних визначається величина функції маси для позитивних і негативних структур для вхідних даних на основі байесовської класифікації та проводиться об'єд-

нання даних за комбінаційним правилом Демпстера [182, 183]. Роботи по створенню гіперкубу геопросторових даних, нормування різнорідних даних, приведення зазначених даних до просторового розрізнення ДЗЗ, процедури об'єднання за комбінаційним правилом Демпстера проведені М. В. Топольницьким.

Результати

За способом нормування даних було отримано кілька варіантів карт розподілу вихідної імовірності. На рис. 2.53 представлено розподіл вихідної імовірності, отриманий в результаті використання лінійного перетворення в одиничний відрізок $\tilde{X} \in [0,1]$ виду:

$$\tilde{X} = \frac{X_i - X_{i\min}}{X_{i\max} - X_{i\min}}, \quad (2.71)$$

де \tilde{X} і X_i — нові і старі значення векторів ознак відповідно;

$X_{i\max}$ і $X_{i\min}$ — максимальне і мінімальне значення векторів ознак відповідно.

У зв'язку з тим, що для інтеграції була використана мозаїка багатоспектральних знімків, це відобразилось на підсумковій карті. В результаті інтеграції отримані дані трьох сегментів з різним рівнем відображення імовірності, це ускладнює рівноцінну інтерпретацію. Проте, за результатами проведеного аналізу отриманої карти можна зробити наступні висновки:

- всі родовища (Безіменне, Одеське, Голіцінське, Південноголіцінське, Шмідтівське, Архангельське, Штормове, Кримське.) чітко відображаються на карті розподілу вихідної імовірності, як ділянки з найбільшим значення імовірності (див. рис. 2.53, табл. 2.8);
- структури, підготовлені до буріння, та виявлені

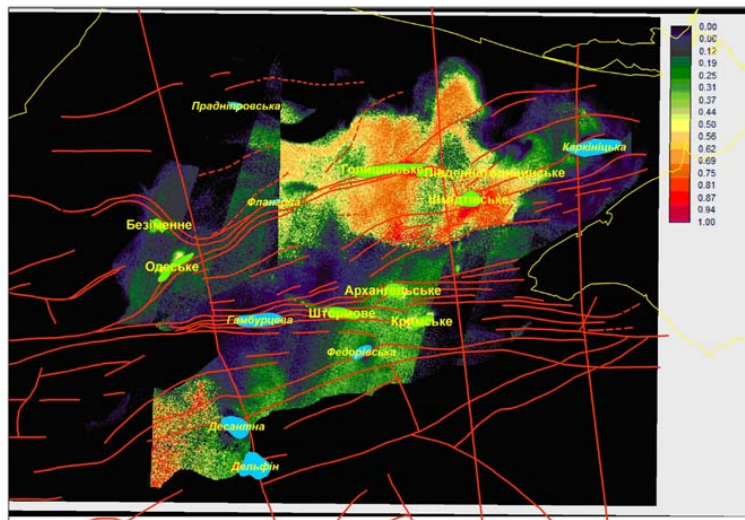


Рис. 2.53. Північно-Західний шельф Чорного моря. Розподіл вихідної імовірності відповідності позитивним еталонам за результатами інтеграції геопросторових даних з використанням лінійного перетворення

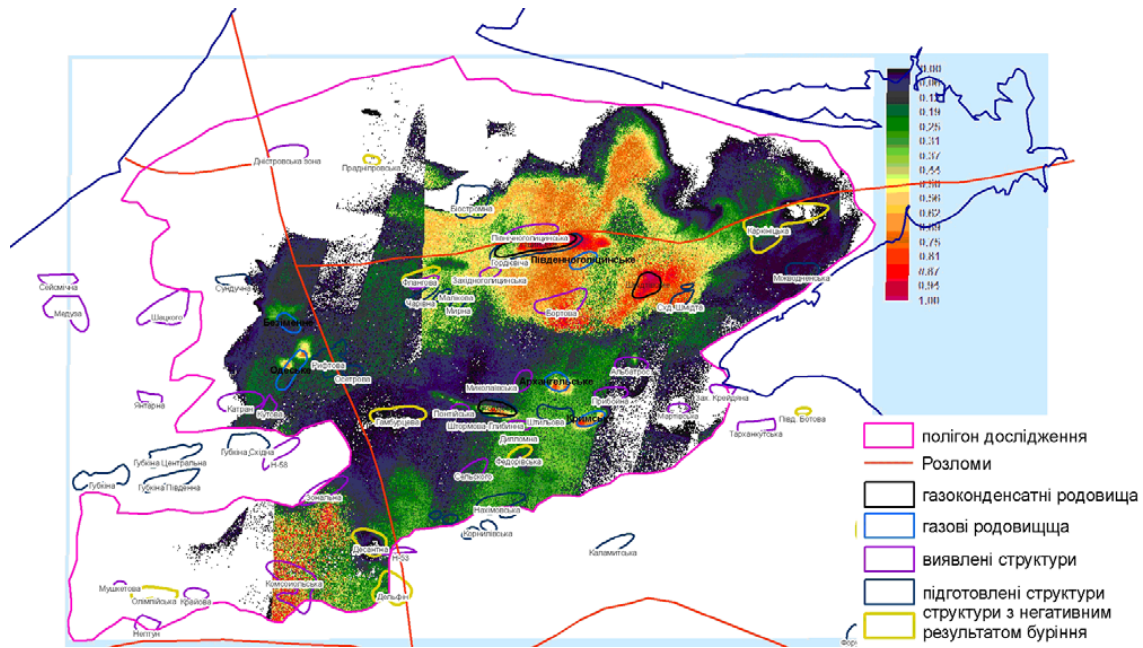


Рис. 2.54. Схема зіставлення розподілу вихідної ймовірності за результатами інтеграції геопросторових даних з використанням лінійного перетворення та карти фонду структур (за даними Львівського відділення УкрДГРІ, 2012 р.) для Північно-Західного шельфу Чорного моря

Таблиця 2.8.

Проявлення структур різного рангу на результуючій карті розподілу вихідної ймовірності за результатами інтеграції геопросторових даних з використанням лінійного перетворення (рис. 2.54)

Назва	Ранг структури	Значення ймовірності
Безіменне	родовище газове	0,5
Одеське	родовище газове	0,5
Голіцінське	родовище газоконденсатне	0,95
Південно-голіцінське	родовище газове	0,90
Шмідтівське	родовище газоконденсатне	0,95
Архангельське	родовище газове	0,8
Штормове	родовище газоконденсатне	0,8
Кримське	родовище газове	0,8
Бістромна	підготовлена до буріння	брак даних
Південно-флангова	←	0,4
Чарівна	←	0,5
Малікова	←	0,5
Мирна	←	0,5
Рифтова	←	0,3 (не виявилась)
Осстрова	←	0,3 (не виявилась)
Понійська	←	0,5
Сельського	←	0,45
Штормова Глибинна	←	0,65
Шпильова	←	0,45
Прибійна	←	брак даних
Сх.Шмідта	←	0,8
Альбатрос	←	0,55
Комсомольська	виявлені геофіз. дослідж	0,6
Зональна	←	0,8
Північно-голіцінська	←	0,4 на заході 0,65 на сході
Миколаївська	←	0,3
Мартівська	←	брак даних
Західнокрейдяна	←	брак даних
Міжводненська	←	0,05
Прадніпровська	структура виведена з буріння з негативним результатом	брак даних
Флангова	←	0,15
Гамбурцева	←	0,05
Федорівська	←	0,25
Каркініцька	←	0,25 на заході до 0,05 на сході
Десантна	←	0,05
Дельфін	←	0,25

