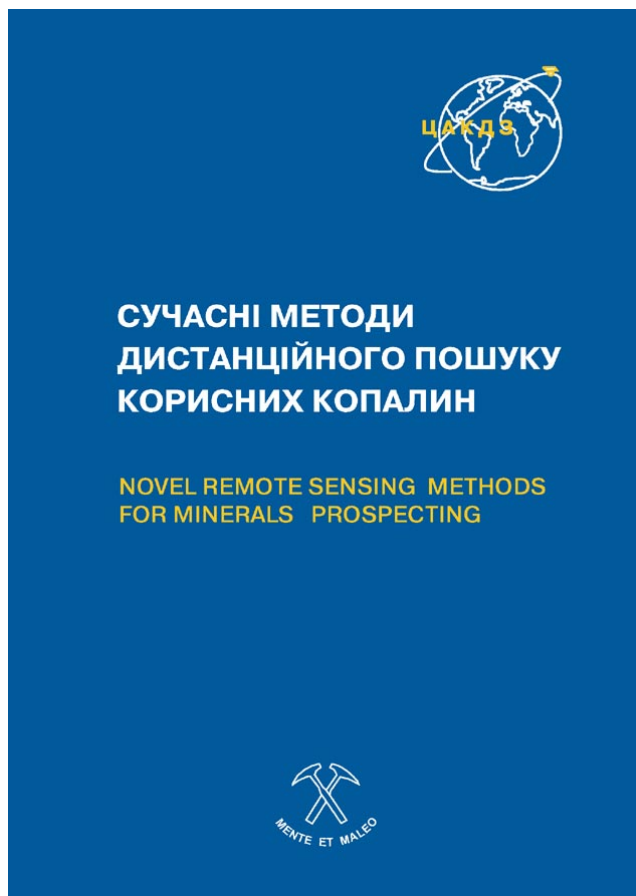




УКРАЇНСЬКИЙ ЖУРНАЛ ДИСТАНЦІЙНОГО ЗОНДУВАННЯ ЗЕМЛІ

ONLINE
ISSN 2313-2132

14' 2017



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

№ 14 • 2017

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. Седлерова / 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. Порушкевич / a.porushkevych@ujrs.org.ua

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

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

ЗМІСТ

Проблеми використання інформації дистанційного дослідження Землі

СУЧАСНА ПЛОЩА ДНІПРОВСЬКИХ ВОДОСХОВИЩ В. І. Вишневецький, С. А. Шевчук, А. Є. Бондар, І. А. Шевченко	4
---	---

ПРОГНОЗНЕ ОЦІНЮВАННЯ ПОТЕНЦІЙНОГО ЗАБРУДНЕННЯ ПІДЗЕМНОЇ ГІДРОСФЕРИ У ЗВ'ЯЗКУ З ВИДОБУТКОМ НЕТРАДИЦІЙНИХ ВУГЛЕВОДНІВ (З ВИКОРИСТАННЯМ ДИСТАНЦІЙНИХ ДАНИХ) В. І. Лялько, О. Т. Азімов, Є. О. Яковлев	12
---	----

Наші вчені у ЗМІ

ИССЛЕДУЯ ЗЕМЛЮ: ПОБЕДЫ И БЕДЫ УКРАИНСКОГО КОСМОСА В. И. Лялько, М. О. Попов	17
--	----

Правила та рекомендації для авторів (ua, ru)	24
---	----

Анонси. Нова монографія Центру

СУЧАСНІ МЕТОДИ ДИСТАНЦІЙНОГО ПОШУКУ КОРИСНИХ КОПАЛИН РОЗДІЛ 2. МЕТОДИ ДИСТАНЦІЙНОГО ПОШУКУ ПОКЛАДІВ ВУГЛЕВОДНІВ Підрозділи 2.4–2.7 (С. 39–64)	28
---	----

УДК 528.854: 556.55

Сучасна площа дніпровських водосховищ

В. І. Вишневський*, С. А. Шевчук, А. Є. Бондар, І. А. Шевченко

Інститут водних ресурсів і меліорації НААН, Київ, Україна

З використанням розробленого алгоритму встановлено сучасну площу дніпровських водосховищ, — майже в усіх випадках вона виявилась істотно меншою, ніж наведено у загальнодоступних джерелах.

Ключові слова: дистанційне зондування Землі, супутник Landsat 8, індекс NDPI, дніпровські водосховища, площа, заростання, вища водна рослинність

© В. І. Вишневський, С. А. Шевчук, А. Є. Бондар, І. А. Шевченко. 2017

Вступ

Дніпровські водосховища — найважливіша складова водогосподарського комплексу України. Значним є їхнє використання в різноманітних сферах: для господарсько-питного і промислового водопостачання, зарегулювання стоку, гідроенергетики, зрошення, рибного господарства, рекреації. Як не дивно, попри таке значення водосховищ, їх параметри у відповідних працях [4–6] і навіть Правилах експлуатації [7] подають такими, як кілька десятиліть тому. Зрозуміло, що нинішні розміри водосховищ стали іншими, ніж раніше. За кілька десятиліть свого існування вони частково замулились і заросли, причому навіть деревною рослинністю. Крім того, деякі ділянки відокремлено для господарських цілей. Так, частину акваторії Каховського водосховища вилучено для водойми-охолоджувача Запорізької АЕС, але й після цього площа водосховища у довідкових джерелах залишилася незмінною. З іншого боку, на багатьох ділянках берег зазнав розмиву — подекуди відступив на 100 м і більше.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Великі розміри дніпровських водосховищ і складності виконання відповідних польових досліджень зумовили те, що розміри водосховищ за всю історію їх існування ніколи не уточнювалися. Цього не сталося і при підготовці Правил експлуатації [7], затверджених у 2002 р. Більше того, у цій праці щодо параметрів водосховищ зроблено кілька очевидних помилок. У зв'язку з цим багатьма фахівцями ще й досі доводиться використовувати фундаментальне видання [5], яке побачило світ у далекому 1976 р.

Із сучасних праць, присвячених розмірам водосховищ, зокрема пов'язаних з використанням дистанційного зондування Землі, потрібно виділити [1,

8–12]. Ці дослідження показали, що верхня частина Київського водосховища (а саме їй приділено найбільшу увагу) істотно зменшилась у розмірах: частково замулилась, частково заросла. В останньому разі згадано й види рослинності, яка вкриває велику акваторію: водяний горіх, латаття біле, глечики жовті. Разом з тим, у згаданих працях не встановлено те, якою стала площа Київського водосховища.

Окремої уваги потребує праця [2], яка побачила світ у 2014 р. За даними супутникового знімка Landsat 7 від 21.08.2000 р. авторами встановлено, що площа Дніпровського водосховища менша за проєкту в півтора рази, Каховського — на 2%. Але, на жаль, авторами не сказано для яких умов отримано результати — для нормального підпірного рівня (НПР) чи рівня, який спостерігався на згадану дату. Крім того, як свідчить сама вибрана дата, авторами проігноровано факт наявності у водосховищах вищої водної рослинності, яка вкриває частину акваторії. Тож отримані результати можна вважати лише наближеними.

Методи досліджень

Орієнтовні розрахунки площі водосховищ можуть бути виконані на основі супутникових знімків і карт з використанням програми SAS.Планета. Насправді цей шлях є недостатньо ефективним. З одного боку, це пов'язано з відсутністю точної дати виконання знімків та великій трудомісткості, коли на акваторії зустрічаються численні острови.

У зв'язку з цим основною інформаційною базою виконаного дослідження стали знімки супутника Landsat 8, який з певною періодичністю виконує знімання дніпровських водосховищ. Роздільна здатність більшості каналів супутника становить 30 м, що з огляду на великі розміри водосховищ цілком достатньо. Важливо, що всі наявні водосховища вміщуються на один, максимум на два знімки. Знімання водосховищ у точно визначений час дає

* E-mail: vishnev.v@gmail.com

змогу, використовуючи дані спостережень на гідрологічних постах, встановлювати рівень води і прив'язати до нього знайдені величини площі.

Космічні знімки, що використовуються, повинні відповідати кільком вимогам: бути високої якості та відповідати умовам невеликого розвитку вищої водної рослинності. Про значимість останнього чинника свідчить, зокрема, порівняння зображень верхів'я Київського водосховища, зроблені 28.08.15 р. (умови значного розвитку рослинності) і 15.10.15 р. (умови її часткового відмирання) (рис. 1).

Як видно на рис. 1, у другому випадку, порівняно з першим, поширення вищої водної рослинності істотно зменшилося. При цьому рівень води у цій частині водосховища за даними трьох постів спостережень (Дніпровське, Чорнобиль і Страхолисея) виявився нижчим на 6 см.

У зв'язку з великою роллю згаданого чинника для опрацювання переважно бралися космічні знімки, зроблені навесні чи глибокої осені. У будь-якому разі виконувалося порівняння отриманих результатів зі знімками кращої роздільної здатності, а, за можливістю, з фактичним виглядом місцевості, куди виконувався виїзд.

Ще один вагомий чинник, який доводилося враховувати, — це можливість похилу водної поверхні у водосховищах за умов значних витрат. Як свідчать відповідні дані, навіть за умов, коли витрати води на

Дніпрі близькі до середніх багаторічних, перепад рівня води за довжиною водосховищ може перевищувати 0.5 м. Так, рівень води у нижньому б'єфі Київської ГЕС завжди вищий, ніж у верхньому б'єфі Канівської. Аналогічне спостерігається й на інших водосховищах. Отже, для уникнення похибок, пов'язаних з визначенням середнього рівня водосховищ, переважно використовувалися зображення, зроблені в умовах межені.

Вочевидь, що сформульовані вимоги істотно обмежували кількість знімків, які можна було використати. У деяких випадках доводилося використовувати лише одиночні знімки.

Розроблений авторами алгоритм досліджень полягав у наступному. З початку досліджуване водосховище обводилося контуром з використанням програми SAS.Планета за якимось високоякісним знімком, який дозволяє відкрити ця програма. У цей спосіб від акваторії водосховищ відсікалась територія, яка до них не належить. Це, зокрема, стосувалося прилеглих до водосховищ захищених масивів і лиманних господарств. Наступний крок — конвертація отриманого файлу у шейп-файл з використанням програми Global.Mapper. Надалі основним засобом виконання досліджень була програма Arc.Мар. З її використанням будувалися зображення, розраховані за індексом NDPI. Цей індекс дає змогу чітко відокремити водну по-



Рис. 1. Зображення зони виклинювання Київського водосховища 28.08.15 р. (ліворуч) і 15.10.15 р. (праворуч)

верхню від іншої. При цьому виконувалася детальна класифікація зображень за всіма наявними у програмі класами (32). Звичайно від'ємні значення індексу відповідають водній поверхні, додатні — суші. Але, як показала практика, можливими є невеликі відхилення — звичайно в межах одного–двох класів. Після відповідної класифікації виконувалося вирізання зображення водосховища по контуру шейп-файлу. За цим детальна класифікація зображення повторювалася — на цей раз у межах шейп-файлу. Після цього виконувалася неконтрольована класифікація зображень. Закінчувався розрахунок встановлення площі, що відповідає водній поверхні.

Висвітлення основних результатів

Київське водосховище. У дослідженнях цього водосховища складним є питання його верхніх меж. Уважний розгляд зони виклинювання водосховища — навіть з використанням високоякісних знімків — не дає змоги однозначно відповісти на питання куди воно простягається. У зв'язку з цим для прийняття відповідного рішення залучалися дані гідрологічних постів, зокрема Дніпровське і Чорнобиль, розташованих у дискусійних місцях. Якщо в меженних умовах рівні води на цих постах практично такі самі як на інших, це дає підстави вважати, що наявні умови відповідають водоймі. Показовими, зокрема, виявилися дані за літньо-осінню межень 2015 р., коли водність Дніпра та Прип'яті були аномально малою. Тоді рівні води на гідрологічних постах Київського водосховища виявилися практично однаковими. Лише на посту Дніпровське вони були на кілька сантиметрів вищими, ніж на інших (табл.).

За цими даними прийнято, що північно-західна межа Київського водосховища проходить біля поста Чорнобиль (координати середини акваторії: 51°16'42" пн. ш. і 30°14'28" сх. д.). На північний схід від цього місця простежується насип дороги, який є певною межею. За північну межу Київського водосховища прийнято нижню околицю с. Дніпровське — дещо нижче гідрологічного поста в цьому селі (координати: 51°20'24" пн. ш. і

30°39'06" сх. д.). За навігаційною картою це місце розташовано за 972.7 км від гирла. Довжина Київського водосховища в цих межах становить 96.0 км.

У будь-якому разі, навіть якщо у встановленні верхніх меж Київського водосховища зроблено помилку на 1–2 км, великої ролі вона не відіграє, адже характерна ширина Дніпра у межень біля с. Дніпровське становить 400 м, Прип'яті біля Чорнобиля — 250 м. За цих умов помилка у площі може становити лише кілька квадратних кілометрів, або менше 1% досліджуваної площі.

У виділених межах акваторія Київського водосховища вміщується на знімках супутника Landsat 8 двох серій: більша його частина — на знімках серії LC8181025, зона виклинювання — на знімках серії LC8181024. Необхідність виконання розрахунків для двох знімків спрощувалася тим, що вони припадають на однакові дати.

При визначенні площі Київського водосховища не бралася до уваги акваторія лиманних господарств, розташованих на його східному березі. Те саме стосується захищеного від затоплення масиву в гирлі р. Ірпінь. Відомо [3], що тут споруджено дамбу, а стік цієї річки перекачується насосною станцією.

Для мінімізації впливу вищої водної рослинності на точність визначення площі використовувалися лише ті знімки, коли її розвиток був мінімальний, а саме навесні і восени. Важливим питанням у цьому дослідженні було й те, наскільки точно вдалося розрізнити водну поверхню від тієї, що закрита гущавиною рослинності, зокрема очеретом звичайним, який на мілководдях займає велику площу. Для цього використано результати дисертаційного дослідження О. В. Томченко [11], в якому наведено дані про розташування ділянок, вкритих не лише згаданим видом, а й іншими.

З наявних знімків верхньої частини водосховища основну увагу приділено тим, що зроблені 15.10.15 і 31.10.15 рр. Як було показано вище, у цей час значна частина вищої водної рослинності відмерла. Середній рівень води цієї частини водосховища 15.10.15 р. за даними трьох постів Дніпровське, Чорнобиль і Страхолисса становив 102.29 м, 31.10.15 р. — 102.42 м. Площа цієї частини виявилася такою: 22.33 км² і 27.46 км². Беручи середнє значення, маємо, що для рівня 102.36 м площа цієї частини водосховища становить 24.90 км².

Аналогічно розраховано площу основної частини водосховища за знімком серії LC8181025 за 15.10.15 р. На жаль, ця частина водосховища на знімку за 31.10.15 р. виявилася захмареною і тому він не використовувався.

Середній рівень води 15.10.15 р. за даними чотирьох постів, розташованих в озерній частині Київського водосховища (Страхолисса, Толокунь, Лебедівка, Вишгород), становив 102.26 м. Площа цієї частини — 674.10 км².

Відносні рівні води (см) на гідрологічних постах, розташованих на Київському водосховищі під час літньо-осінньої межень у вересні–жовтні 2015 р. ("0" дорівнює 100.00 м)

Пост	1.09	10.09	20.09	1.10	10.10	20.10
Дніпровське	234	232	233	230	232	234
Чорнобиль	232	229	229	223	224	235
Страхолисса	236	230	228	226	228	233
Толокунь	232	230	226	226	227	229
Лебедівка	232	229	228	227	226	226
Вишгород	229	232	225	226	226	226

Наступним етапом досліджень є приведення отриманих даних до умов НПР, який становить 103.0 м. Велика відмінність площ окремих частин водосховища визначає, що середній розрахунковий рівень залишається таким, як основної частини — 102.26 м. За даними [5], цьому рівню відповідає проектна площа 782.4 км². Вважаючи, що співвідношення площ зберігається і на близькі рівні води, маємо, що при НПР = 103.0 м площа Київського водосховища становить 823.7 км².

Наведені дані показують, що за роки існування Київського водосховища (з 1965 р.) його площа зменшилася приблизно на 100 км². Щорічне зменшення приблизно становить 2 км².

Наскільки виконані дослідження відповідають дійсним, можна судити за рис. 2, на якій показано верхню частину водосховища. Звичайно, саме тут найскладніше виділити площу, що належить до водної поверхні. На решті акваторії спостерігається чудовий збіг.

Аналогічні дослідження щодо основної частини водосховища виконано для 11.04.17 р. Того дня на Дніпрі та Прип'яті спостерігалися доволі значні витрати води, які спричинили значний перепад рівня у водосховищі — навіть в його озерній частині. Приблизно цей рівень становив 102.44 м. Шукана площа становила 655.96 км². Як видно, для

цієї частини отримано гарне співвідношення результатів.

Хоча основне зменшення площі Київського водосховища відбулося внаслідок його замулення і заростання, екстраполяція площі на майбутнє (наприклад на 2017 чи 2020 рр.) вбачається недоцільною. Це, зокрема, пов'язано з тим, що зміни площі акваторії відбуваються не лише внаслідок замулення і заростання, а й внаслідок інших чинників. Так, частину водосховища відокремлено для риборозведення. Крім того, має бути згаданий розмив берегів, який у часі є істотно різним.

К а н і в с ь к е в о д о с х о в и щ е . Це водосховище, подібно до Київського, має певні особливості. У ньому меншою є площа замулення і заростання, але більшою є кількість масивів (чотири), захищених дамбами. Вочевидь, що при встановленні площі водосховища захищена територія не враховувалась. Не було враховано також площу лиманних господарств, прилеглих до південно-східного берега.

Розрахунки площі виконано на кілька дат, але основну увагу приділено умовам 15.10.2015 і 31.10.15 рр. Як і у випадку з Київським водосховищем, вибір цих дат спричинений істотним зменшенням площі заростання, порівняно з літніми умовами (рис. 3).

Середній добовий рівень води 15.10.15 р. становив: Київ — 91.63 м, Українка — 91.60, Ржищів — 91.54, Переяслав-Хмельницький — 91.47, Канів — 91.46 м. Середній рівень — 91.54 м. Площа водосховища, отримана для цього дня, — 515.99 км².

Аналогічні розрахунки виконано для умов 31.10.15 р. У цьому разі при середньому рівні 91.61 м площа становила 519.41 км².

Отримані результати не лише близькі, а й логічні. При вищому рівні площа виявилася трохи більшою. Найвні дані дають змогу встановити площу водосховища для НПР, що дорівнює 91.5 м.

Для рівня води 91.54 м, який спостерігався 15.10.15 р., площа водосховища відповідно до [7], становить 644.64 км². Приймаючи, що співвідношення фактичної та отриманої площ зберігається і на близькі рівні води, маємо, що для НПР сучасна площа становить 513.88 км². Аналогічно за даними 31.10.15 р., для умов НПР отримано — 513.60 км². Беручи середнє значення, за остаточний результат приймаємо 513.7 км².

Як видно, і в цьому разі площа виявилася істотно меншою за проектну (642 км²). Зробити висновки щодо адекватності зроблених підходів щодо виділення акваторії від решти території можна за рис. 4.

Зауважимо, що у разі використання знімків, зроблених улітку, наприклад за знімком 29.07.16 р., отримана площа стає на кілька відсотків меншою. Це спричинено більшим поширенням вищої водної рослинності, яка закриває собою водну поверхню.

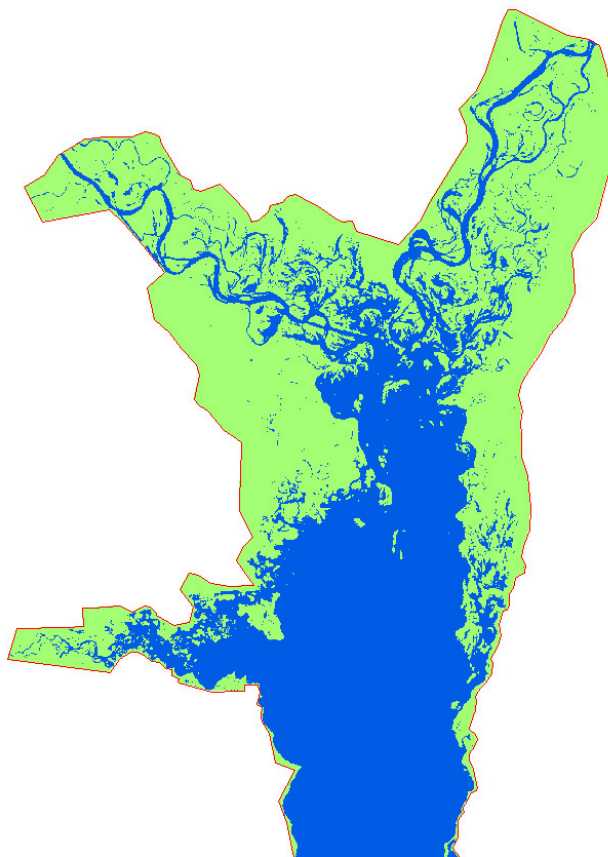


Рис. 2. Акваторія верхньої частини Київського водосховища 15.10.2015 р. (виділено синім)



Рис. 3. Зображення ділянки Канівського водосховища біля м. Українка: а — 28.08.15 р., б — 15.10.15 р.

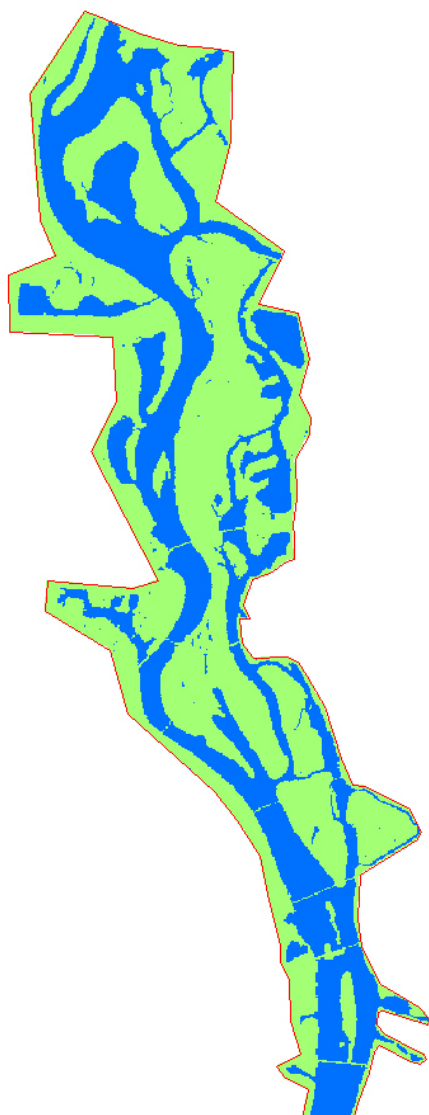


Рис. 4. Акваторія київської ділянки Канівського водосховища 15.10.15 р. (виділено синім)

Кременчуцьке водосховище вважається основним регулятором стоку Дніпра. Це пояснюється великими розмірами водосховища і значними коливаннями рівня води у межах від НПР (81.0 м) до РМО (75.75 м).

Визначення площі цього водосховища ускладнене тим, що його зображення міститься на знімках супутника Landsat 8 двох різних серій, які виконуються в різні дні і відповідно при різних рівнях води. Складним є також виділення акваторії у гирлі р. Сула. Гирлова ділянка цієї річки не лише велика, а й дуже заросла. Отже, для мінімізації впливу рослинності на точність визначення площі водосховища для опрацювання було використано знімки у весняний період: для верхньої частини за 16.03.16 р., пригребельної — за 29.04.17 р. Особливості морфометрії водосховища зумовили необхідність аж трьох окремих розрахунків: для його верхньої частини, гирла Сули та ділянки біля самої Кременчуцької ГЕС.

Площа двох перших ділянок 16.03.16 р. за середнього рівня 80.54 м виявилася такою: 1 852.66 і 33.50 км².

В іншому випадку (27.04.17 р.) на Дніпрі проходило водопілля і це спричинило формування значних відмінностей рівня по довжині водосховища. Проте, на ділянці, прилеглій до Кременчуцької ГЕС, він був практично однаковим і становив 80.37 м. Площа цієї ділянки — 107.50 км².

Середній розрахунковий рівень для сумарної площі 1 993.66 км² становить 80.53 м. За проектними даними, цьому рівню відповідає площа 2 148.1 км². Для умов НПР (81.0 м) сучасна площа становить 2 090.1 км². Це менше за проектну (2 252 км²) на 161.9 км² (рис. 5).

Середньодніпровське (Дніпродзержинське) водосховище. Як і в інших подібних випадках, при визначенні площі цього

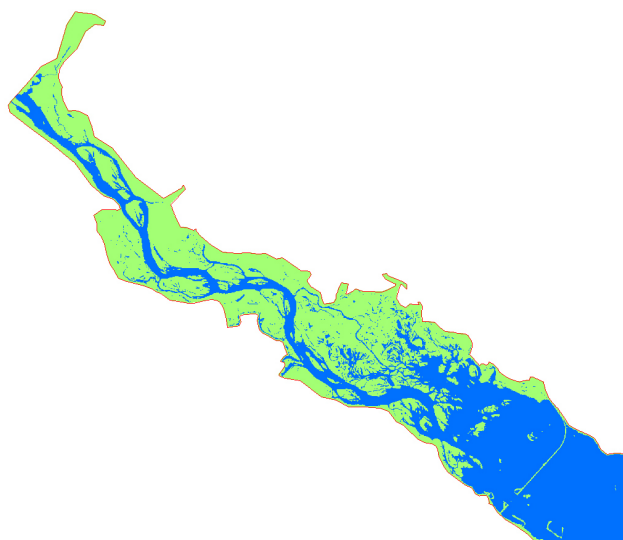


Рис. 5. Акваторія верхньої частини Кременчуцького водосховища (виділено синім)

го водосховища потрібно було спочатку визначити його межі, зокрема в місцях впадіння приток. Вирішено, що межа водосховища у місці, де впадає р. Псел, проходить по нижній околиці с. Потоки, або приблизно за 10 км від гирла цієї річки. Межею водосховища, де в нього впадає р. Ворскла, прийнято створ автодорожнього мосту біля с. Вільховатка. У загальній площі не враховувалася лиманне господарство біля с. Успенка.

Оскільки водосховище не потрапляє на один супутниковий знімок, для розрахунків використано два: для верхньої частини — серії LC8179026, для нижньої — LC8178026. У першому разі використано два зображення за 11.06.15 р. і 29.04.17 р. Для умов 11.06.15 р. і рівня 63.91 м площа становила 481.86 км², для 29.04.17 р. і рівня води 63.93 м — 489.18 км².

Як видно, результати виявилися дуже близькі. Для наступних розрахунків використано дані за 29.04.17 р., як для випадку з меншим розвитком вищої водної рослинності.

Площа акваторії, що прилегла до Середньодніпровської ГЕС, визначена за знімком від 27.04.13 р. За рівня води біля ГЕС 63.84 м площа цієї частини становить 29.82 км². Отже, сумарна площа для середнього розрахункового рівня всього водосховища 63.92 м дорівнює 519.00 км². Для цього ж рівня проектна площа відповідно до [7] становить 559.3 км². За умов НПР (64.0 м) шукана площа дорівнює 526.1 км². І цей результат виявився меншим, ніж зазначено у довідкових джерелах (567 км²) (рис. 6).

Д н і п р о в с ь к е в о д о с х о в и щ е. Особливістю цього водосховища є доволі круті береги. Щоправда, це стосується переважно його нижньої частини. Проблемною для визначення площі є гирлова ділянка р. Самара. Межею водосховища тут прийнято так званий Павлоградський міст, розташований на північний схід від м. Дніпро.

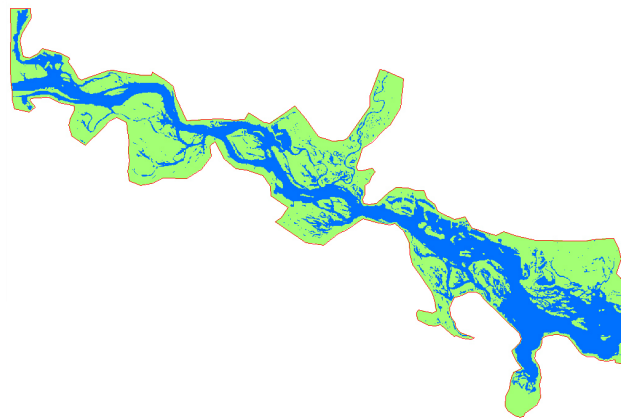


Рис. 6. Акваторія верхньої частини Середньодніпровського водосховища (виділено синім)

Для більшої точності визначення площі, зокрема в гирлі Самари, було використано знімки, зроблені навесні, коли вища водна рослинність ще не встигла розвинути і закрити собою акваторію. Для верхньої частини водосховища використано знімок серії LC8178026 за 27.04.13 р., для нижньої — серії LC8177027 за 25.03.15 р. Отримана площа становить відповідно 108.57 і 187.96 км², сумарна — 296.53 км². Про те, як відповідає отримане зображення акваторії фактичній, можна судити за рис. 7.

У першому випадку рівень води у м. Дніпро становив 51.49 м, у другому (за даними трьох постів у нижній частині водосховища) — 51.29 м. Середній розрахунковий рівень всієї акваторії — 51.36 м. Це лише на 4 см нижче НПР. За даними [7], при зазначеному рівні площа становить 405.2 км². Це дає змогу отримати шукану площу для НПР — 300.0 км². Як видно, фактична площа є меншою, ніж наведена в довідкових джерелах на 110 км², або на чверть.

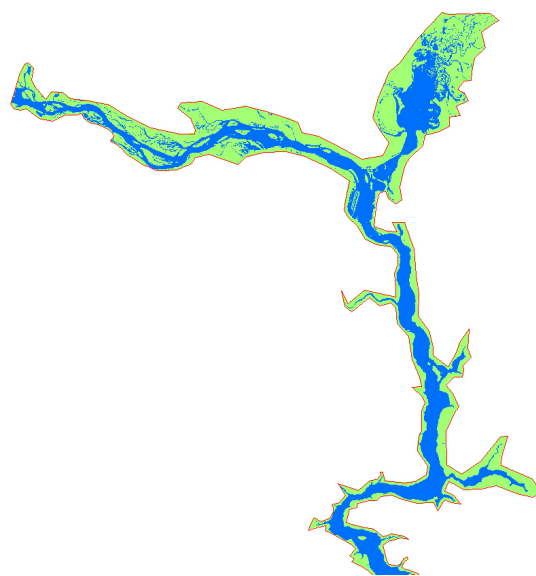


Рис. 7. Акваторія верхньої частини Дніпровського водосховища (виділено синім)

Зазначимо, що близькі параметри Дніпровського водосховища отримано й іншими авторами. Так, у статті [2] наведено результати двох окремих досліджень, відповідно до яких площа акваторії становить 272.54 і 297.69 км². Щодо першого значення, то, як уже зазначалося, воно вбачається недостатньо точним.

Каховське водосховище. Це водосховище, як і сусіднє Дніпровське, має доволі круті береги на більшій частині їх загальної довжини. Частина берегів являє собою дамби, верховий укіс який закріплено бетоном чи каменем. Як наслідок, площа вищої водної рослинності на водосховищі порівняно невелика. Ще однією особливістю водосховища є те, що водна поверхня у ньому істотно не залежить від витрат води — певною мірою внаслідок зарегулювання стоку в розташованих вище водосховищах. Водночас на рівні води впливають згінно-нагінні, а інколи й сейшеві явища. У зв'язку з цим при визначенні середнього рівня води доцільно використовувати дані по всіх наявних постах спостережень.

З доволі великої кількості знімків Каховського водосховища найбільшу увагу приділено кільком. Так, 16.03.15 р. за середнього рівня на всіх восьми постах 15.74 м площа виявилася такою — 2 119.95 км².

Гарну якість має також знімок, зроблений 22.06.16 р. Середній рівень цього дня становив 16.03 м, шукана площа — 2 114.20 км².

Хоча отримані значення дуже близькі, можна звернути увагу на те, що у другому випадку за вищого рівня води площа виявилася трохи меншою. Основним чинником цього є більший розвиток вищої водної рослинності. У зв'язку з цим ближчим до істинного авторам вбачається перша знайдена величина — 2 119.95 км² (рис. 8).

Оскільки морфометричні характеристики Каховського водосховища у Правилах експлуатації [7] наведено з помилками, для порівняння знайденої площі з проектною використано відомості, наведені в [3, 5]. Для рівня води 15.74 м проектна площа становить 2 143.6 км². За цими даними, сучасна площа Каховського водосховища за умов НПР (16.0 м) становить 2 131.2 км², що майже відповідає проектній (2 155 км²) — відмінність становить близько 1%.

Можна висловити думку про те, що гарна відповідність знайдених і проектних даних зумовлена близькістю за масштабами процесів, які спричинюють збільшення і зменшення площі акваторії. У першому разі йдеться про хвильову абразію берегів, у другому — відокремлення окремих ділянок водосховища, а також його замулення і заростання.

Близькі результати щодо площі Каховського водосховища отримано авторами дослідження [2] — 2 117.35 км².

Висновки

Супутникові знімки та наявні програмні продукти дають змогу встановити сучасну площу дніпровських водосховищ — та ще й з великою точністю. З цією метою доцільно використовувати знімки супутника Landsat 8, на яких окремі водосховища вміщуються на один, максимум на два знімки. Знімки, що використовуються, повинні бути не лише високої якості (не замарені), а й відповідати умовам невеликого розвитку вищої водної рослинності, яка поширена на значній частині акваторії. Для виділення водної поверхні від якоїсь іншої доцільно використовувати індекс NDPI. Обов'язковою вимогою до цих досліджень є врахування рівня води у водосховищах.

Сучасна площа водосховищ Дніпровського каскаду для умов НПР є такою: Київське — 823.7 км²,

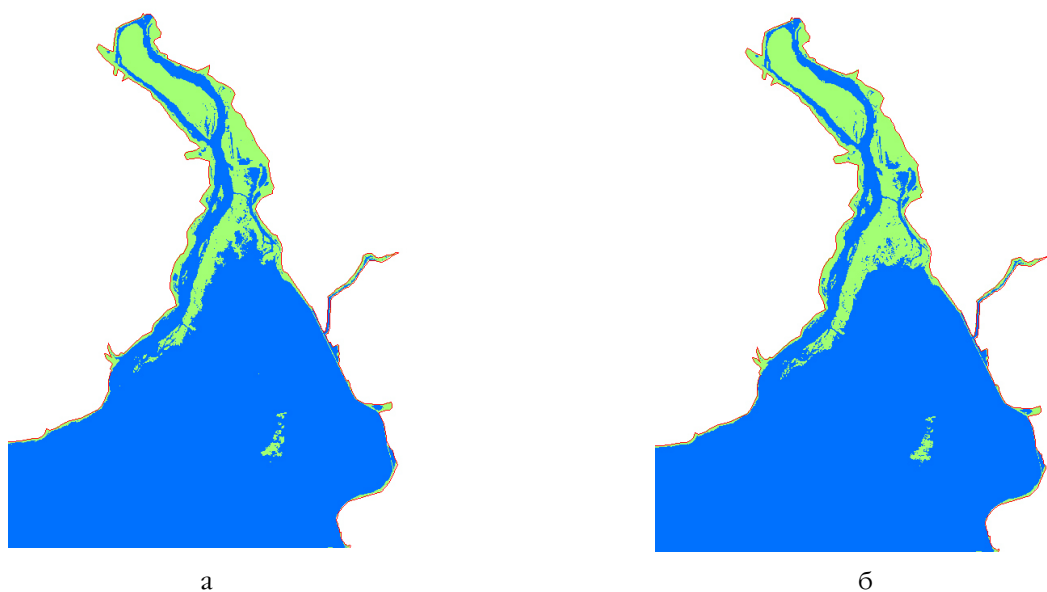


Рис. 8. Зона виклинювання Каховського водосховища: а — 16.03.15, б — 22.06.16.

Канівське — 513.7, Кременчуцьке — 2 090.1, Середньодніпровське — 526.1, Дніпровське — 300.0, Каховське — 2 131.2 км². Практично в усіх випадках ця площа виявилася істотно меншою за проектну. Винятком є лише Каховське водосховище, розміри якого залишилися практично незмінними.

Література

1. Бабин А. Ю. Дослідження зміни площі Київського водосховища за даними ДЗЗ / А. Ю. Бабин // Часопис картографії. — 2014. — Вип. 10. — С. 71–80.
2. Визначення актуальних екологічних параметрів дніпровських водосховищ за допомогою геоінформаційних технологій / А. Г. Шапар, О. О. Скрипник, О. С. Тараненко, Д. Д. Дубовик // Екологія і природокористування. — 2014. — Вип. 18. — С. 139–140.
3. Вишневецький В. І. Ріка Дніпро / В. І. Вишневецький // — К.: Інтерпрес ЛТД, 2011. — 384 с.
4. Водний фонд України: Штучні водойми — водосховища і ставки: Довідник / За ред. В. К. Хільчевського, В. В. Гребеня. — К.: Інтерпрес, 2014. — 164 с.
5. Каскад днепровських водохранилищ / Под ред. М. С. Каганера. — Л.: Гидрометеиздат, 1976. — 348 с.
6. Паламарчук М. М. Водний фонд України: довідковий посібник / М. М. Паламарчук, Н. Б. Закорчевна // — К.: Ніка-Центр, 2001. — 392 с.
7. Правила експлуатації водосховищ Дніпровського каскаду / А. В. Яцик, А. І. Томільцева, М. В. Яцик [та ін.]. — К.: Генеза, 2003. — 176 с.
8. Стародубцев В. М. Формування дельтових ландшафтів у верхніх водосховищах дніпровського каскаду / В. М. Стародубцев, В. А. Богданець, О. В. Томченко та ін. // Наукові доповіді НУБіП. — 2010. — № 5. — С. 15–27.
9. Стародубцев В. М. Формування Прип'ятсько-Дніпровської дельти у Київському водосховищі / В. М. Стародубцев // Географія, економіка, екологія, туризм. Регіональні студії. — 2011. — Вип. 5. — С. 214–221.
10. Томченко О. В. Аналіз динаміки заростання макрофітами верхів'я Київського водосховища на основі ГС/ДЗЗ-технологій / О. В. Томченко // Ученые записки Таврического национального университета имени В. И. Вернадского. Серия: География. — 2013. — Т. 26, № 1. — С. 156–164.
11. Томченко О. В. Обґрунтування методів системного аналізу стану водно-болотних угідь з використанням даних дистанційного зондування Землі і наземних спостережень (на прикладі верхів'я Київського водосховища): дис. ... канд. техн. наук 05.07.12 / Томченко Ольга Володимирівна. — К., 2015. — 159 с.
12. Шевчук С. А. Використання дистанційного зондування Землі для встановлення екологічного стану дніпровських водосховищ / С. А. Шевчук, В. І. Вишневецький, І. А. Шевченко // Праці Центральної геофізичної обсерваторії. — 2014. — Вип. 10 (24). — С. 72–78.

СОВРЕМЕННАЯ ПЛОЩАДЬ ДНЕПРОВСКИХ ВОДОХРАНИЛИЩ

В. И. Вишневецкий, С. А. Шевчук, А. Е. Бондар, И. А. Шевченко

С использованием разработанного алгоритма установлена современная площадь днепровских водохранилищ, — почти во всех случаях она существенно меньше, чем указано в общедоступных источниках.

Ключевые слова: дистанционное зондирование Земли, спутник Landsat 8, индекс NDPI, днепровские водохранилища, площадь, зарастание, высшая водная растительность

THE PRESENT AREA OF THE DNIPROVSKY RESERVOIRS

V. I. Vyshnevskyi, S. A. Shevchuk, A. E. Bondar, I. A. Shevchenko

Having used the developed algorithm, a modern area of the Dnipro reservoirs has been established. The obtained area almost in all cases occurred much less than indicated in the reference sources.

Key words: remote sensing, Landsat 8 satellite, NDPI index, Dnipro reservoirs, area, overgrowth, higher aquatic vegetation

УДК 528.88:(556.388:622.323)

Прогнозне оцінювання потенційного забруднення підземної гідросфери у зв'язку з видобутком нетрадиційних вуглеводнів (з використанням дистанційних даних)

В. І. Лялько¹, О. Т. Азімов^{1*}, Є. О. Яковлев²¹ДУ "Науковий центр аерокосмічних досліджень Землі ІГН НАН України", Київ, Україна²Інститут телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України, Київ, Україна

У статті розглянута актуальність застосування сучасних аерокосмічних і гідрогеологічних методів у процесі вирішення завдань екологічної безпеки гідросфери при видобутку в Україні нетрадиційних вуглеводнів, зокрема, сланцевого газу (СГ). Наведені приклади пілотного впровадження цих методів у межах прилеглої до Юзівської ліцензійної ділянки Біляївської площі Дніпровсько-Донецької западини як найбільшого в Україні артезіанського басейну. На підставі урахування гідрогеофільтраційних параметрів багатошарової системи (водоносні горизонти, недосконалі й досконалі регіональні водотриви) виконано орієнтовну експертну оцінку часових показників площової висхідної міграції забруднень з фрекінг-зони (ФЗ) у процесі потенційного видобутку СГ до ґрунтового водоносного горизонту — ГрВГ (на прикладі району свердловини 400-Біляївська). Встановлено, що в залежності від можливої мінливості значень проникності порід суцільного породного масиву (подвійної проникності) час досягнення з дифузійно-конвективною міграцією забруднень з ФЗ до рівня ГрВГ становитиме 170±70 років. Враховуючи балансове співвідношення об'єму води для розчинення забруднень до безпечних концентрацій з об'ємом порових розчинів, які залягають вище ФЗ, зроблено висновок, що залишки технологічних розчинів у ФЗ в окремих випадках здатні до довгострокового забруднення підземних вод зони уповільненого водообміну та зони активного водообміну.

Ключові слова: нетрадиційні вуглеводні, сланцевий газ, фрекінг-зони, висхідна міграція, підземні води, технологічні забруднення, матеріали дистанційного зондування Землі

© В. І. Лялько, О. Т. Азімов, Є. О. Яковлев. 2017

Актуальність проблематики

Україна зацікавлена в одержанні нових енергетичних джерел на своїй території, оскільки широке використання занадто дорогих імпортованих вуглеводнів (ВВ), зокрема, природного газу, не дозволяє як підвищити загальний добробут населення, так і створити конкурентно спроможну експортну складову економіки держави. Тому слід підтримувати ті кроки владних структур, які спрямовані на енергозабезпечення та пошуки альтернативних джерел енергії.

У цьому плані слід розглядати і перспективи видобутку в Україні нетрадиційних (або неконвекційних) ВВ, до яких належить і сланцевий газ (СГ), не переносючи дискусії в політичну площину. Проте необхідно враховувати можливі екологічні ризики при закачуванні в надра технологічних розчинів гідророзриву гірських порід. Видобуток нетрадиційних типів ВВ пов'язаний з техногенним створенням у стиснутих газо- та нафтоводонасичених шарах, які залягають на глибинах порядку 2.5–4.5 км, просторово розвинутих зон високопроникної тріщинуватості. Для цього використовується

фрекінг-процес (ФП), який відрізняється від традиційного гідророзриву пластів високоенергетичним гідрогеомеханічним впливом на слабопроникні газо- та нафтоводонасичені шари шляхом нагнітання у горизонтальні (довжиною до 1.0–1.5 км і більше) або нахилені свердловини суміші з води (96–97%), піску (1.5–2%), хімічно- та поверхнево-активних речовин.

Аналіз технологічних параметрів ФП (тиски, динаміка пружно-пластичних деформацій фрекінг-зони — ФЗ, тріщиноутворення тощо) свідчить, що до однієї з основних еколого-техногенних загроз та геолого-економічних ризиків промислової розробки родовищ СГ в нафтогазоносних структурах України, порівняно з традиційними газовими родовищами, належить небезпека довгострокового забруднення підземної гідросфери, зокрема, стратегічно важливих горизонтів прісних вод питної якості та родовищ лікувальних мінеральних ресурсів унаслідок формування при використанні ФП деформацій регіональних водотривів, техногенних тріщинно-проникних зон з великою кількістю (тис.м³) токсичних технологічних сполук, радону та природних радіонуклідів, які здатні до міграції в підземні та поверхневі джерела питно-господарського водопостачання.

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

Загалом у процесі техногенної еволюції гідрогеофільтраційної системи ФЗ можна виділити три фази [1, 7, 9, 10 та ін.]:

1) просторовий розвиток уздовж стовбура горизонтальної або нахиленої свердловини за умови пружно-пластичних деформацій мережі проникних тріщин, відкритість яких фіксується піщаним матеріалом при одночасному заповненні токсичним технологічним розчином; у процесі розвитку фрекінг-тріщинуватості існує ризик руйнівних деформацій вищезалягаючих слабопроникних шарів та периферійного розвитку гідравліко-фільтраційного зв'язку ФЗ з проникними тектонічними зонами; останнє є основою формування інжекційного висхідного потоку токсичних технологічних забруднень до прісноводних горизонтів зони активного водообміну (ЗАВ);

2) площова висхідна гідрогеоміграція у вигляді повільного дифузійно-конвективного потоку залишків маломінералізованих технологічних розчинів під впливом реологічного скорочення тріщинного простору ФЗ та їх зменшеної густини ($\gamma_{\text{тв}} = 1\,000\text{ кг/м}^3$) порівняно з мінералізованими ($M = 300\text{--}400\text{ кг/м}^3$) поровими розчинами ($\gamma_{\text{пв}} = 1\,200\text{ кг/м}^3$); екологічно небезпечною складо-

вою цієї фази розвитку ФЗ можна вважати поступове забруднення порових розчинів вищезалягаючих горизонтів зони уповільненого водообміну (ЗУВ) та ЗАВ;

3) розвиток у ФЗ гідрогеодеформаційного поля пружних напружень з накопиченням потенційної енергії та ризиком деформацій денної поверхні або проявів техногенних мікрофокусних землетрусів.

Стосовно особливостей першої фази нами встановлено [1, 7, 10 та ін.], що в залежності від можливої мінливості значень активної пористості тектонічної зони, наявності якої в районі розташованої поряд з Юзівською ліцензійною ділянкою Дніпровсько-Донецької западини свердловини 400-Біліївська прогнозується за даними дешифрування матеріалів дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) (рис. 1, 2), час досягнення з міграцією забруднень з ФЗ рівня ґрунтового водоносного горизонту (ГрВГ) становитиме 50 ± 5 років.

Методологія дослідження

Орієнтовний час площової висхідної міграції технологічних забруднень ФЗ крізь суцільний породний масив (друга фаза) оцінюється виходячи з та-

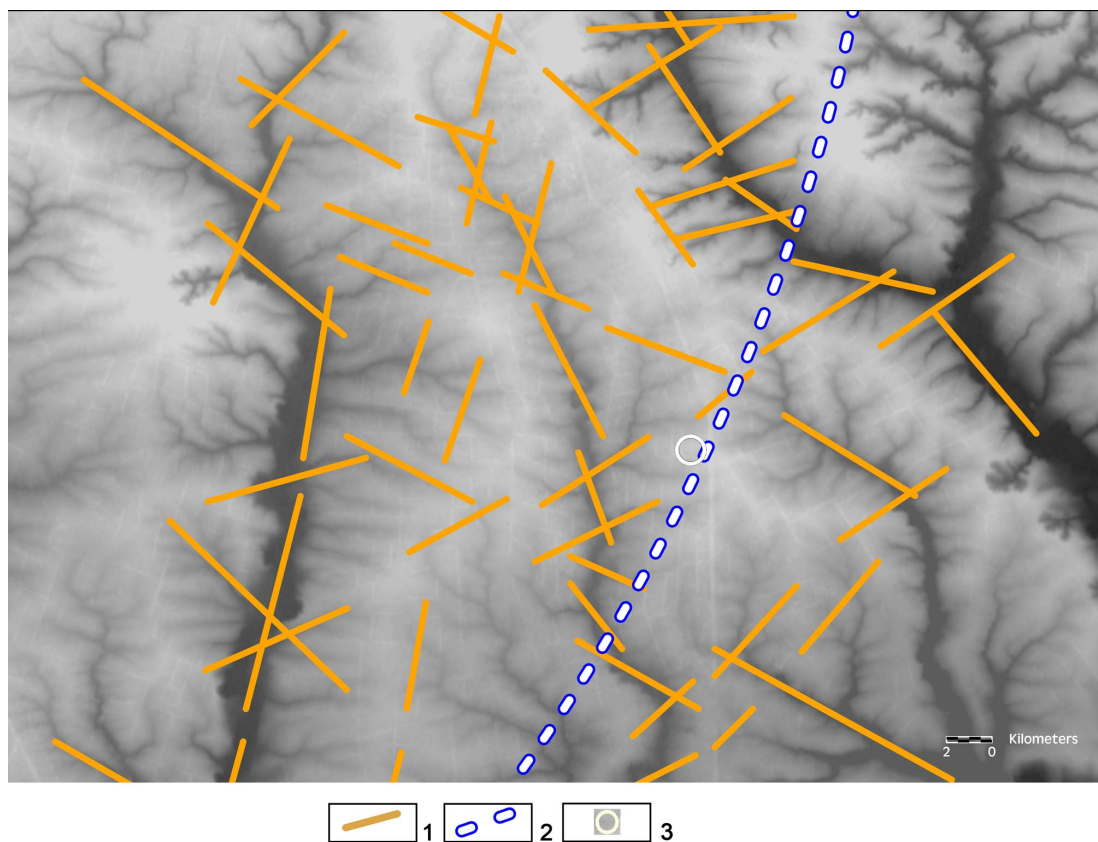


Рис 1. Фрагмент картосхеми результатів регіонального структурного дешифрування комп'ютерно перетвореного сканерного SRTM-зображення, отриманого з космічного апарата Shuttle у лютому 2000 р.: 1 — основні лінеamenti, що відображають розломно-блоковий каркас кристалічного фундаменту та осадового чохла; 2 — контур мезоморфоструктури, віддешифрованої на космічних зображеннях високого рівня генералізації, яка ймовірно відображає пов'язану з підкоровим магматизмом структуру; 3 — місцеположення свердловини 400-Біліївська

кої умови. А саме: рушійним фактором висхідної гідрогеоміграції у цьому випадку є різниця густини прісноводного або мало/слабомінералізованого технологічного розчину ($\gamma_{nv} = 1\,000\text{ кг/м}^3$) та мінералізованих порових розчинів газовмісних порід ($\gamma_{mv} = 1\,200\text{ кг/м}^3$).

При глибині фрекінг-зони $Z_{fz} = 3000\text{ м}$ і лінійному зниженні різниці густини в інтервалі “зона фрекінгу-грунтового водоносного горизонту” середнє значення градієнта висхідної фільтрації (i_{ϕ}) складе [9]:

$$i_{\phi} = \frac{(\gamma_{mv} - \gamma_{nv}) Z_{fz}}{2 Z_{fz} \cdot \gamma_{nv}} = \frac{(1200 - 1000) \cdot 3000}{2 \cdot 3000 \cdot 1000} = 0,1 \quad (1)$$

За формулою Дарсі час висхідної фільтрації у суцільному породному масиві (t_{nm}) вираховується як:

$$t_{nm} = \frac{Z_{fz}}{\left[\frac{(k_{nm} \cdot i_{\phi})}{n_{nm}} \right]} \quad (2)$$

де k_{nm} — середня проникність суцільного породного масиву від ФЗ до ГрВГ; n_{nm} — активна пористість суцільного породного масиву (за даними лабораторних досліджень та математичного моделювання глибоких горизонтів ЗУВ, зокрема полігонів захоронення токсичних стоків [7, 8 та ін.], $n_{nm} = 10^{-3}$).

За формулою Тіма-Каменського:

$$k_{nm} = \frac{Z_{fz}}{\left[\frac{m_{np}}{k_{np}} + \frac{m_0}{k_0} \right]} \quad (3)$$

де m_{np} — товщина проникних шарів, $m_{np} \approx 500,0\text{ м}$; k_{np} — середній коефіцієнт фільтрації проникних шарів, за даними Д. Р. Литвака [6] $k_{np} = 2,0\text{ м/добу}$; m_0 , k_0 — відповідно, середні значення товщини і коефіцієнтів фільтрації слабопроникних (розділюючих) шарів (так званих регіональних водотривів). Середня товщина слабопроникних верств становить:

$$m_0 = (Z_{fz} - m_{np}) = (3000 - 500) = 2500\text{ м}. \quad (4)$$

За даними О. Б. Климчука [3, 4] щодо проникності карстово-провідних систем $k_0 = (2 \div 5) \cdot 10^5\text{ м/добу}$.

Використавши ці параметри, вирахуємо що

$$k_{nm} \approx \frac{3000}{\left[\left(\frac{500}{2} \right) + \left(\frac{2500}{(2 \div 5) \cdot 10^5} \right) \right]} = 24 \cdot 10^{-5} \div 60 \cdot 10^{-5}\text{ м/добу}, \quad (5)$$

а орієнтовний час висхідної (дифузійно-конвективної) міграції технологічних забруднень крізь суцільний породний масив становитиме:

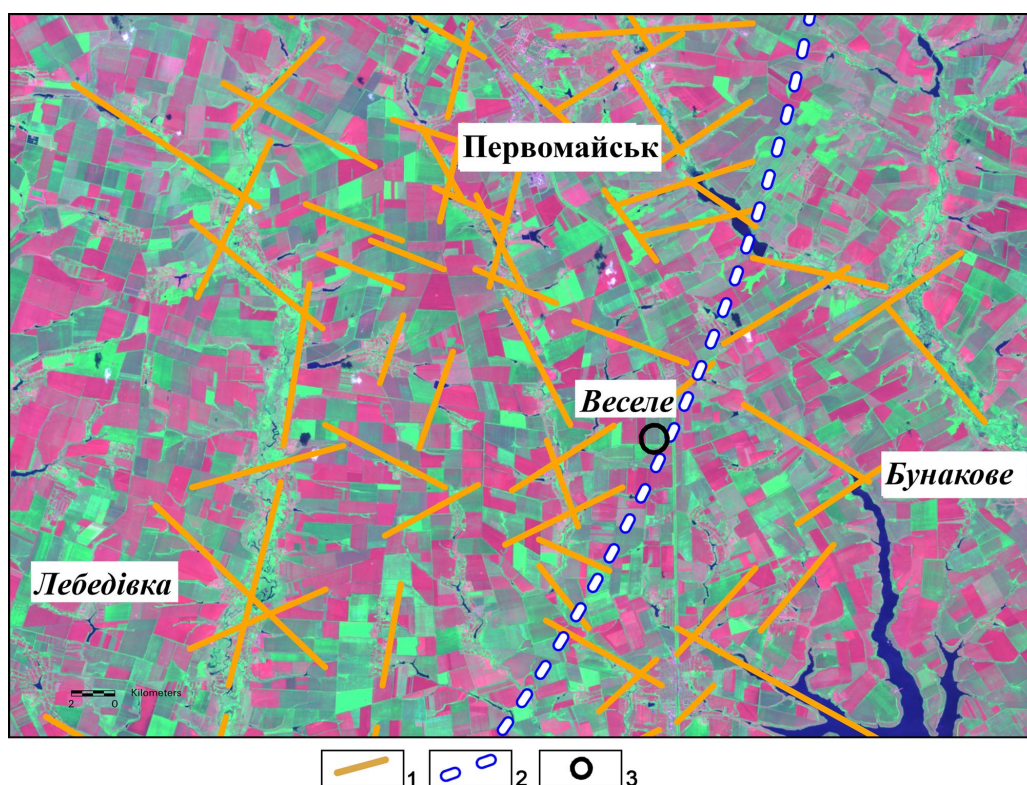


Рис 2. Фрагмент картосхеми результатів регіонального структурного дешифрування радіолокаційних даних ДЗЗ на фоні синтезованого сканерного багатозонального космічного знімка LANDSAT ETM+ з супутника LANDSAT-7 від 01.06.2002 р. (7-й, середній інфрачервоний (2) [2,09–2,35 мкм], 4-й, ближній інфрачервоний [0,75–0,90 мкм], і 2-й, зелений [0,525–0,605 мкм], канали), псевдокольори: 1, 2 — див. рис. 1; 3 — місцеположення свердловини 400-Біляївська

$$t_{\text{нм}} = \frac{3000}{\left[\left(2.4 \cdot 10^{-5} \div 6.0 \cdot 10^{-5} \right) \cdot 10^{-1} \right]} = \frac{3000}{10^{-3}} = 2500 \div 63000 \text{ дб} \approx 70 \div 170 \text{ років.} \quad (6)$$

Необхідно взяти до уваги, що в умовах геологічного середовища існує можливість значного зниження концентрації забруднень за рахунок впливу сорбції та регіонального руху підземного потоку в системі горизонтів ЗАВ.

Отримані оцінки швидкості висхідної міграції технологічних забруднень по проникних тектонічних зонах [1, 6, 10 та ін.] — від перших до десятків років, та крізь суцільний породний масив (від десятків до сотень років), враховуючи прискорення висхідних потоків унаслідок утворення у зоні фрекінгу газиво-водної емульсії, в'язкість якої у десятки разів менша, є орієнтовними. Тому прискорений висхідний рух із ФЗ вуглеводневих газів є фактором, який здатний призвести до зміни структури газогеохімічного поля у верхній зоні геологічного середовища, насамперед унаслідок прискореної міграції газів по тектонічних і послаблених (так званих лінеаментних) зонах, які активізовані на неотектонічному етапі розвитку земної кори і добре виділяються на даних ДЗЗ. Таким чином, виявлення на початковій фазі проведення ФП зміни фонові структури газогеохімічного поля є ознакою порушення гідрогеофільтраційної ізоляваності ФЗ, а також ознакою небезпеки забруднення горизонтів прісних підземних вод і поверхневих водних об'єктів.

Ризик геопросторового забруднення підземної гідросфери на площах видобутку СГ уявляється доцільним додатково оцінити за консервативною балансовою схемою співвідношення об'єму води для розчинення забруднень $Q_{\text{бр}}$ до безпечних, або гранично допустимих концентрацій (ГДК) $C_{\text{ГДК}}$ з об'ємом порових розчинів $V_{\text{пр}}$, які залягають вище ФЗ:

$$Q_{\text{бр}} = \frac{V_{\text{бр}}}{C_{\text{ГДК}}} \leq V_{\text{нм}} \cdot n_{\text{нм}} = V_{\text{пр}}, \quad (7)$$

де $V_{\text{бр}}$, $V_{\text{нм}}$ — відповідно, питомі об'єми залишкових токсичних розчинів у ФЗ та питомі об'єми порових вод у перекриваючому ФЗ породному масиві, за даними [2, 5] $V_{\text{бр}} \approx 400 \text{ м}^3/\text{км}^2$; $n_{\text{нм}}$ — загальна пористість порід вище ФЗ, за даними Д. Р. Литвака [7] $n_{\text{нм}} = 0.2$; у більшості випадків $C_{\text{ГДК}} \approx 0.1 - 1.0 \text{ мг/дм}^3$ (відносна доля $10^{-7} - 10^{-6}$).

При глибині ФЗ $Z_{\text{ФЗ}} = 3000 \text{ м}$ $V_{\text{нм}} = 3.0 \cdot 10^9 \text{ м}^3/\text{км}^2$.

З результату вирішення вищенаведеної балансової залежності слідує, що

$$Q_{\text{бр}} = \frac{400}{(10^{-7} \div 10^{-6})} = 4.0 \cdot 10^8 \div 4.0 \cdot 10^9 \text{ м}, \quad (8)$$

а об'єм порових вод вище ФЗ

$$V_{\text{нм}} \cdot n_{\text{нм}} = 3.0 \cdot 10^9 \cdot 0.2 = 6.0 \cdot 10^8 \text{ м}^3. \quad (9)$$

З метою визначення площ ділянок, які мають мінімальний ризик забруднення підземних і поверхневих вод при використанні технології фрекінга, нами була виконана геопросторова оцінка співвідношення площ оптимальних кластерів видобувних свердловин на неконвекційний газ та питомої щільності лінеаментів за даними ДЗЗ. Отримані результати засвідчили, що екологічно безпечні ділянки з видобутку неконвекційного газу в межах Юзівської ділянки складають 60–65%.

Висновок

Отже, залишки технологічних розчинів у фрекінг-зонах у процесі видобутку нетрадиційних вуглеводнів в окремих випадках здатні до довгострокового забруднення підземних вод зони уповільненого водообміну та зони активного водообміну.

Одержані дані дозволяють дійти висновку про доцільність випереджаючого районування територій пошуково-розвідувальних робіт на нетрадиційні вуглеводні за геодинамічною стійкістю на основі комплексного аналізу матеріалів дистанційного зондування Землі та наземної газогеохімічної зйомки.

Література

1. Азімов О. Т. Оцінка ризику утворення гідравліко-фільтраційного зв'язку між геоструктурами у процесі видобування вуглеводнів з ущільнених колекторів на підставі комплексування аерокосмічних і гідрогеологічних даних / О. Т. Азімов, В. І. Лялько, Є. О. Яковлев // Матеріали наук.-практ. конф. "Питання пошуків, розвідки та екологічних аспектів видобування вуглеводнів з ущільнених колекторів, газосланцевих товщ та вуглевміщуючих пластів" (м. Київ, 3–4 черв. 2015 р.). — К.: ТОВ "Полярон", 2015. — С. 19–21.
2. Геолого-екологічні дослідження (ГЕД-50) Зміївсько-Балаклійської промислової зони Харківської області: Звіт по роботах 1993–2002 рр. / [відп. виконавець В. В. Яковлев] / Харківська комплексна геологічна партія КП "Південукргеологія". — Харків, 2002. — 96 с.
3. Климчук А. Б. Гипогенный спелеогенез, его гидрогеологическое значение и роль в эволюции карста / А. Б. Климчук. — Симферополь: ДИАИПИ, 2013. — 180 с.
4. Климчук О. Б. Гипогенный спелеогенез, його гидрогеологічне значення та роль у еволюції карсту: Автореф. дис. ... д-ра геол. наук: 04.00.06 "Гідрогеологія" / О. Б. Климчук / ІГН НАН України. — К., 2013. — 46 с.
5. Кобранова В. Н. Петрофизика / В. Н. Кобранова. — М.: Недра, 1986. — 392 с.
6. Лялько В. І. Комплексування дистанційних і гідрогеологічних даних для оцінки ризику утворення гідравліко-фільтраційного зв'язку між геоструктурами у процесі видобутку сланцевого газу [Електронний ресурс] / В. І. Лялько, О. Т. Азімов, Є. О. Яковлев // Український журнал дистанційного зондування Землі. — 2014. — № 2. —

- С. 38–40. — Режим доступу: <http://www.ujrs.org.ua/ujrs/article/view/20/41>. — Назва з екрану.
7. О перспективной оценке эксплуатационных запасов подземных вод по Днепровско-Донецкому артезианскому бассейну (в пределах УССР): Отчет о НИР / Мин-гео УССР, Киев. Геологоразвед. трест, рук. Л. С. Крыжановский, соисполнители Д. Р. Литвак [и др.]. — Киев, 1977. — 606 с.
 8. Шестопалов В. М. Водообмен в гидрогеологических структурах Украины. Водообмен в гидрогеологических структурах и Чернобыльская катастрофа: в 2 кн. / В. М. Шестопалов, В. И. Лялько, А. Б. Ситников [и др.] / Отв. ред. В. М. Шестопалов. — Киев: ИГН НАН Украины, НИЦ РПИ НАН Украины, 2001. — 635 с.
 9. Azimov O. [2016] Estimation of the areal upward hydro-geomigration and risks of underground water polluting in the process of unconventional hydrocarbons extraction [Електронний ресурс] / O. Azimov, Y. Dorofey, V. Lyalko, Y. Yakovlev // Archives / EAGE. — Режим доступу: <http://www.earthdoc.org/publication/publicationdetails/?publication=84611>. — Назва з екрану.
 10. Lyalko V. I. [2015] Estimation the upward migration of pollutions during the shale gas production subject to the results of space images decoding [Електронний ресурс] / V. I. Lyalko, O. T. Azimov, Ye. O. Yakovlev // Archives / EAGE. — Режим доступу: <http://www.earthdoc.org/publication/publicationdetails/?publication=80217>. — Назва з екрану.

ПРОГНОЗНОЕ ОЦЕНИВАНИЕ ПОТЕНЦИАЛЬНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОДЗЕМНОЙ ГИДРОСФЕРЫ В СВЯЗИ С ДОБЫЧЕЙ НЕТРАДИЦИОННЫХ УГЛЕВОДОРОДОВ (С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДИСТАНЦИОННЫХ ДАННЫХ)

В. И. Лялько, А. Т. Азимов, Е. А. Яковлев

В статье рассмотрена актуальность применения современных аэрокосмических и гидрогеологических методов в процессе решения задач экологической безопасности гидросферы при добыче в Украине нетрадиционных углеводородов, в частности, сланцевого газа (СГ). Приведены примеры пилотного внедрения этих методов в пределах примыкающей к Юзовскому лицензионному участку Беляевской площади Днепровско-Донецкой впадины как наибольшего в Украине артезианского бассейна. На основе учета гидрогеофильтрационных параметров многослойной системы (водоносные горизонты, недоскональные и доскональные региональные водоупоры) выполнена ориентировочная экспертная оценка временных показателей площадной восходящей миграции загрязнений из фрекинг-зоны (ФЗ) в процессе потенциальной добычи СГ к грунтовому водоносному горизонту — ГрВГ (на примере района скважины 400-Беляевская). Установлено, что в зависимости от возможной изменчивости значений проницаемости пород сплошного породного массива (удвоенной проницаемости) время достижения с диффузионно-конвективной миграцией загрязнений из ФЗ до уровня ГрВГ будет составлять 170 ± 70 лет. Учитывая балансовое соотношение объема воды для растворения загрязнений до безопасных концентраций с объемом поровых растворов, которые залегают выше ФЗ, сделан вывод, что остатки технологических растворов в ФЗ в отдельных случаях способны к долгосрочному загрязнению подземных вод зоны замедленного водообмена и зоны активного водообмена.

Ключевые слова: нетрадиционные углеводороды, сланцевый газ, фрекинг-зоны, восходящая миграция, подземные воды, технологические загрязнения, материалы дистанционного зондирования Земли

PREDICTIVE ASSESSMENT FOR THE POTENTIAL POLLUTION OF UNDERGROUND HYDROSPHERE DUE TO EXTRACTION OF UNCONVENTIONAL HYDROCARBONS (USING REMOTE SENSING DATA)

V. I. Lyalko, O. T. Azimov, Ye. O. Yakovlev

The article considers the relevance of the application of modern remote aerospace and hydrogeological methods in the problems of the ecological safety for the hydrosphere in Ukraine during unconventional hydrocarbons extraction, especially shale gas is considered. Case studies of pilot implementation of these methods are present for the Bilyaivska area adjacent to the Yuzivka licensed site within the Dnieper-Donets Depression as the biggest artesian basin within Ukraine. A number of the hydrogeological filtration parameters of multilayers' system (water aquifers, aquitard and aquiclude regional layers) enable to obtain the rough estimate of the temporal indices for the areal upward pollutant migration from the fracturing zone to the groundwater aquifers in the potential process of shale gas production (as an example the 400-Bilyaivska well). It is found that the possible variety of the rock double permeability in the complete rock continuum is responsible for the passage time of diffusive-convective pollutant migration from the fracturing zone to the groundwater aquifers, and this time interval consists of 170 ± 70 years. Considering the balance ratio between the water volume for the dilution of pollutants to the safe concentrations and the volume of porous solutions, which is over the fracturing zone the conclusion is drawn that remains of technological solutions in the fracturing zone in some cases can continuously contaminate the underground water within the zones of slow and active water exchange.

Key words: unconventional hydrocarbons, shale gas, fracturing zones, up-going migration, underground waters, technological pollutions, remote sensing data

Исследуя Землю: победы и беды украинского космоса

В. И. Лялько, академик Национальной академии наук Украины;

М. А. Попов, доктор технических наук

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

Известно, что Украина — одна из немногих стран мира, которые обладают полным циклом выработки космической техники от проектирования и производства ракет до создания космических аппаратов (КА) и их использования в орбитальном полете. Вместе с тем известно, что ведение космической деятельности сопряжено со значительными финансовыми и материальными затратами, и потому практически во всех странах этот вид деятельности имеет государственную поддержку. В этом отношении Украина — не исключение: в разные периоды времени уровень финансирования отечественной космической отрасли был различным, но минимально необходимая поддержка со стороны государства всегда была. Кроме того, космическая отрасль и сама зарабатывала определенные деньги, в частности, за счет выполнения иностранных заказов и участия в международных прикладных программах, а все это вместе давало возможность решать задачи в интересах реального сектора отечественной экономики, сельского хозяйства, науки и т. д.

Ресурсы, понятно, были ограниченными, поэтому далеко не все получалось, но даже в тех непростых условиях удавалось поддерживать относительную стабильность в отрасли. Однако в последние годы наши державные мужи, то ли приняв для себя решение вначале детально разобраться в состоянии дел в украинском космосе (о чем несколько раз заявлял премьер-министр), то ли по причине скудости государственного бюджета свели финансирование космической отрасли до минимума. Обострились дискуссии, как в профессиональной среде, так и в средствах массовой информации, о будущем украинского космоса, радикализировались оценки прошлого, вносятся различные предложения по пересмотру базовых принципов организации космической деятельности и управления ею со стороны государства, обсуждается место аэрокосмической науки и индустрии. В частности, этим вопросам было посвящены две обстоятельные статьи в "Зеркале недели" (см. №21 от 03.06.2017 г. и №24 от 24.06.2017 г.).

Представляется, что в результате коллективного обсуждения мы-таки приходим к правильным выводам и нужным решениям, а у профильных министров и других важных и полномочных лиц хватит квалификации и воли провести необходимые изменения и выправить непростую в отрасли ситуацию. При этом нужно учитывать, что время на принятие ре-

шений весьма ограничено, а процесс их имплементации не должен затрагивать работу отраслевых предприятий по выполнению текущих заказов и не может нарушать социально-экономические обязательства государства перед работниками отрасли.

Как известно, космическая отрасль в силу своей чрезвычайно высокой научной и технологической сложности и стоимости сегментирована. Корневым сегментом является пусковая индустрия (Launch Industry). Многие десятилетия проектирование, изготовление и запуск ракет осуществлялись исключительно государственными предприятиями, а число стран, работающих в этом сегменте, было очень малым. Однако в последнее десятилетие государства потеряли здесь монополию, ибо аналогичные услуги начали предлагать коммерческие компании. В результате возникшей конкуренции в этом, хотя и важном, но не очень крупном по финансовым объемам сегменте (для сравнения: в 2015 году оборот мирового рынка пусковых услуг составил \$5,4 млрд при общих доходах мировой космической отрасли \$208,3 млрд) стали снижаться цены на вывод объектов на орбиту. Кроме того, благодаря нано- и другим современным технологиям удалось существенно миниатюризировать бортовое оборудование, и сегодня большинство запускаемых КА — носителей этого оборудования имеет суммарную массу, не превышающую несколько сотен кг. В частности, из 202 выведенных в космос в 2015 году КА 128 аппаратов (63,4%) имели массу не более полутонны. Прогнозируется дальнейшее увеличение доли запускаемых малых (массой от 500 до 100 кг), микро- (100–10 кг) и нано- (10–1,0 кг) спутников. Этот процесс влечет за собой уменьшение количества потребных ракетных пусков, поскольку существует возможность вывода в космос большого количества небольших спутников одной ракетой. Поэтому, хотя число запускаемых КА стабильно растет (за последние четыре года возросло на 40%), рост числа заявок на пусковые услуги, равно как и рост доходов от них, далеко не очевиден. В последние семь лет годовой бюджет пусковой индустрии оценивается суммами от \$4,8 млрд до \$5,9 млрд, при этом имеет место как положительная, так и отрицательная динамика доходов. Так, если в 2014 году наблюдалось увеличение доходов мировой пусковой индустрии на 9% по сравнению с предыдущим годом, то в следующем, 2015 году доходы примерно на столько же уменьшились.

Украина издавна занимает одно из ведущих мест

среди мировых производителей космических ракет и, безусловно, неизменно важными для нас задачами являются адаптирование номенклатуры и повышение качества разрабатываемых изделий в соответствии с требованиями времени и заказчиков. В условиях развивающейся коммерциализации и ужесточения конкуренции нужны креативные подходы и новые конструкторские решения. Заслуживающие внимания и детальной проработки предложения в этом направлении изложены, в том числе, в перечисленных статьях ЗН.

Способность государства, используя свой научно-технический и промышленный потенциал, запускать КА является ключевым фактором, определяющим его привилегированное положение на рынке космических услуг. Поэтому практически все страны, занятые в пусковой индустрии (а их порядка 12), активно работают и в других образующих сегментах космической отрасли. Это такие сегменты, как производство спутников (Satellite Manufacturing), наземное оборудование (Ground Equipment) и спутниковые сервисы (Satellite Services). Все эти сегменты очень динамично развиваются, технологии постоянно совершенствуются, здесь наблюдается постоянный рост заказов и доходов.

Следует сказать, что Украина имеет определенный опыт проектирования и создания КА и наземного оборудования для космической отрасли. Этот опыт накапливался отечественными специалистами в процессе решения задач, предусмотренных государственными научно-техническими космическими программами, а также при выполнении заказов иностранных государств. Однако, к сожалению, состояние и возможности нашей промышленности сегодня не такие, чтобы надеяться на гарантированный успех в этих сегментах на международных рынках.

Сегмент спутниковых сервисов обеспечивает функционирование программно-технических комплексов стационарной и мобильной связи, систем теле- и радиовещания, с его помощью решаются задачи ретрансляции сигналов, приема и обработки информации метеорологического назначения, а также информации о Земле.

Функционирование спутниковых сервисов позволило организовать глобальное информационное пространство, являющееся одним из важнейших драйверов устойчивого развития мировой экономики. В этом пространстве — мириады данных самых разных типов, и один из них — геопространственные данные. Это наиболее полный тип данных, который содержит не только атрибутивную информацию (характеристики) об объекте или процессе, но описывает его местоположение (координаты) в зафиксированный момент времени и несет информацию о нем в форме изображений. Эти изображения формируются аэрокосмическими средствами дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), а со-

ответствующие сервисы (Earth Observation Services) обеспечивают их прием и обработку.

Введение данных Earth Observation Services в глобальное информационное пространство дало массу преимуществ: позволило существенным образом улучшить метеорологические прогнозы, обеспечить мониторинг окружающей среды с уникальными характеристиками по масштабности, повторяемости и оперативности, открыло дополнительные возможности при решении задач природопользования, контроля загрязнений, предупреждения развития катастрофических процессов и т. д. Достигнутые успехи легли в основу заключения Всемирной конференции по устойчивому развитию (Йоханнесбург, 2002 г.) о невозможности устойчивого развития мировой экономики без использования аэрокосмических систем наблюдения Земли.

Анализ показывает, что в сегменте спутниковых сервисов сервисы, связанные с обеспечением решения задач наблюдения Земли, развиваются наиболее динамично и последовательно. Так, если в последние пять лет суммарные доходы в сегменте растут на 4–5% в год, то годовой прирост доходов в сфере сервисов наблюдения Земли составляет 8–10%. Если в 2010 году доходный бюджет сервисов наблюдения Земли составлял \$1,0 млрд, то в 2016 году он вплотную приблизился к \$2,0 млрд, а к 2020 году, по прогнозам аналитиков Еврокомиссии, этот рынок выйдет на \$5,3 млрд. Называются и причины такого быстрого роста — круг потенциальных пользователей информационных продуктов работы систем ДЗЗ очень широк, здесь существует очень большая линейка услуг и они легко масштабируются, а сами услуги могут предоставляться во временном темпе, близком к реальному, вплоть до on-line. Важно, что среди пользователей ДЗЗ-продуктов — как государственные структуры (реальный сектор экономики, служба геокадастра, силовые ведомства, наука и др.), так и частный сектор (агрохолдинги, фермеры, ресурсодобывающие компании и др.). Все это вместе делает рынок ДЗЗ экономически очень привлекательным, сложившиеся и прогнозируемые условия открывают самые широкие возможности как для государства, так и для частного капитала.

Исследования в области ДЗЗ имеют в Украине более чем полувековую историю. С созданием в феврале 1992 года Национального космического агентства Украины эти исследования получили новый импульс. В августе 1995 года украинской ракетой-носителем “Циклон-3” был выведен на орбиту первый отечественный КА “Сич-1”, предназначенный для дистанционных исследований Земли. Успешный запуск украинского спутника продемонстрировал наши высокие возможности, которые позволили замкнуть на национальном уровне весь производственный цикл космической системы — от разработки и изготовления до эксплуатации и распространения полученной спутниковой информации. В

целях расширения научных и прикладных исследований Земли решениями руководителей Космического агентства и Национальной академии наук Украины были предприняты необходимые организационные меры, в том числе создано несколько ведомственных организаций для ведения научно-прикладных исследований в области ДЗЗ: Центр аэрокосмических исследований Земли НАН Украины и Научно-производственный центр “Природа” (в Киеве), Центр радиофизического зондирования Земли (Харьков), предприятие “Днепрокосмос” (Днепропетровск / Днепр).

Начало налаживаться международное сотрудничество в сфере ДЗЗ. При личном участии основателя и первого руководителя Национального космического агентства Украины В. П. Горбулина и финансовой поддержке Агентства США по международному развитию (US Agency for International Development — USAID) был создан Украинский центр менеджмента земли и ресурсов, в котором бок-о-бок работали украинские и американские ученые и специалисты. Научным центром аэрокосмических исследований Земли НАН Украины совместно с Немецким аэрокосмическим центром (German Aerospace Center — DLR) был выполнен крупный международный проект по изучению экологии и пожароопасности лесов в Чернобыльской зоне. И т. д.

Системным был подход в вопросе подготовки кадров для работы в области ДЗЗ. Министерством науки и образования Украины были утверждены соответствующие учебные специальности, и в нескольких украинских ВУЗах началась подготовка так необходимых инженерно-технических кадров. В целях подготовки и повышения квалификации научных кадров решением Высшей аттестационной комиссии Украины была утверждена новая научная специальность “Дистанционные аэрокосмические исследования”, и уже в 1993 году в Центре аэрокосмических исследований Земли Института геологических наук Национальной академии наук Украины открылся первый ученый совет с правом рассмотрения диссертаций по этой специальности. С годами потребность в высококвалифицированных научных кадрах для работы в области ДЗЗ только росла, поэтому число специализированных ученых советов с таким правом постепенно достигло пяти. Таким образом, сотрудничество руководящего звена космической отрасли и ученых, внимание и поддержка со стороны государства исследований в области ДЗЗ приносило свои и плоды, помогало продвигаться вперед и одерживать разного рода победы.

Однако в последние десять лет говорить о государственной поддержке работ в области ДЗЗ, понимании и принятии руководством космической отрасли предложений, оценок, потребностей науки и ученых можно говорить лишь в прошедшем времени. Корень такой ситуации, на наш взгляд, в том, что меняющие один другого руководители украин-

ского космоса весьма смутно представляют себе роль и значимость ДЗЗ-технологий в современном информационном обществе. А роль ДЗЗ, как было на цифрах показано выше, растет с каждым годом. О значимости и перспективности ДЗЗ-технологий для все новых и новых применений говорит тот факт, что ведущие мировые производители аппаратуры для наблюдения Земли непрерывно совершенствуют свою продукцию, научными коллективами в разных странах разрабатываются все более тонкие и эффективные методы извлечения нужной информации из аэрокосмических изображений.

Необходимо отметить, что и в Украине также все больше задач решается с использованием ДЗЗ-методов; среди заказчиков и потребителей спутниковой информации — акционерные и private компании, занимающиеся поиском месторождений природных ископаемых, агрохолдинги, консалтинговые компании в сфере землепользования и др. Отвечая на запросы, в Национальной академии наук Украины продолжают исследования по созданию новых методов и технологий ДЗЗ, а полученные при этом результаты уже используются для оценки пожароопасности лесов в зонах повышенной радиоактивности, выявления скрытых подземных очагов горения торфяников, построения научно обоснованных прогнозных оценок природных, социальных и экономических последствий возможных климатических изменений, дистанционного получения оценок глубины промышленно-экономического кризиса на временно неподконтрольных участках восточных территорий Украины и т. д.

Например, базируясь на анализе материалов ночной инфракрасной съемки за 2014–2016 гг., которая проводилась с помощью сенсора Visible Infrared Imaging Radiometer Suite (VIIRS), установленного на спутнике Suomi NPP, получены оценки изменений экономической ситуации на временно не подконтрольных территориях Донецкой и Луганской областей, находящихся в зоне вооруженного конфликта. Эти оценки базируются на том известном факте, что одним из показателей экономической активности является уровень потребляемой электроэнергии, который, в свою очередь, можно оценить через светимость территории.

Для иллюстрации на рис. 1 и 2 показано, как на протяжении этих трех лет негативно менялся уровень экономической активности в г. Горловке и в г. Дебальцево и изменялось его распределение в пределах городских территорий (единица светимости — $\text{nanoWatts/cm}^2/\text{sr}$, про наличие экономической активности свидетельствует красный тон). Контуры приведенных городов были взяты с векторной карты “Ukraine 500”.

Анализ указанных материалов позволил сделать вывод, о том что экономическая активность на востоке Украины для оккупированных частей Донецкой и Луганской областей весной 2016 г. составляла

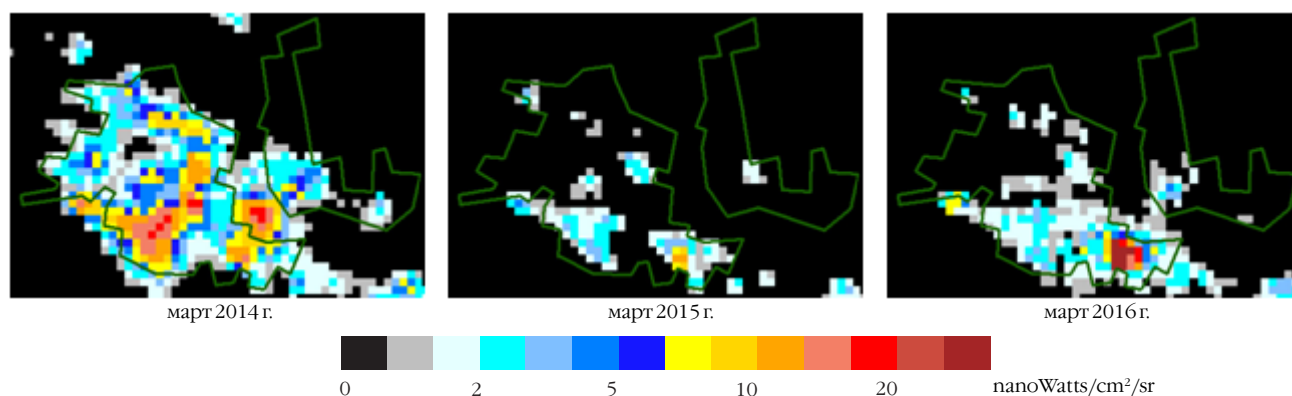


Рис. 1. Горловка Донецкой области. Ночные спутниковые снимки города за период 2014–2016 гг.

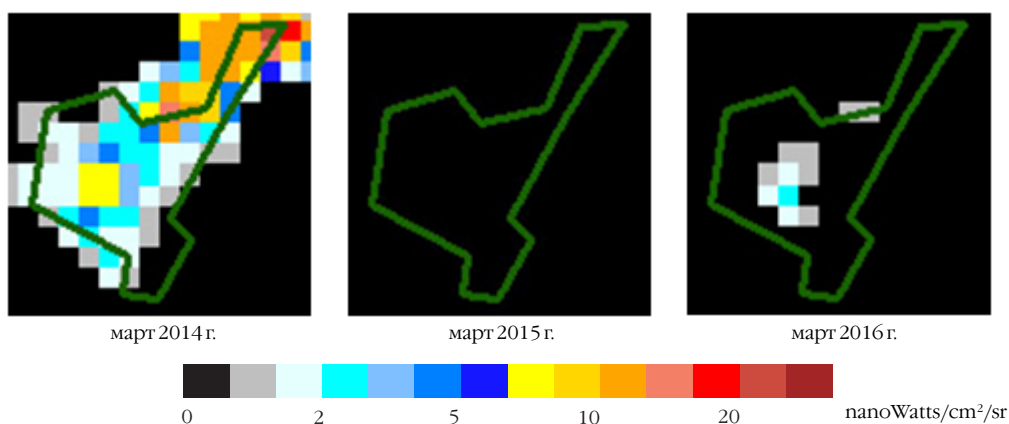


Рис. 2. Дебальцево Донецкой области. Ночные спутниковые снимки города за период 2014–2016 гг.

54% от уровня марта 2014 г. (даты начала боевых действий). Полученные оценки позволяют составить представление об убытках, понесенных экономикой региона в результате военного конфликта, а также могут служить ориентирами при планировании будущих мероприятий по восстановлению региона.

Сегодня осознается, что военный конфликт на Донбассе создает новые экологические угрозы, которые не имели аналогов в истории человечества. На территории промышленно-городских агломераций Донбасса размещено более чем 4 000 потенциально опасных объектов, включающих в свой состав шахты, металлургические, химические, энергетические производства, полигоны высокотоксичных отходов, терриконы, шламонакопители и шламохранилища, разрушение которых создает дополнительные угрозы и риски для безопасности жизнедеятельности населения, проживающего на этих территориях. Поэтому Донбасс является регионом с аномальным техногенным загрязнением всех жизнеобеспечивающих составляющих окружающей среды (приземного слоя воздуха, поверхностных и грунтовых вод, почв, геологической среды).

Проведенный нами анализ показывает, что рост опасности экологических последствий боевых действий на подконтрольной и неподконтрольной

территориях Донбасса главным образом связан с увеличением неуправляемого затопления шахт, при этом большинство последствий имеют региональный и необратимый характер. В то же время, несмотря на активизацию опасных экологических процессов в зоне проведения антитеррористической операции, Министерство экологии и природных ресурсов Украины реально не осуществляет эффективных мер по их контролю. Учитывая, что военный фактор в значительной степени ограничивает возможности наземного мониторинга состояния окружающей среды, возникает, по нашему мнению, необходимость использования возможностей технологий ДЗЗ и средств математического моделирования при решении прогнозных задач и обосновании первоочередных защитных мероприятий.

Отметим, что на реализацию таких мероприятий ориентируют также положения принятого 23 мая 2017 года Закона Украины № 2059-VIII “Об оценке воздействия на окружающую среду”. При этом источником финансирования указанных работ, имеющих, несомненно, важное значение не только для страны, но и для международного сообщества, могут стать как вклад украинской стороны, так и финансовая поддержка со стороны Евросоюза и США в рамках реализации помощи Украине. Подобная

работа, кроме очевидного экологического результата, будет иметь также и существенное политическое значение, поскольку полученные рекомендации по внедрению природоохранных мероприятий будут касаться всей территории Донбасса, а их реализация станет возможной только при реальном прекращении военных действий и сотрудничестве всех заинтересованных сторон.

Методы ДЗЗ, разрабатываемые украинскими учеными, востребованы и в других странах. Так, по предложению руководства Университета Токио (Япония) выполнено исследование по оценке и картированию на основе спутниковых и наземных данных рисков вторичной эмиссии абсорбированных радионуклидов за счет пожаров в зоне отчуждения атомной электростанции Фукусима-1. На протяжении последних пяти лет учеными НАН Украины оказывается научно-методическая поддержка различным компаниям и организациям в ряде африканских стран (Объединенные Арабские Эмираты, Судан, Марокко) по поиску месторождений полезных ископаемых, борьбе с опустыниванием, изысканию ресурсов питьевой воды и т. д.

Разработки отечественных ученых в области ДЗЗ за последние 15 лет были отмечены несколькими государственными премиями Украины в области науки и техники. В 2014 году вышел первый номер *Ukrainian Journal of Remote Sensing*, сегодня на сайт <http://ujrs.org.ua/ujr> этого журнала заходят читатели в десятках стран мира. Продолжается подготовка кандидатов и докторов наук по научной специальности «Дистанционные аэрокосмические исследования».

Изложенное показывает, что уровень ДЗЗ в стране остается достаточно высоким, что отечественные ученые и специалисты могут решать и успешно решают самые сложные научно-прикладные задачи. Однако вместе с тем необходимо отметить, что исследования в области ДЗЗ могли бы развиваться значительно интенсивнее, а результаты быстрее внедрялись в реальный сектор экономики и служили делу обороны страны, если бы удалось преодолеть ряд существующих негативных факторов и обстоятельств.

1. В космической отрасли Украины изначально была принята стратегия выполнения научно-технических разработок, предполагающая, что сначала за деньги из государственного бюджета, выделенные Космическому агентству Украины, разрабатывается определенный продукт, а далее этот продукт или его производные в форме услуги предлагается потенциальным потребителям, преимущественно из числа государственных органов и структур. Однако практика показала, что такая модель создания и предоставления услуг в странах с децентрализованной экономикой не жизнеспособна, а гораздо более эффективной и нацеленной на развитие является кооперативная модель.

В основе кооперативной модели лежит принцип долевого участия заинтересованных сторон в изго-

товлении определенного продукта и его дальнейшем совместном использовании к выгоде этих сторон. Такую модель использует, в частности, Европейское космическое агентство (ЕКА) во взаимодействии со странами-участницами. Например, расходы на космос в Польше, являющейся одним из 22 членов ЕКА, наполовину финансируются из национального бюджета, а вторую половину средств вносит ЕКА. Такая практика позволила этому государству всего за четверть века приобщиться к космической деятельности, стать страной, принимающей участие в ряде важных европейских космических проектов, запускающей свои спутники. По этому же пути идут сегодня Румыния, Чехия, Эстония и некоторые другие страны.

Из стран СНГ модель долевого участия в космических исследованиях и практическом использовании их прикладных результатов предлагает сегодня Казахстан своим партнерам, в том числе и Украине.

2. Одна из тенденций осуществления космической деятельности в мире — это расширение применения модели государственно-частного партнерства, или коммерциализация. По данным 2015 года, из общей суммы финансовых расходов в мире на космическую деятельность \$323 млрд до 77% составили коммерческие расходы, в том числе 40% приходилось на космические продукты и до 37% на создание и поддержку инфраструктуры. При этом последние несколько лет наибольший рост коммерциализации наблюдается именно в сфере ДЗЗ, до 15% в год.

Лидером в коммерциализации космических продуктов и услуг являются США, и здесь этот процесс идет при активной поддержке и помощи со стороны государства. Хотя коммерческие компании США являются практически монополистами на мировом рынке космических снимков высокого и сверхвысокого разрешения, однако их стабильность заботливо поддерживается правительством США, которое на постоянной договорной основе закупает для своих нужд до половины всего объема таких снимков, производимых американскими негосударственными компаниями-операторами. Эти снимки используются, в основном, для решения задач военного характера и национальной безопасности. Нарботанное в США многообразие форм кооперации государства и частного капитала в сфере ДЗЗ обеспечивает ситуацию, когда каждый вложенный доллар возвращается в десятикратном размере.

Нужно сказать, что и в Украине имеются негосударственные компании, работающие в сфере ДЗЗ, однако пока их роль здесь не велика, а сотрудничество их с отечественным государственным космосом присутствует, в основном, только на личностном уровне. В интересах государства запустить процессы, направленные на развитие и усиление кооперации государственного, акционерного и частного капитала в тех направлениях, которые будут

способствовать выходу на международный космический рынок и приносить взаимную пользу и экономическую выгоду.

3. За прошедшие десятилетия в мире в области ДЗЗ разработаны высокоэффективные системы сбора и обработки данных аэрокосмических наблюдений, накоплены громадные массивы уникальной геоинформации, созданы мощные средства архивирования и хранения геоданных. Необходимым условием донесения данных до потребителя является наличие инфраструктуры в виде пространственно распределенной телекоммуникационной системы, позволяющей организовать и поддерживать единое (интегрированное) информационное поле для сообщества создателей и пользователей данных, а также обеспечить вхождение их в глобальное информационное пространство. К сожалению, подобная инфраструктура спутниковых геоинформационных ресурсов в Украине отсутствует, что серьезно затрудняет обмен информацией и ее использование в ключевых отраслях экономики и для решения социальных проблем.

Один из наиболее реальных путей решения проблемы лежит через участие Украины в разрабатываемой с 2005 года глобальной международной информационной “системе систем” GEOSS (Global Earth Observation System of Systems) для наблюдения Земли из космоса и ее составной части — Европейской системе мониторинга окружающей среды GMES (Global Monitoring for Environment and Security), которая в настоящее время переименована в COPERNICUS. При таком подходе Украина берет на себя вопрос создания украинского сегмента системы GMES, что позволит объединить национальные и европейские информационные ресурсы и обеспечить точной, всеобъемлющей и надежной информацией пользователей и лиц, принимающих решения в Украине и Европе. Одновременно органично и с наименьшими затратами решается задача построения отечественной инфраструктуры для ДЗЗ.

4. Отрасль ДЗЗ, как и любая другая интеллектуальная область человеческой деятельности, нуждается в притоке высококвалифицированных специалистов и научных кадров. Этому способствует, как уже отмечалось выше, функционирование в Украине ряда ученых советов, имеющих право присуждать ученые степени по специальности “Дистанционные аэрокосмические исследования”. Таким путем подготовлено более десяти докторов наук, около семидесяти кандидатов наук.

Однако дальнейшая подготовка ученых в области ДЗЗ под угрозой. Дело в том, что стараниями “реформаторов” из Министерства науки и образования Украины в конце 2015 года порядка 20 научных специальностей были “слиты” (жаргон — на совести так называемых “реформаторов”) в одну. Одна — это “науки про Землю”, а в двадцатке они собрали научные специальности, каждая из которых имеет мно-

говековую историю, по каждой из которых существуют широко известные в мире научные школы, каждая из которых наработала и использует свой уникальный методический аппарат, каждая из которых вносит весомый вклад в повышение благосостояния людей и общества.

Теперь, согласно принятому циркуляру, ученый в области геологии по определению считается также специалистом по рекреации территорий и туризму, ученый, занимающийся проблемами обработки пространственных данных должен быть одновременно специалистом по минералам и т. д. В общем, как писал классик: “Все смешалось в доме Облонских...”. Но кое-что и потерялось: так, “мелочь” в виде научной специальности “Дистанционные аэрокосмические исследования” со всеми настоящими и будущими учеными. Последствия этой потери нетрудно предвидеть. На наш взгляд, указ Министерства науки и образования от 6 ноября 2015 года, которым введено это безобразие, требует скорейшей отмены, необходимо продолжить подготовку научных кадров в области ДЗЗ.

5. Безусловно, деятельность в сфере ДЗЗ, равно как и космическая деятельность в целом, должна осуществляться в соответствии с законами Украины и другими нормативно-правовыми актами. На данное время эта деятельность определяется принятым в 1996 году профильным законом “Про космічну діяльність”. Уже несколько лет идет обсуждение проекта закона України “Про державне регулювання у сфері дистанційного зондування Землі”, однако, представляется, проблема согласования императива государственного регулирования и правовых механизмов функционирования рынка космической информации в нем так и не получила надлежащего решения.

Требуется решения и еще одна проблема. В планах Государственного космического агентства Украины — разработка и вывод на орбиту космических систем серии “Сич” для дистанционного мониторинга окружающей среды. Однако успешный выход с продукцией систем “Сич” на международный рынок космической информации практически невозможен без ее валидации на наземных тестовых полигонах по стандартизированным правилам, разработанным международным Комитетом по спутниковым наблюдениям Земли CEOS (Committee on Earth Observation Satellites). Поэтому одна из актуальных задач — это согласование (гармонизация) действующей в Украине нормативно-терминологической базы с международными стандартами.

Подведем итоги и сделаем выводы

1. Украина имеет определенные достижения в сфере ДЗЗ и, при условии государственной поддержки, этот сегмент космической деятельности может быть одним из драйверов ее усиления. Государственная поддержка должна использовать кооперативную

модель, в основу которой положен принцип долевого участия заинтересованных сторон в изготовлении геоинформационного продукта и его дальнейшем совместном использовании. Необходима наработка форм кооперации государства и частного капитала в сфере ДЗЗ и запуск процессов, направленных на развитие кооперации государственного, акционерного и частного капитала в тех направлениях, которые способствуют выходу на международный космический рынок.

2. Одной из актуальных задач является создание пространственно распределенной инфраструктуры ДЗЗ, позволяющей организовать и поддерживать единое (интегрированное) информационное поле для сообщества создателей и пользователей аэрокосмических данных, а также обеспечить вхождение их в глобальное информационное пространство. Эта задача может быть решена путем расширения объемов участия Украины в построении глобальной международной информационной “системы систем” GEOSS и ее составной части — Европейской системы мониторинга окружающей среды GMES / COPERNICUS. Чтобы в приемлемые сроки и с наименьшими затратами решить задачу построения отечественной ДЗЗ-инфраструктуры, Украина должна взять на себя создание украинского сегмента системы GMES, что позволит объединить национальные и европейские информационные ресурсы и обеспечить запросы самого широкого круга пользователей и лиц, принимающих решения.

3. С учетом того, что Украина выводит на орбиту свои спутники ДЗЗ и планирует распространять кос-

мические снимки и продукты на их основе на внутреннем и международном рынках, актуальными являются вопросы урегулирования прав оператора и потребителей, охраны интеллектуальной собственности на информационные продукты, вопросы ценообразования и др. Требуют своего решения проблема согласования нормативных правил государственного регулирования и правовых механизмов функционирования рынка космической информации, задача гармонизации существующей в Украине нормативно-терминологической базы с международными стандартами.

4. Вследствие непродуманной реформы системы подготовки научных кадров в Украине и, в том числе, необоснованного изменения перечня областей знаний и специальностей возникают серьезные проблемы с подготовкой научных кадров по ДЗЗ. В связи с этим необходимо пересмотреть приказ Министерства науки и образования Украины от 6 ноября 2015 г. в части отмены специальности “Дистанционные аэрокосмические исследования”, что даст возможность продолжить полноценную подготовку научных кадров в области ДЗЗ.

5. Пора, наконец, определиться руководству страны и, собрав мнения экспертов (включая и вышеизложенные), принять конкретные решения (как это уже давно сделано в странах Евросоюза и других развитых странах мира) по целевой предметной поддержке отечественных работ по использованию аэрокосмической информации для эффективного решения актуальных, жизненно важных задач реальной экономики и безопасности Украины.

Зеркало недели, №34 (330) 14 сентября 2017 г.

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 освітянських 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 — A4. Текст форматируют *без переносов*,

абзацных отступов, выступов и интервалов до и после строки.

Структура рукописи

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

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

Пожалуйста, не набирайте формулы в программе Math Type.

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

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

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

тературный источник в тексте подают в квадратных скобках. Список литературы 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

2.4. Схема оброблення та комплексної інтерпретації дистанційних і геолого-геофізичних даних для вирішення завдань пошуку родовищ корисних копалин із застосуванням аерокосмічних методів

Загальноприйнята методика використання даних ДЗЗ під час вирішення геолого-знімальних, геологорозвідувальних і геологопошукових робіт традиційно передбачає таку структуру (технологічну послідовність):

- збір необхідних архівних і замовлених даних ДЗЗ;
- проблемно орієнтований аналіз і оброблення даних ДЗЗ, результатом яких є створення дистанційної основи тієї чи іншої геологічної карти;
- тематичне дешифрування дистанційної основи;
- інтерпретація схем дешифрування; складання тематичних карт і схем з легендами або умовними позначеннями;
- подання й зберігання вказаних карт і схем.

При цьому чинник впровадження і використання комп'ютерних технологій оброблення та інтерпретації даних різної фізичної природи мав незначний рівень. Однак останнім часом, у зв'язку з активним розвитком геоінформатики при геологічних роботах різного масштабу і цільового призначення, все ширше використовуються її (геоінформатики) досягнення. Це стосується й сучасних аерокосмогеологічних досліджень різноманітного тематичного спрямування. Враховуючи й узагальнюючи відомі комп'ютеризовані методи, методичні підходи і прийоми роботи з комплексом даних ДЗЗ і апріорних результатів геолого-геофізичних робіт, а також основні етапи їх виконання і послідовність відповідних операцій, нами розроблено [46–51] схему перетворення, дешифрування і геологічної інтерпретації даних дистанційного знімання на основі використання геоінформаційних технологій. Нижче, для прикладу, розглядається схема, метою якої є виявлення пасток ВВ, оцінка перспектив їх нафтогазоносності, а також уточнення планової конфігурації водо-нафтового (ВНК) і газо-водяного (ГВК) контактів відповідних покладів, що запропоновано в [51] (рис. 2.9).

Пропонована схема реалізується у своєрідній геоінформаційній системі, основними складовими якої є база знань (БЗ), база даних (БД) і програмне забезпечення, що призначене для управління БД і тематичним обробленням даних. Подібних підходів також дотримуються інші фахівці [52, 53]. Загалом схема складається з чотирьох основних етапів:

- I) Постановка завдання;
- II) Формування БЗ і БД;
- III) Оброблення та аналіз даних на основі використання географічної інформаційної системи (ГІС);
- IV) Комплексний аналіз і геологічна інтерпретація інтегрованої в ГІС інформації.

Нижче розглянемо ці етапи детальніше.

Етап I. Постановка завдання. У залежності від етапу і стадії геологорозвідувальних робіт, при яких у комплексі з геолого-геофізичними даними використовуються й матеріали ДЗЗ, з допомогою технології, що розроблена, можуть вирішуватися завдання різного масштабного рівня, наприклад:

- регіональний рівень: тектонічне районування і районування території щодо перспективності на якісь корисні копалини (інші об'єкти пошуку) з виділенням основних розломів, розривів, ділянок/площ, перспективних на виявлення якихось корисних копалин (інших об'єктів пошуку або дослідження); зокрема, корисними копалинами можуть бути вуглеводневі;
- зональний рівень: виділення розломно-блокових полів, нафтогазоносних або рудовмісних локальних структур в їхніх межах, інших цільових об'єктів пошуку або дослідження з визначенням черговості їх подальшого вивчення різними геолого-геофізичними методами і пошуку локальний рівень: детальне дослідження перспективних площ/структур (нафтогазо- або рудоперспективних, сприятливих на пошуки інших різноманітних тематичних об'єктів) для більш раціонального розміщення розвідувальних свердловин і виділення ділянок, у межах яких можливі ускладнення (наприклад, ділянок, що пов'язані з диз'юнктивною тектонікою) при бурінні, інших гірничих роботах.

Відповідно до поставленого завдання (завдань) для реалізації технологічної схеми формуються БЗ і БД.

Етап II. Формування бази знань і бази даних. Цей етап складається з двох логічних підетапів, які гармонійно доповнюють один одного й реалізуються одночасно. Перший з них — це підетап формування бази знань [54]. БЗ являє собою організований набір фактів та правил, що формалізують знання і досвід спеціалістів-експертів про предмет досліджень, методику використання та оброблення даних ДЗЗ, моделі об'єктів досліджень і причинно-наслідкові зв'язки їх утворення і розвитку, які необхідні для вирішення поставлених завдань і знаходження відповідей на проблемні питання, котрі не містяться у БЗ в явному вигляді.

БЗ для цілей розрізнення диз'юнктивних деформацій містить відомості про їхні ранги, генезис, глибини проникнення (затухання), морфокінематичні характеристики, час їх закладення, активізації, ремобілізації, особливості новітньої та сучасної активності, а також про складчасті структури, речовинні комплекси і геофізичні поля, що пов'язані з ними як просторово, так і за походженням.

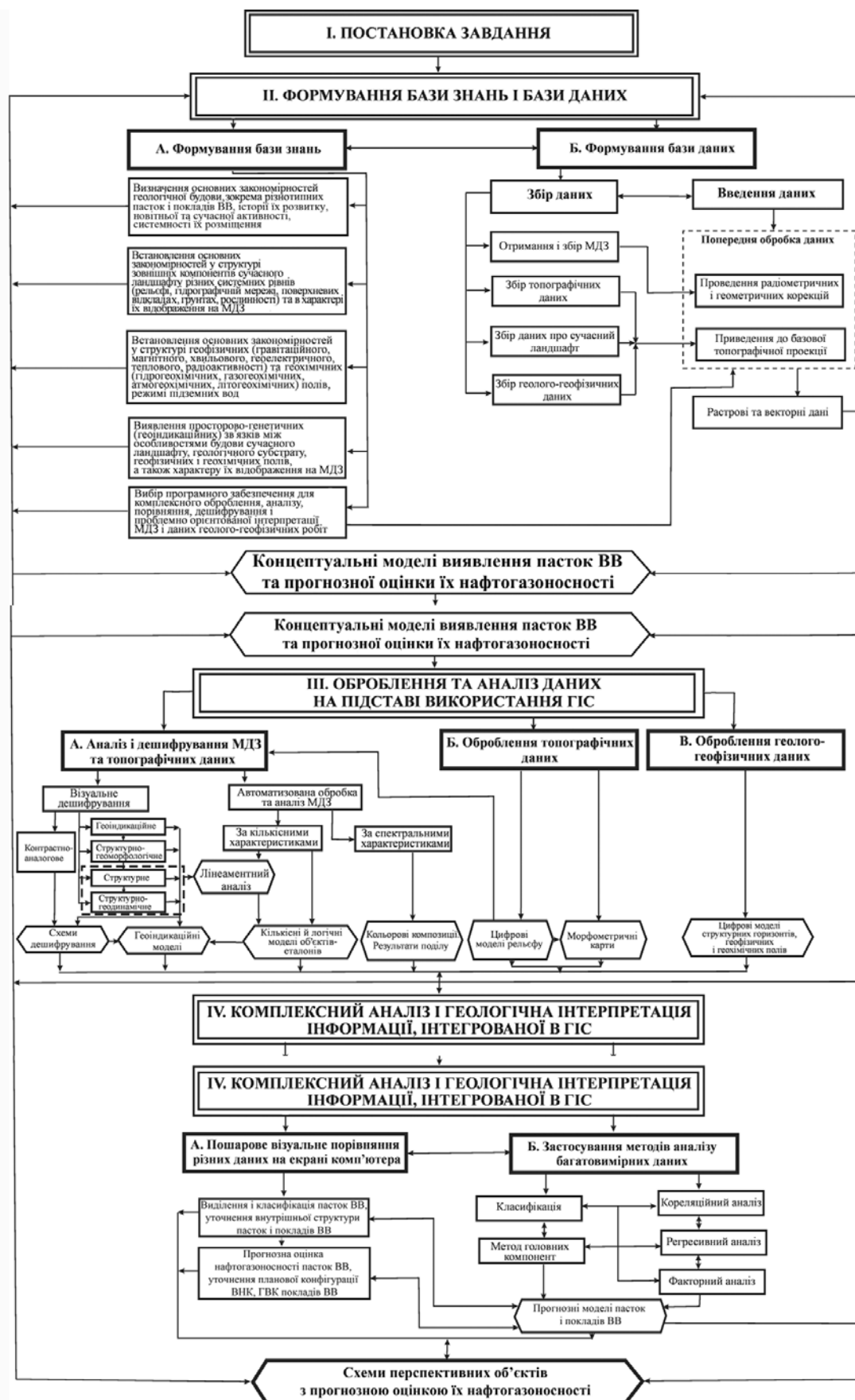


Рис. 2.9. Схема перетворення, дешифрування і геологічної інтерпретації даних ДЗЗ на підставі використання геоінформаційних технологій з метою виявлення пасток ВВ та оцінювання перспектив їх нафтогазоносності

БЗ для робіт, метою яких є прогноз родовищ корисних копалин, включає інформацію про загальні закономірності формування речовинно-структурних форм земної кори, що контролюють розподіл цих родовищ, про характер геологічного розрізу (склад, товщини, тріщинуватість гірських порід, їхні флюїдопровідні та інші фізико-хімічні характеристики), про історію тектонічного розвитку, особливо на новітньому етапі.

БЗ для цілей прогнозування і виявлення пасток і покладів ВВ включає інформацію про їхню стратиграфічну, глибинну, структурну і літологічну приуроченість, тип, можливий генезис, історію геологічного розвитку, закономірності регіонального і зонального розміщення, особливості новітньої та сучасної активності тощо. Останнє важливо з огляду на вивчення морфології структур, що вміщують поклади нафти і газу, за матеріалами дистанційних зйомок, а також у зв'язку з їх вираженістю як у ландшафті, так і на даних ДЗЗ.

Необхідне виконання типізації (класифікації) різнорангових об'єктів пошуку (наприклад розломів, розривних порушень вищого порядку, зон нафтогазонакопичення, пасток ВВ, рудовмісних зон тощо) як за геологічними ознаками, так і за ландшафтною (зокрема геоморфологічною) і дистанційною їхньою вираженістю, ступенем неотектонічної активності. Необхідне також проведення аналізу геоіндикаційних зв'язків земного рельєфу, компонентів ландшафту загалом, рисунку зображення на даних ДЗЗ, з одного боку, та особливостей геологічної будови — з іншого.

Другий підетап у рамках етапу II полягає у форму-

ванні бази даних. БД формується в залежності від змісту завдань прогнозу (пошуку) об'єктів вивчення, а також від ієрархічного рівня цих об'єктів і повинна відповідати БЗ. БД загалом включає аерокосмізмальні, широкий спектр геолого-геофізичних (зокрема, геохімічні, гідрогеологічні тощо) і ландшафтних (включаючи геоморфологічні й т. п.) даних (див. рис. 2.9). Геолого-геофізичні й ландшафтні дані подаються у вигляді картографічних матеріалів (власне картосхеми і глибинно-часові розрізи; рис. 2.10).

Доцільно складати кілька БД на одну й ту ж територію в різних масштабах. Так, для виділення регіонального розломно-блокового каркасу, прогнозування зон нафтогазонакопичення, рудоконтролюючих зон і побудови відповідних схем і карт (зокрема тематичного районування) необхідні БД у масштабах 1:1 000 000 і 1:500 000, для виявлення диз'юнктивів зонального рангу, прогнозування зон розвитку і конкретних локальних нафтогазо- і рудоперспективних структур — у масштабах 1:200 000, 1:100 000 і більших, для детального вивчення площ і родовищ — у масштабах 1:50 000, 1:25 000 і більших.

Аерокосмічні цифрові дані заносяться у БД у растровому форматі (рис. 2.11), фотозображення і картографічні матеріали перетворюються в електронний формат (рис. 2.12). У подальшому ці матеріали з застосуванням відповідних ГС або спеціалізованих програм прив'язуються до певної системи координат (наприклад, Гауса-Крюгера, 1942 р.; UTM/WGS 84; Oblique Mercator тощо) і геометрично коригуються. Потім картографічні дані оцифровуються (векторизуються).

Концептуальні моделі об'єктів, що прогнозують-

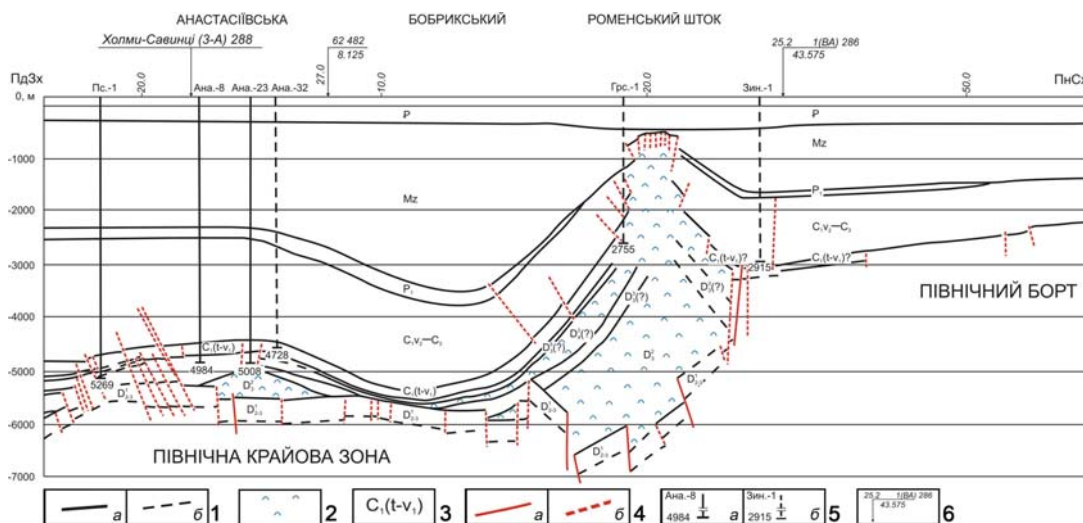


Рис. 2.10. Геологічний розріз регіональних (сейсмо)структурно-формаційних комплексів (СФК) осадового чохла ДДЗ за даними інтерпретації фрагмента регіонального профілю методом спільної глибинної точки Березняки (Недригайлів у межах зони сполучення Північного борту і прилеглої частини північної прибортової зони (побудовано з використанням матеріалів буріння глибоких свердловин і праць [56-63]).

1 — межі сейсмо-СФК: а) упевнено виділені, б) неупевнено виділені; 2 — солоносні фації; 3 — позначення сейсмо-СФК; 4 — розривні порушення: а) упевнено виділені, б) неупевнено виділені; 5 — пробурені глибокі свердловини (в усті вказані назви площ і номери свердловин в їх межах): а) розташовані на профілі (вказана глибина вибою, м), б) інтерпольовані на лінію профілю (вказана глибина вибою в сейсмо-СФК, що інтерпольована по його простяганню на лінію профілю, м); 6 — пікети перетину профілів: у чисельнику (або зліва вертикально) — пікет профілю, що перетинає, та його назва (або номер); у знаменнику — пікет профілю, що перетинається

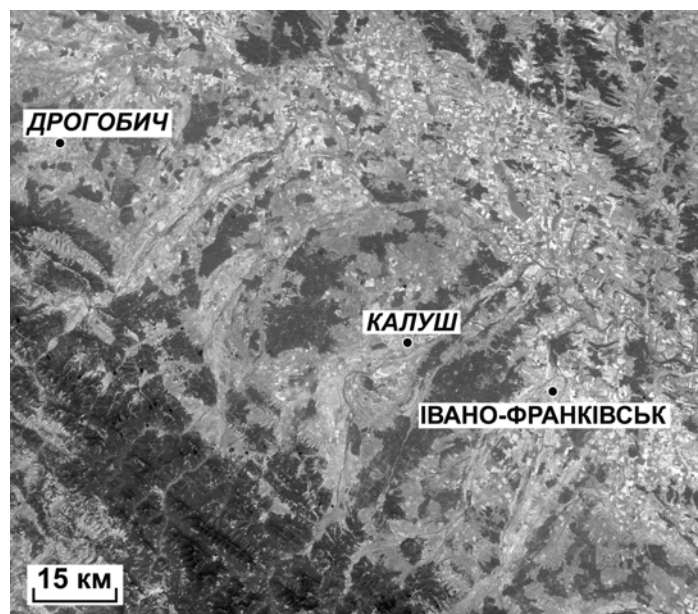


Рис. 2.11. Територія Прикарпаття. Фрагмент обробленого багатоспектрального знімка Landsat ETM+ від 02.05.2000 р. (6-й, тепловий, канал, 10.4–12.5 *мкм*). Підкреслюються гідрографічна та ерозійна мережі, ділянки зволжених ґрунтів, типи рослинного покриву. Поперечні (північно-східні) до простягання Карпатського регіону річки, їхні долинні комплекси та пов'язані з ними інші компоненти ландшафту відображають відомі зони розломних структур [64 та ін.]. Дугоподібний рисунок природно-територіальних комплексів у північній, північно-східній і східній частинах території (кільцева мезоморфоструктура) індицирує, на нашу думку, геологічний об'єкт земної кори глибокого закладення незрозумілого генезису.

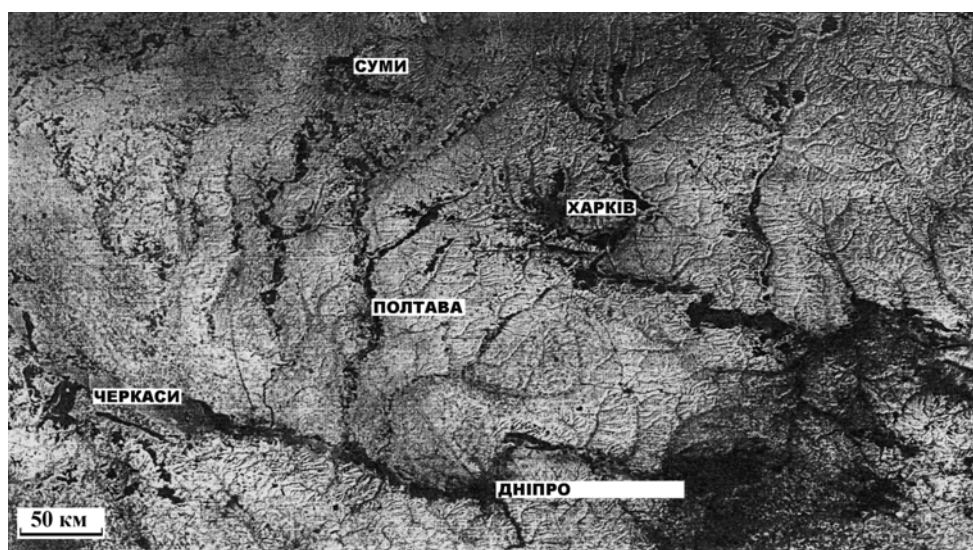


Рис. 2.12. Територія ДДЗ. Фрагмент телевізійного знімку, отриманого з ШСЗ “Метеор-2” (СРСР) у зимовий період року (23.01.1980 р., 10 год. 43 хв.) при незначній товщині снігового покриву. Virзняються гідрографічна та ерозійна мережі від найнижчих до найвищих порядків. Поперечні (субмеридіональні та північно-східні) до простягання регіону річки, їхні долинні комплекси та пов'язані з ними інші компоненти ландшафту відображають зони глибинних розломів (похованих дорифтових глибинних структур [65, 66])

ся (досліджуються), формуються, виходячи з аналізу БЗ і БД (див. рис. 2.9). На їхній основі вибираються методи оброблення даних і відповідне програмне забезпечення, наприклад, ERDAS Imagine, ER Mapper, PCI (EASI/PACE), ENVI/IDL, Geomatica, TNTmips, VIISTA, Change Modeler, eCognition, ArcGIS, MapInfo тощо.

Етап III. Оброблення та аналіз даних на підставі використання ГС. Першою стадією ана-

лізу є візуальне дешифрування даних ДЗЗ у різних зонах спектра електромагнітних хвиль, яке проводиться для визначення найінформативніших діапазонів зйомки, побудови схем основних тектонічних елементів і схем геоморфологічного (або ландшафтного загалом) районування території, що вивчається (див. рис. 2.9). Аналізуються особливості відображення глибинних геологічних структур у рельєфі, інших компонентах ландшафту, а також на даних

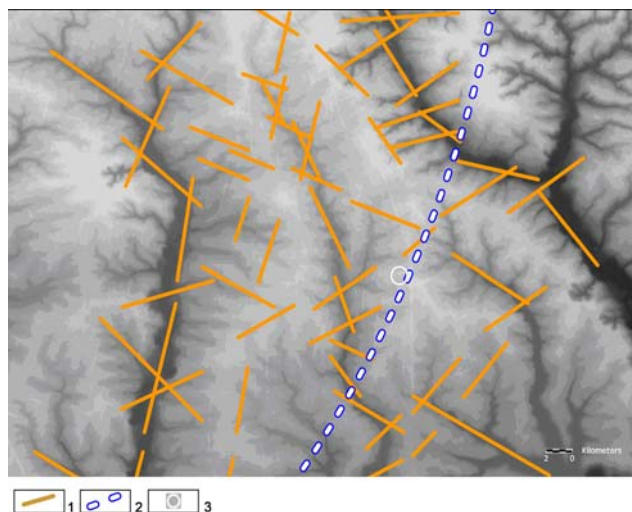


Рис. 2.13. Фрагмент картосхеми результатів регіонального структурного дешифрування перетвореного SRTM-зображення, отриманого з КА Shuttle (США) у лютому 2000 р. 1 — основні лінеamenti, що відображають розломно-блоковий каркас кристалічного фундаменту та осадового чохла; 2 — контур мезоморфоструктури, віддешифрованої на космічних зображеннях високого рівня генералізації, яка ймовірно відображає пов'язану з підкоровим магматизмом структуру; 3 — місцезона свердловини 400-Біляївська

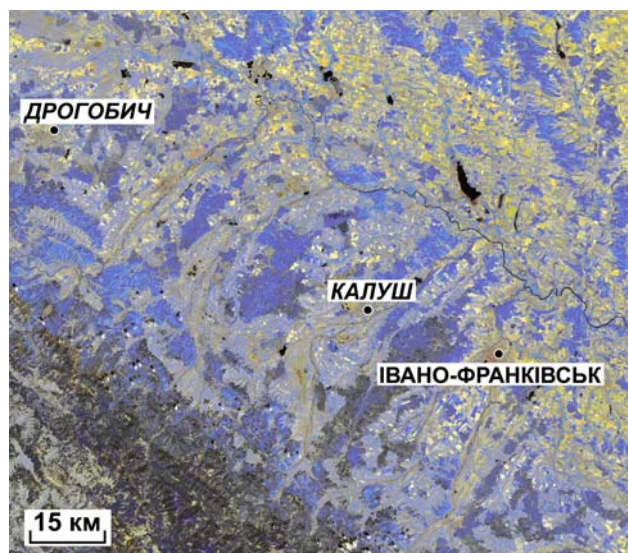


Рис. 2.14. Територія Прикарпаття. Фрагмент синтезованого багатоспектрального знімку Landsat ETM+ від 02.05.2000 р. (канали: 4-й, ближній інфрачервоний [0.75–0.90 мкм], 5-й, середній інфрачервоний (1) [1.55–1.75 мкм] і 7-й, середній інфрачервоний (2) [2.09–2.35 мкм]), псевдокольори. Простежуються різні типи природно-територіальних комплексів, гідрографічна й ерозійна мережі, площі відкритої водної поверхні, ділянки з різним типом рослинного покриття. Інші пояснення див. на рис. 2.11.

ДЗЗ (див. рис. 2.11–2.13), виділяються розривні порушення і розділені ними блоки земної кори з різними ландшафтними характеристиками і різними типами вираженості прогнозних або досліджуваних об'єктів, визначаються методи подальшого цифрового оброблення матеріалів.

Вже на етапі створення БЗ і БД та візуального аналізу даних починається виділення геоіндикаторів об'єктів пошуку (прогнозу). До таких об'єктів належать диз'юнктивні дислокації, тектонічні блоки з різним ступенем нафтогазо- або рудоносності, перспективні на пошуки вуглеводневих або рудних корисних копалин локальні структури, окремі розриви тощо. Виділення індикаційних ознак здебільшого виконується візуально (див. рис. 2.12, 2.13), іноді (при належних ландшафтно-геологічних умовах) і в автоматичному режимі як за вихідними дистанційними зображеннями, так і за знімками, що оброблені за спеціальними методиками, які дозволяють підсилити вираженість того або іншого геоіндикатора.

Важливою стадією оброблення багатозональних (гіперспектральних) даних ДЗЗ є аналіз відповідних знімків, який включає метод кольорових композицій, арифметичні операції з різними каналами зображень (див. рис. 2.9). Перший з них (метод кольорових композицій) ґрунтується на синтезі у псевдокольорах просторово сумішених зображень, що отримані в окремих вузьких діапазонах електромагнітного спектра та які передають яскравісні параметри природних об'єктів у цих зонах (рис. 2.14).

Методи, що використовують арифметичні опе-

рації, стосовно даних ДЗЗ у різних зонах спектра уможливають, як і метод кольорових композицій, виділення тонших відмінностей у відображенні різноманітних природних утворень на результуючих зображеннях, отриманих на основі зображень у цих зонах спектра. Зокрема, на рис. 2.15 представлено фрагмент NDVI-зображення, отриманого за даними багатоспектрального знімку Landsat ETM+ від 21.07.2002 р.

Відомо, що рельєф земної поверхні є одним з найвагоміших геоіндикаторів глибинної структури територій, що вивчаються. Зазвичай абсолютні відмітки рельєфу, а також геологічні (включаючи геохімічні, гідрогеологічні та ін.) та геофізичні дані подаються на картах у формі ізоліній. З метою інтеграції в комплексне цифрове оброблення даних їх необхідно мати (або потрібно перетворити) у форматі матриці значень. Причому це представлення (трансформування) повинно бути з кроком, який дорівнює розміру пікселя. Тобто необхідно отримати цифрову модель рельєфу денної поверхні (рис. 2.16), структурних горизонтів земної кори, цифрові моделі геофізичних, геохімічних полів тощо (див. рис. 2.9). Разом усі ці матеріали повинні формувати гіперкуб даних, що просторово поєднані за допомогою базової ПС.

Однією із стадій оброблення результатів дешифрування, зокрема, структурного, даних ДЗЗ є лінементний аналіз [53, 67, 68–74]. Схеми лінементного поля, які отримуються у процесі дешифрування, здебільшого відрізняються високою насиченістю у показі лінементів різного простягання. Зазвичай кількість лінементів є значною, хоча вони й не-

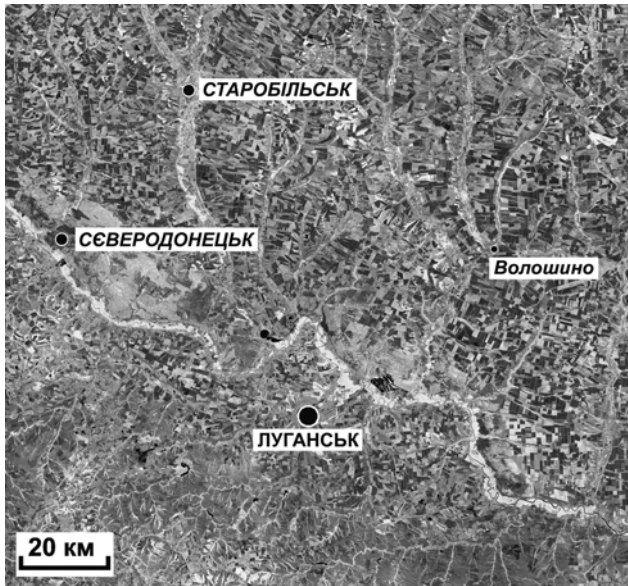


Рис. 2.15. Територія Північного борту південно-східної частини ДДЗ і прилеглих районів. Фрагмент NDVI-зображення за даними багатоспектрального знімку Landsat ETM+ від 21.07.2002 р. Диференціюються різні типи природно-територіальних комплексів і ділянки з різним видом рослинності, проявляються гідрографічна та ерозійна мережі, ділянки зволжених ґрунтів

рівномірно поширюються по території досліджень від площі до площі (див. рис. 2.13). Як наслідок, безпосередня ідентифікація за ними розривних порушень, зон напружено-деформаційного стану, ступеня розкритості порід ускладнена. Для адекватного вирішення цих завдань, а також з метою оцінки ступеня тріщинної проникності гірських утворень здійснюється формалізація результатів дешифрування, отримуються кількісні характеристики розподілу лінеamentів по площі, розподілу їх за азимутами простягання (рис. 2.17), а в подальшому аналізуються та описуються ці статистичні параметри, що одержані для всього поля лінеamentів.

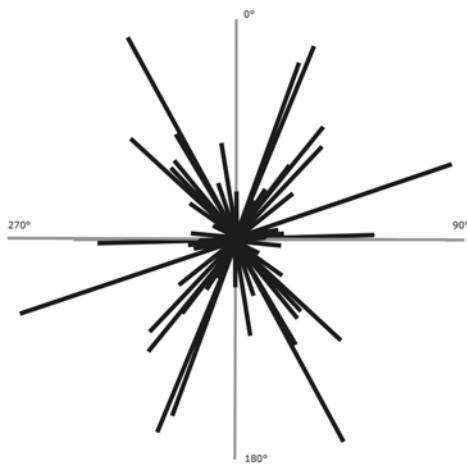


Рис. 2.17. Роза-діаграма розподілу лінеamentів Північного борту ДДЗ (Охтирська ділянка) за азимутальними напрямками в результаті оброблення матеріалів структурного дешифрування даних ДЗЗ і топокарт з застосуванням спеціалізованої комп'ютерної програми лінеamentного аналізу. Інтервал усереднення — 2°. Побудовано з використанням даних [76]

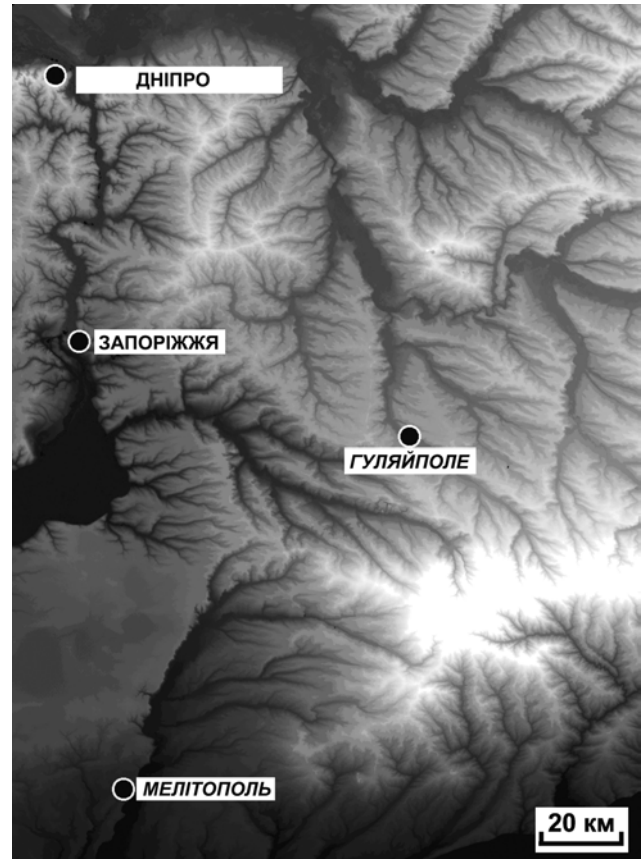


Рис. 2.16. Територія Оріхово-Павлоградської шовної зони і прилеглих районів УЩ. Фрагмент створеної й комп'ютерно перетвореної мозаїки SRTM-зображень, отриманих на підставі даних КА Space Shuttle. Пізнаються гідрографічна та ерозійна мережі, якісно оцінюється відносне перевищення у рельєфі земної поверхні

Етап IV. Комплексний аналіз і геологічна інтерпретація інтегрованої в ГІС інформації.

Для встановлення зв'язків між моделями, що отримані на етапі оброблення даних, і глибинними геологічними структурами, а також з метою визначення найінформативніших геоіндикаторів для формування прогнозних моделей здійснюється комплексний аналіз інформації. Він поділяється на два підетапи, що виконуються послідовно.

На першому підетапі на основі концептуальної моделі аналізуються окремі ознаки: вихідні дані ДЗЗ, результати їх оброблення, схеми геоіндикаторів та їхні характеристики.

На другому підетапі аналізуються окремі схеми і моделі, що побудовані за декількома ознаками.

Комплексний аналіз інформації реалізується різними способами (див. рис. 2.9):

- візуальним пошаровим зіставленням різних даних;
- методами аналізу багатовимірних даних.

Перший з цих способів (візуальне пошарове зіставлення даних на екрані комп'ютера) є найшвидшим і найпростішим способом комплексного аналізу. Він може виконуватися з допомогою будь-якої векторної ГІС. Послідовне накладання вектор-

них шарів дозволяє виявити найзагальніші закономірності розміщення розломно-блокових полів, родовищ, покладів і проявів корисних копалин (зокрема й нафти та газу), простежити ступінь вираженості прогнозних або досліджуваних об'єктів у всіх шарах, що аналізуються тощо (рис. 2.18). Виділені нові характеристики об'єктів, які відрізняються від концептуальних або такі, що уточнюють їх, включаються у БД і БЗ. Отож здійснюється своєрідний зворотній зв'язок між структурними компонентами (етапами), які наповнюють технологічний ланцюг (блок-схему), що розглядається (див. рис. 2.9).

Методи аналізу багатовимірних даних (класифікація, головних компонент, кореляційний, регресійний, факторний аналіз тощо [52, 53, 68, 70, 72, 73, 75]) застосовуються з метою оцінювання структури і взаємозалежності даних, що використовують-

ся, їхньої ролі у відображенні різнорангових геологічних об'єктів, а також з метою встановлення ознак для побудови моделей прогнозу або тих, що досліджуються.

Отже, запропонована технологічна схема має модульний характер. Так, у залежності від рівня завдань дослідження пошукових (зокрема диз'юнктивних, нафтогазоперспективних або інших) геологічних об'єктів (глобальний, регіональний, зональний або локальний масштабні рівні), їх складності та повноти, а також від обсягу наявних дистанційних і геолого-геофізичних матеріалів можуть застосовуватися окремі її модулі (складові частини).

Розроблена технологічна схема апробована і практично реалізована при вивченні характеристик розривних порушень земної кори в умовах різної ландшафтно-геологічної будови України [67, 73, 76].

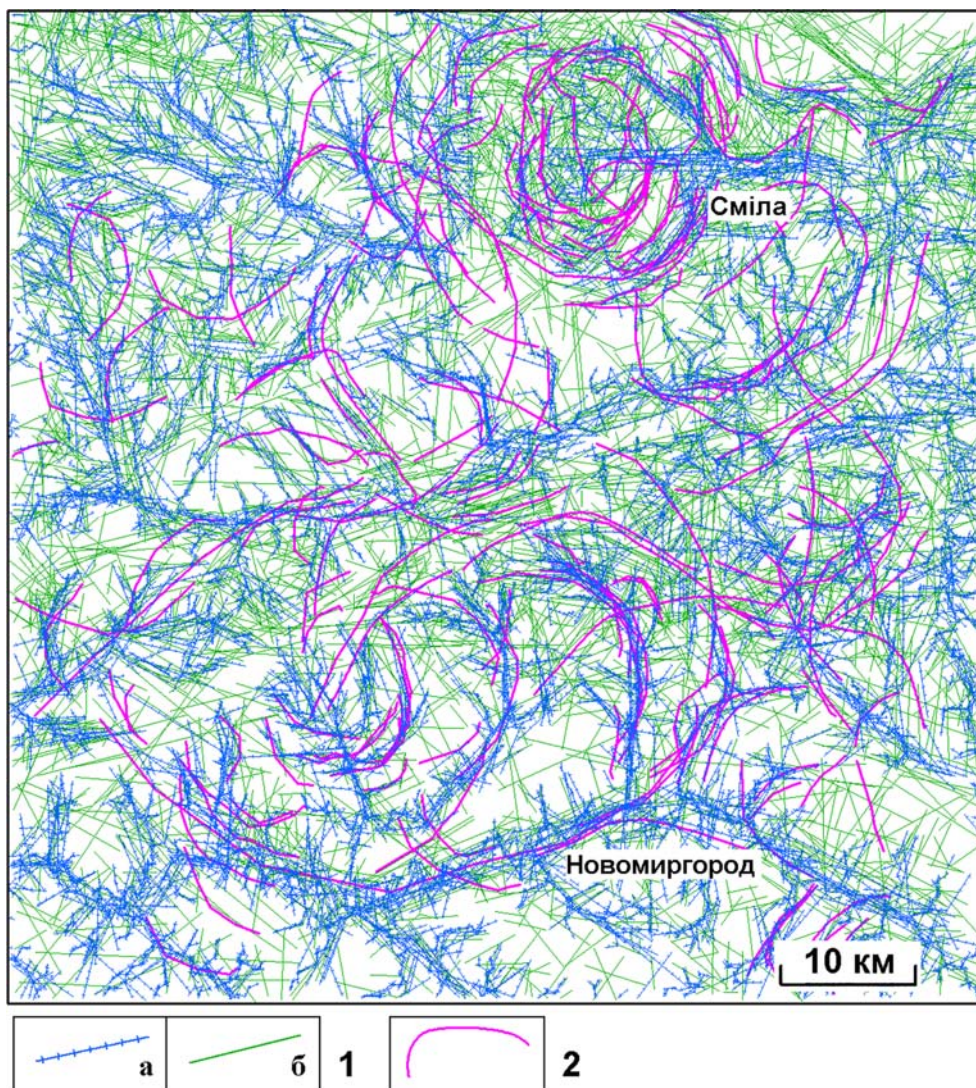


Рис. 2.18. Зведена схема лінементів і кільцевих структур території топографічного аркуша М-36-XXVI (Сміла), УЩ, за даними дешифрування матеріалів ДЗЗ.

1 — лінементи, виділені: а) за геоіндикаторами ерозійної (ярочно-балкової) мережі, б) за ґрунтово-геоботанічними геоіндикаторами; 2 — кільцеві, дугоподібні та криволінійні елементи ландшафту

2.5. Інформаційно-аналітичне забезпечення оцінки мінливості товщин відкладів, перспективних на вуглеводні, у межах Дніпровсько-Донецької западини

Розглянемо застосування запропонованої вище технологічної схеми на прикладі території Білоцерківсько-Остап'ївського виступу південного борту ДДЗ, а також Довгалівсько-Лакизинської ділянки Дніпровського грабену западини. Насамперед звернімо увагу на територію **Білоцерківсько-Остап'ївського виступу** південного борту і прилеглої частини південної прибортової зони центрального грабену ДДЗ (рис. 2.19), межа між якими у цьому районі проявляється [77] нечітко (рис. 2.20).

Район, вихідні дані та методи дослідження

Територія Білоцерківсько-Остап'ївського виступу південного борту западини, згідно з уявленнями останніх років [78], являє інтерес щодо пошуків покладів нафти та газу в утвореннях верхньодевонсько-нижньокам'яновугільних літолого-стратиграфічних комплексів з огляду на доведені високі фільтраційно-ємнісні властивості їхніх горизонтів різного літологічного складу (пісковики, вапняки, алевроліти, брекчії тощо). Вони слугували канала-

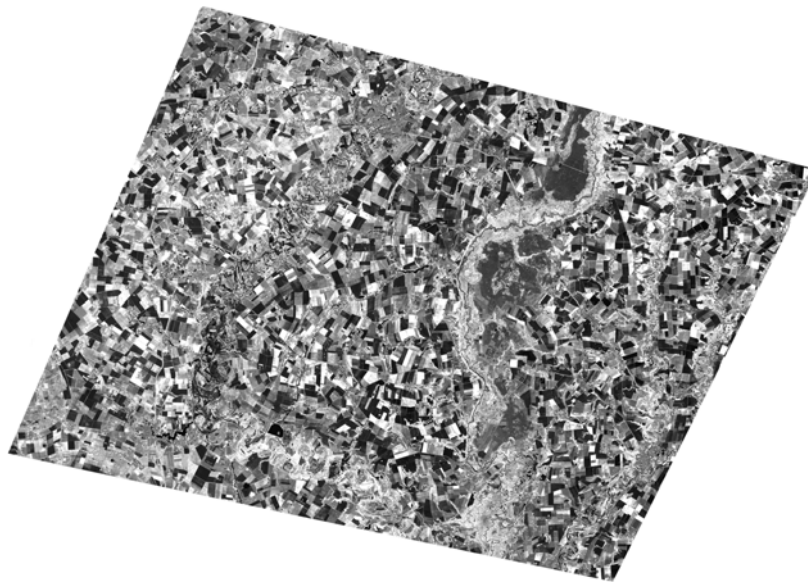


Рис. 2.19. Територія Білоцерківсько-Остап'ївського виступу південного борту і прилеглої частини південної прибортової зони ДДЗ. Фрагмент перетвореного багатоспектрального знімка Landsat ETM+ від 14.05.2002 р. (4-й, ближній інфрачервоний, канал, 0.75-0.90 мкм)

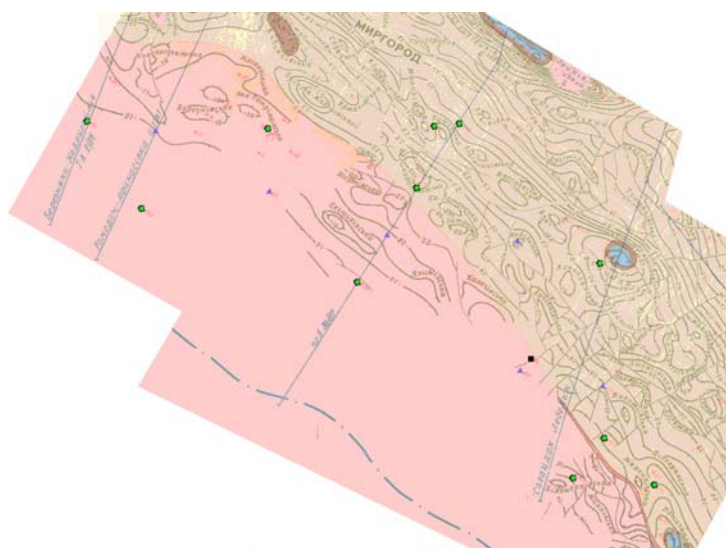


Рис. 2.20. Фрагмент структурно-тектонічної карти ДДЗ масштабу 1:200 000 (район Білоцерківсько-Остап'ївського виступу південного борту і прилеглої частини південної прибортової зони) з винесеними ізогіпсами відбиваючих горизонтів візейського ярусу нижнього карбону та точками досліджень. Зеленими кружками з чорними контурами позначено еталонні точки (свердловини), синіми трикутниками — досліджені площі (точки прогнозу), чорним квадратом — контрольна точка (свердловина). Складено з використанням матеріалів праць [77, 78, 80]

ми міграції ВВ на значні відстані та акумуляції їх у сприятливих умовах — пастках. На прямі ознаки нафтогазоносності вказують керни зі свердловин (зокрема Великобагачанської площі) з насиченням нафтою, запахом нафти чи конденсату, бітумами у тріщинах і брекчіях, дані газового каротажу. До опосередкованих ознак належать припливи й півки нафти з водою при розбурюванні певних інтервалів, фонтанні газопрояви, розгазування глинистого розчину та інші геолого-геофізичні дані.

У підсолевих відкладах і хомогенній товщі девону в межах району, що описується, прогноуються тектонічно екрановані пастки [78], з чим ми цілком погоджуємося. Пасткоутворенню може сприяти низка неузгоджених скидів, що, очевидно, контролюють системи підняття у межах борту, а також серія субмеридіональних скидів, які утворюють тектонічний кут із західною гілкою південного крайового розлому [79] (див. рис. 2.20).

На наш погляд, у цих породах можливий також розвиток пасток літолого- і стратиграфічно екранованого, а також комбінованого типів, особливо у периферійних частинах припіднятих блоків. При цьому пластові соленосно-карбонатно-теригенні відклади, що, вірогідно, поширені по всій території Білоцерківсько-Остапівського виступу південного борту ДДЗ, створюють флюїдоупорні умови, унеможливають вертикальну міграцію ВВ з підсолевих відкладів чи із тріщин докембрійського фундаменту в горизонти надсолевого структурного поверху. А власне якісними флюїдоупорами служать пласти галіту в перешаруванні з аргілітами й алевролітами.

Окреслений район характеризується слабкою вивченістю підсолевого комплексу порід рідкою мережею свердловин глибокого буріння (див. рис. 2.20, 2.21, табл. 2.1) та окремих сейсморозвідувальних регіональних профілів (РП) методом спільної глибинної точки (МСГТ) (див. рис. 2.20, 2.22). Рідка мережа профілів площевої 2D сейсморозвідки МСГТ

також не дає можливості чітко ідентифікувати утворення зазначеного комплексу в усьому його розрізі. Відклади підсолевого (або дорифтово-рифтового) комплексу складають ейфельсько-верхньофранський (воронізький) піщано-глинистий, сульфатно-карбонатно-пірокластичний структурно-формаційний комплекс (СФК) ДДЗ, який позначається як $D_{2ef-zh} + D_3[fr_1 + fr_2 + fr_3 (vr)]$, або D_{2-3}^1 , і виділяється усіма геологами-стратиграфами і літологами, що вивчали регіон [57, 59, 80–85]. За даними регіональних досліджень мінливість товщини порід цього СФК по території незначна, проте гіпсометричні рівні їх залягання бувають відмінні, що зумовлено блоковою тектонікою товщі (розривні порушення проникають в неї з кристалічного фундаменту).

Отже, зважаючи на порівняно однорідну геологічну будову району Білоцерківсько-Остапівського виступу південного борту і прилеглої частини південної прибортової зони ДДЗ, який приймемо за своєрідний полігон, відносно невеликі глибини залягання (2–3 км) потенційних щодо основних міграційно-генераційних процесів горизонтів осадового чохла, а також враховуючи набутий нами досвід досліджень стосовно застосування математичних методів просторової інтерполяції відомих інформативних ознак (геологічних параметрів), що можуть характеризувати перспективи нафтогазоносності [86–90], розглянемо можливість використання методу оптимальної інтерполяції Колмогорова [94] для визначення товщини підсолевих відкладів девону (нафтогазоперспективних порід) на конкретно виділених площах території. На прив'язаний до базової системи координат структурно-тектонічний карті району ДДЗ, що вивчається (див. рис. 2.20), точки (свердловини) з наявними даними з товщини СФК D_{2-3}^1 (див. табл. 2.1) і точними прямокутними координатами відмічені чорними кружками з зеленими осередками.

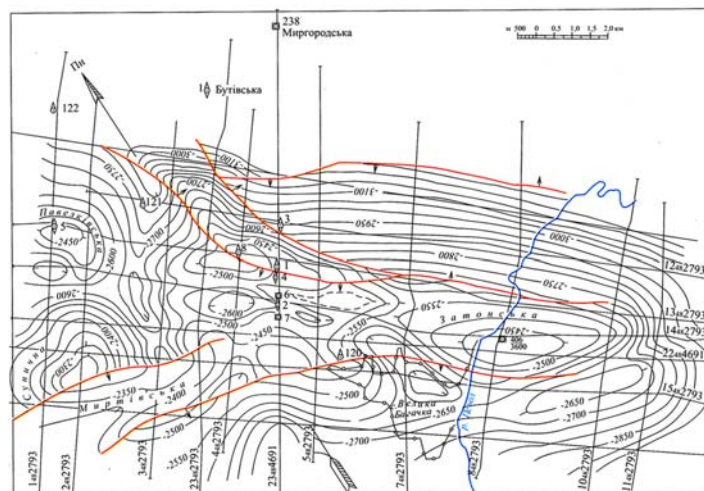


Рис. 2.21. Район Великобагачанської площі. Структурна карта поверхні соленосної товщі девону [78]

Таблиця 2.1.

Відомості про свердловини, що розкрили відклади підсольового девону (СФК D2-31) (складено з використанням матеріалів буріння глибоких свердловин та праць [78, 80]).

№ з/п	Площа	№ свердловини	Alt, м	Відмітка вибою, м	Стратиграфічний рівень вибою	Відмітка фундаменту, м	Відмітка покрівлі СФК D ₂₃ ¹ , м	Товщина СФК D ₂₃ ¹ , м	Характеристика порід, що залягають вище	
									Стратиграфічний рівень	Склад
1.	Березівська	234	145.0	-2629	РЄ	-2597	-2030	567	D ₃ ²	безсольовий аналог
2.	Білоцерківсько-Остапівська	232	135.5	-2148	РЄ	-2138	-1637	561	D ₃ ²	глинисто-алевролітові відклади
3.	Петрівцівська	10	99.8	-3040	РЄ	-3020	-2894	126	D ₃ ²	чергування шарів солі різної товщини зі щільними породами
4.	Білоцерківсько-Остапівська	231	135.6	-2074	РЄ	-2063	-1669	394	C _{1v2}	горизонт В-18
5.	Великобагачанська	7	140.0	-3637	РЄ	-3460	-2920	540	D ₃ ²	чергування солі з сульфатно-карбонатними породами.
6.	Бутівська	1	138.5	-3295	РЄ	-3231	-2982	249	D ₃ ²	теригенами безсольовий аналог
7.	Миргородська	238	177.1	-3885	РЄ	-3674	-3286	388	D ₃ ²	безсольовий аналог
8.	Сагайдацька	56	148.4	-5083	РЄ	-4932	-4627	305	D ₃ ²	сіль з окремими прошарками щільних порід
9.	Білоцерківсько-Остапівська	230	136.9	-1847	D ₂₃ ¹	—	-1528	319* (325*)	C _{1v2}	горизонт В-17
10.	Білоцерківсько-Остапівська	233	120.5	-2521	РЄ	-2480	-2100	380	D ₃ ²	безсольовий аналог
11.	Підгорянська	239	95.4	-3571	РЄ	-3546	-3109	437	D ₃ ²	сіль з кепроком

* — відкрита товщина СФК D2-31;

* — очікувана товщина СФК D2-31, що прийнята для розрахунку.

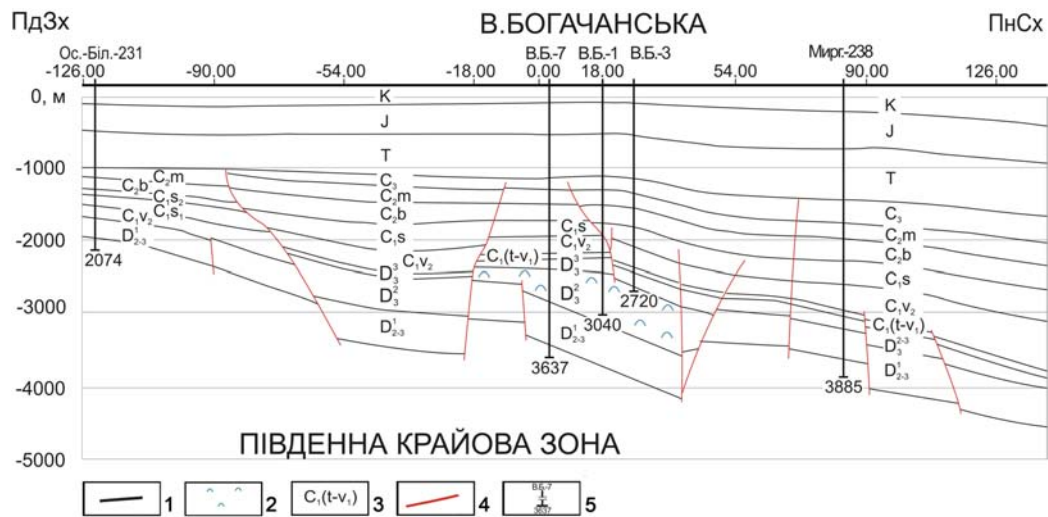


Рис.2.22. Геологічний розріз осадового чохла за даними інтерпретації фрагмента РП МСГТ В. Багачка (Синівка у межах Білоцерківсько-Остапівського виступу південного борту і прилеглої частини південної прибортової зони ДДЗ (побудовано О. Т. Азімовим з використанням матеріалів буріння глибоких свердловин і даних праць [78, 80, 84 та ін.]).

1 — межі сейсмостратиграфічних комплексів; 2 — соленосні фації; 3 — позначення стратиграфічних комплексів; 4 — розривні порушення; 5 — пробурені глибокі свердловини, що розташовані на профілі (в усті вказані назви площ й номери свердловин в їх межах, у вибійній частині вказана глибина вибою, м)

Застосовуючи розроблений Л. Ф. Даргейко алгоритм, нами виконано розрахунок указаних вище необхідних параметрів для просторової інтерполяції значень товщини ейфельсько-верхньофранського СФК у межах території досліджень. При цьому під час розв'язання контрольних прикладів для апроксимації кореляційної функції використовувався метод апроксимації кубічними сплайнами як ай-більш точний. Отримані оцінки значень товщини підсолевого комплексу девону для досліджуваних площ [87–90] представлені у табл.2.2.

Обговорення результатів дослідження

Звичайно, відповідно до теоретичного обґрунтування методу оптимальної інтерполяції Колмогорова для задовільної оцінки значень кореляційної функції бажано набрати 8–10 пар еталонних точок,

що розташовані приблизно на однаковій відстані одна від одної (щоб зсуви були однаковими). У нашому ж разі число цих пар лише 5–6, що є певним недоліком. Разом з тим вираховані дані товщини підсолевого СФК оцінюються задовільними для регіонального масштабного рівня вивчення території. Зокрема, контрольна точка — свердловина Білоцерківсько-Остапівська-23 у межах бортового схилу відповідного виступу зі значенням товщини досліджуваного комплексу порід 335 м, що розташована у двох кілометрах північно-східніше від вимірної точки № 15 (район свердловини Білоцерківсько-Остапівської-21, де товщина оцінена у 332 м (див. рис. 2.20) позначена чорним квадратом, та див. табл. 2.2) — підтверджує високу точність виконаного розрахунку (відносна похибка становить лише близько 1%). Проте, за матеріалами глибокого бурі-

Таблиця 2.2.

Місцезонавання і прогнозовані товщини підсолевого СФК девону (D_{2-3}^1) досліджених площ (точки)

№ з/п	Розташування досліджених площ	№№ свердловин на структурах	Площа	Координати*		Оцінена товщина ФК D_{2-3}^1 , м
				Х, м	У, м	
12.	На РПМСТ Ромодан-Афанасівка	—	бортовий схил	1942294	525473.74	427
13.	Свердловина Петрівцівська-14	14	Петрівцівська	31995.76	519219.17	273
14.	На РПМСТ В. Багачка-Лебедин приблизно посередині між св. Білоцерківсько-Остапівською-231 і Великобагачанською-7	—	бортовий схил	44851.33	514907.34	436
15.	Білоцерківсько-Остапівський виступ	21	бортовий схил	59790.04	500739.11	332
16.	Північно-західна перикліналь Колонітвської структури	429	Колонітвська	68784.66	499215.27	353
17.	Солетіння Подільської структури	—	Подільська	59025.27	514527.81	374

* — координати умовні.

ння відомо [80], що лише розкрита товщина комплексу D_{2-3}^1 у свердловині Білоцерківсько-Остапівській-21 складає 549 м (вибій свердловини на глибині – 2949 м у підсолевих утвореннях девону, покрівля яких має позначку – 2400 м). Отож відносна похибка становить щонайменш 40%, що загалом характерно для істотних перепадів поля на невеликих відстанях. Це, вочевидь, притаманно для досліджуваного параметра товщини на деяких площах території робіт загалом (здебільшого в районах локальних підняттях, піднесених блоків тощо).

Отже, надалі для більш коректного аналізу проведених вирахувань товщини підсолевого СФК у точках інтересу необхідно оцінити їх у цих точках за даними РП МСГТ Ромодан-Афанасіївка, В. Багачка-Лебедина, а також за архівними матеріалами буріння глибокої свердловини Петрівцівська-14 та свердловини № 429 у межах північно-західної перикліналі Колонтаївської структури (у разі, якщо ці свердловини пройшли увесь або ж принаймні значний розріз порід ейфельсько-пізньофранського віку).

У подальшому, використовуючи можливості пакету програм ArcGIS 9.2 стосовно просторових інтерполяцій, побудовано картосхему вирахування значень поля товщин підсолевого СФК (D_{2-3}^1) в ізолініях. Зазначена інтерполяція наявних значень товщини по району досліджень (з урахуванням як еталонних, так і точок прогнозу за методом Колмогорова) виконана за методом звичайного кригінгу (*Ordinary Kriging*). У результаті вперше для району Білоцерківсько-Остапівського виступу південного борту і прилеглої частини південної прибортової зони центрального грабену ДДЗ побудовано відповідну ізолінійну картосхему прогнозованого площового розподілу зазначених товщин (рис. 2.23), а також тривимірне зображення розподілу поля цього параметра (рис. 2.24).

З отриманої картосхеми видно загалом нерівномірний по площі розподіл товщини ейфельсько-

верхньофранського комплексу. Звертають на себе увагу зонально-локальні мінімуми значень на Петрівцівській (точка 3), Бутівській (точка 6) і Сагайдацькій (точка 8) площах. Натомість Березівська (точка 1), Великобагачанська (точка 5) і Підгорянська (точка 11) площі, а також район свердловини Білоцерківсько-Остапівська-232 (точка 2) характеризуються збільшеною товщиною СФК D_{2-3}^1 . Градієнтні зони на картосхемі, очевидно, відображають поховані зони диз'юнктивних структур. Побудови у південно-західній частині району робіт, на нашу думку, є мало імовірними з огляду на відсутність конкретних еталонних точок.

Висновки і перспективи подальших досліджень Білоцерківсько-Остапівської ділянки

Отже, застосовуючи метод оптимальної просторової інтерполяції Колмогорова, на прикладі підбраного й аргументованого Білоцерківсько-Остапівського полігону ДДЗ, по території якого зібрано ряд дистанційних (див. рис. 2.19) геолого-геофізичних даних (матеріали глибокого буріння свердловин та їх випробувань, сейморозвідки МСГТ тощо [78, 80, 84]; див. рис. 2.20–2.22 та табл. 2.1). У результаті виконано розрахунок товщини нафтогазоперспективного підсолевого ейфельсько-верхньофранського (воронізького) СФК (D_{2-3}^1) на площах інтересу (див. табл. 2.2). Попередньо оцінено інформативність розрахованих даних як задовільну для стадії регіонального дослідження території.

Залучаючи можливості ArcGIS 9.2, виконано просторову ізолінійну інтерполяцію значень підсолевого СФК за методом звичайного кригінгу. Вперше для району робіт побудовано відповідну картосхему площового розподілу вказаного параметра (див. рис. 2.23).

Наведені прогнози товщини підсолевого комплексу девону в подальшому, як додатковий інформативний матеріал, можуть використовуватися при

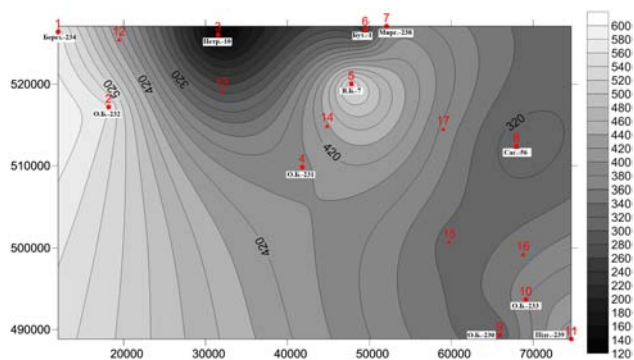


Рис. 2.23. Район Білоцерківсько-Остапівського виступу південного борту і прилеглої частини південної прибортової зони центрального грабену ДДЗ. Площовий розподіл товщини підсолевого СФК девону (D_{2-3}^1 , м) за даними буріння глибоких свердловин і просторових інтерполяцій за методами Колмогорова та звичайного кригінгу (координати умовні, м). Кругами позначено еталонні точки (свердловини, див. табл. 2.1), трикутниками — досліджені площі (точки прогнозу, див. табл. 2.2)

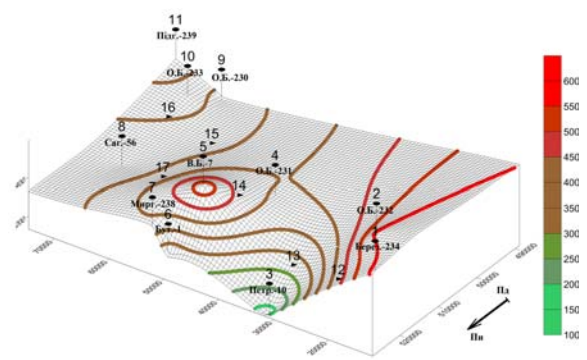


Рис. 2.24. Район Білоцерківсько-Остапівського виступу південного борту і прилеглої частини південної прибортової зони центрального грабену ДДЗ. Тривимірне зображення розподілу поля товщини підсолевого СФК девону (D_{2-3}^1 , м) за даними буріння глибоких свердловин і просторових інтерполяцій за методами Колмогорова та звичайного кригінгу (координати умовні, м). Кругами позначено еталонні точки (свердловини, див. табл. 2.1), трикутниками — досліджені площі (точки прогнозу, див. табл. 2.2)

плануванні обсягів польових площових сейсморозвідувальних досліджень МСГТ, а також у процесі вибору місць закладання параметричних свердловин глибокого буріння. Останні, на наш погляд, повинні пройти розріз як карбонових утворень, так і всі СФК девону й увійти у породи кристалічного фундаменту.

На перспективу варто було б дослідити (виміряти) значення товщини ейфельсько-пізньофранського комплексу в межах вже відібраних площ (точках прогнозу) шляхом здійснення просторової інтерполяції за методом звичайного кригінгу, застосовуючи, наприклад, можливості ArcGIS 9.2. А потім порівняти їх з аналогічними, вирахованими за методом Колмогорова параметрами і завірковими геолого-геофізичними даними (очевидно, останні потребують поповнення з архівних джерел). Таким чином можна буде встановити, який з зазначених методів є більш точним для умов території робіт.

Необхідно також верифікувати можливості зазначених методів просторової інтерполяції даних у межах іншого полігону (полігонів) досліджень на території ДДЗ. Вони повинні бути ретельно обґрунтовані, забезпечені базовим комплексом матеріалів геолого-геофізичних і дистанційних досліджень.

Нижче на прикладі **Довгалівсько-Лакизинської ділянки** (рис. 2.25) детальніше проаналізуємо результати встановлення значень і вивчення закономірностей площової мінливості різноманітних структурно-літологічних параметрів осадових утворень продуктивного горизонту (ПГ) В-21 у породах пізньовізейського віку раннього карбону (C_1v_2) з використанням методів підвищення просторового розрізнення геолого-геофізичних даних (методів просторової інтерполяції даних), а саме — методу кригінгу. Це такі параметри, як відмітка підосви зазначеного ПГ, загальна його товщина, а також тов-

щина піщаних пластів у його розрізі (позначимо їх як параметри 1, 2 і 3). Регуляризація цих параметрів по всій ділянці, що розглядається, у подальшому потрібна для виявлення кореляційних зв'язків між геологічними, геофізичними і вимірними за даними ДЗЗ ландшафтними параметрами, які формуватимуть відповідну матрицю їх значень.

Характеристика району дослідження

Довгалівсько-Лакизинська ділянка стосовно тектонічного районування [95] приналежна до центральної зони Дніпровського грабену ДДЗ. По території ділянки зібрано ряд апріорних геолого-геофізичних даних (матеріали буріння глибоких свердловин та їх випробувань, сейсморозвідки МСГТ, матеріали з тектоніки, палеорекоконструкцій, дані з особливостей нафтогазоносності тощо; див. рис. 2.25, 2.30) [77,91–95]. Особливо слід підкреслити, що за даними буріння свердловин і каротажу в них підібрано значення відмітки підосви ПГ В-21, а також самостійно обчислено загальну його товщину. На підставі опрацювання матеріалів досліджень [96] отримано товщину піщаних пластів у межах ПГ В-21 (табл. 2.3).

У структурному сенсі ділянка приурочена до розлогого північно-східного, майже моноклінального схилу Срібнянської депресії западини. Вона характеризується порівняно однорідною геологічною будовою (рис. 2.26). У межах ділянки розміщене Волошківське газоконденсатне родовище, що перебуває у розробці [96] (див. рис. 2.26, 2.30). Під час випробування у 1983 р. параметричної свердловини 314, яка забурена на площі в 1981 р., з верхньовізейських відкладів (інтервал 4910–4952 м, ПГ В-21) отримано промисловий приплив газу дебітом 332 тис. м³ та конденсату — 164 т на добу [92]. У 1983 р. родовище прийняте на Державний баланс. Одночасно з цим проводилися пошуки нових родовищ на південь (Карпилівська площа) і захід (Зимницька та Горківська) від виявленого. Ці пошукові об'єкти спочатку вважалися окремими тектонічними блоками монокліналі.

З п'яти свердловин Зимницького блока тільки в одній (св. 3) отримано промисловий приплив газоконденсату, що стало підставою для включення його в 1991 р. до Державного балансу. Як з'ясувалося згодом, це була лише північно-західна частина покладу горизонту В-21 Волошківської площі. На півдні свердловинами 4, 6, 9 і 10 відкрито ще одне скупчення газу в горизонті В-22. Його також прийняли за окреме Карпилівське родовище і включили в 1992 році до Державного балансу. Подальше вивчення цієї ділянки Срібнянської депресії показало, що це південна частина Волошківського родовища, але на 01.01.1994 р. у Державному балансі зареєстровано три окремих родовища: Волошківське, Зимницьке та Карпилівське [93].

Загалом пробурено одну параметричну, 18 пошукових і розвідувальних та 4 експлуатаційних сверд-

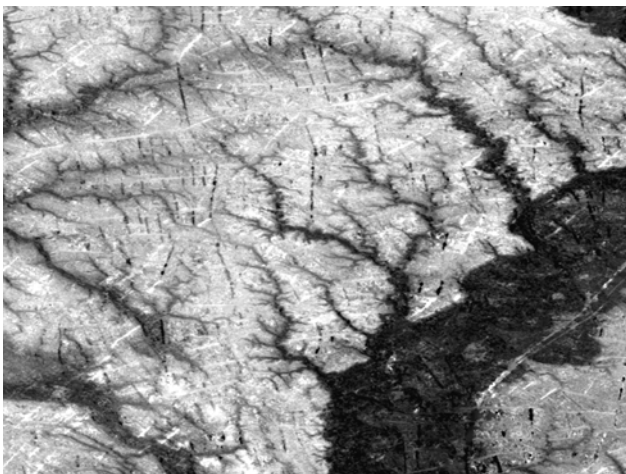


Рис. 2.25. Територія Довгалівсько-Лакизинської ділянки Дніпровського грабену ДДЗ. Фрагмент перетвореного сканерного космічного знімка ASTER GDEM

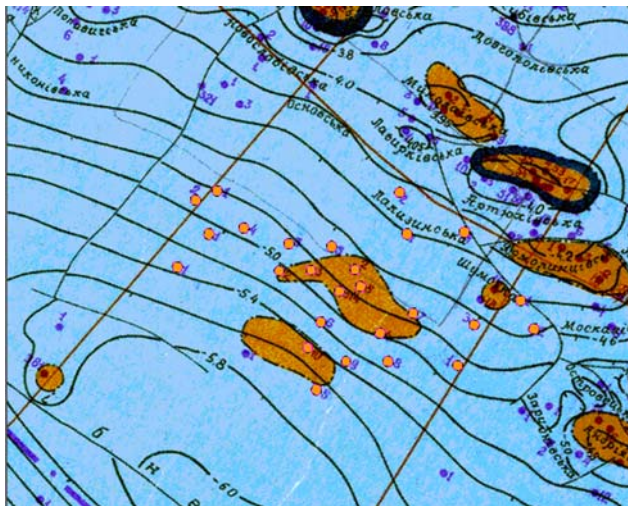


Рис. 2.26. Район Довгалівсько-Лакизинської ділянки. Картосхема розташування свердловин глибокого буріння, які в дослідженні взяті за еталонні (або опорні — кружки оранжевого кольору) на фоні фрагмента структурно-тектонічної карти ДДЗ масштабу 1:200 000 з винесеними ізогіпсами відбиваючих горизонтів візейського ярусу нижнього карбону. Складено з використанням матеріалів [77]

ловини, які розкрили розріз карбонатно-теригенних порід від четвертинних до нижньокам'яновугільних.

Родовище розташоване в межах монокліналі, яка занурюється в південно-західному напрямку під кутом 8–10°. Вона порушена згідним скидом амплітудою 40–50 м. Газоконденсатні скупчення горизонтів В-21 і В-22 пов'язані з пластами піщаних порід-колекторів, які по здиманню заміщуються непроникними глинистими відкладами. Крім того, поклад горизонту В-21 з південного сходу екранований порушенням.

Дослідно-промислова експлуатація покладу горизонту В-21 розпочалася на Волошківській ділянці в 1981 р., а згодом вона охопила і Зимницьку його частину, з якої на 01.01.1994 р. видобуто 23 млн м³ газу і 6 тис. т конденсату. Початковий пластовий тиск у скупченні горизонту В-21 становив 54,7 МПа. Характер залежності між динамікою його зниження та накопиченим видобутком газу підтверджує запаси газу, визначені об'ємним методом. Невисокий щорічний рівень його відбору (7,4% початкових запасів) не дозволяє однозначно встановити режим розробки покладу. Враховуючи складну геологічну будову резервуарів та досвід розробки родовищ північно-західної частини регіону передбачається, що і в подальшому він буде газовим. Поклад горизонту В-22 не розроблявся. На 01.01.1991 р. з родовища відібрано 376,1 млн м³ газу та 171 тис. т конденсату [92].

Подальші перспективи нафтогазоносності Довгалівсько-Лакизинської ділянки вбачаються нами з огляду на міркування, що викладені у публікації [95]. Так згідно з побудованими її авторами структурни-

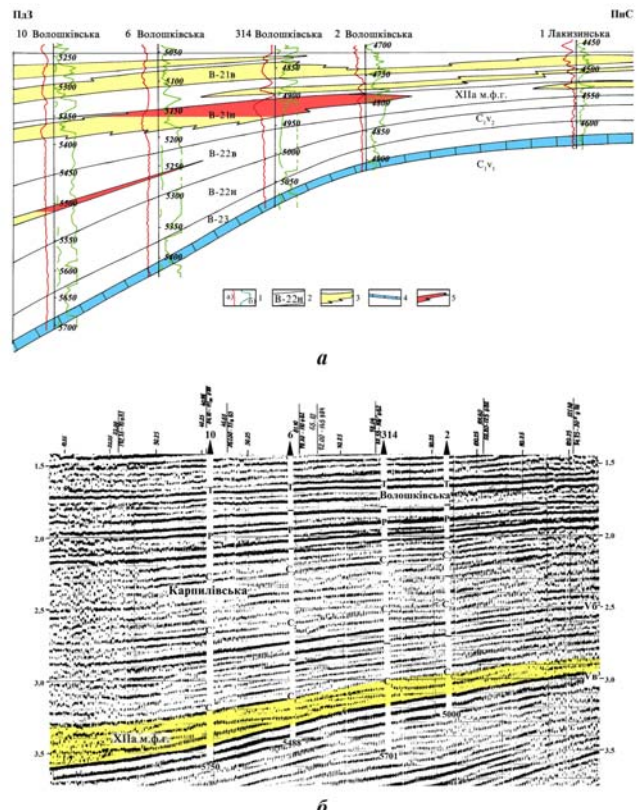


Рис. 2.27. Палеогеографічний розріз відкладів XIIа мікрофауністичного горизонту (м.ф.г.) Волошківського газоконденсатного родовища (а) з фрагментом часового розрізу МСГТ 15 9 80 (б) [98]

1 — коротагні криві; а — спонтанної поляризації, б — позірною опору; 2 — продуктивні горизонти; 3 — пісковики; 4 — вапняки; 5 — поклади ВВ

ми картами покривел верхньовізейської карбонатної “плити”, ПГ В-22, В-21 у межах Довгалівсько-Лакизинської ділянки у цих відкладах безперспективні подальші пошуки антиклінальних або тектонічно екранованих пасток ВВ. У той же час прогнозується наявність перспективних неантиклінальних пасток ВВ у ПГ В-23, В-22, В-21, численних біогермів у верхньовізейській карбонатній “плиті”.

На підставі даних сейсмофаціального аналізу, проведеного в межах Волошківської і частково Зимницької ділянок, доводиться [95], що промислові припливи газу і конденсату ПГ В-21 пов'язані з акумулятивними зонами дельтового походження. Максимальні припливи ВВ (св. 314) досягнуті при розкритті депоцентру дельтових відкладів ПГ В-21в. При цьому піски гирлових барів, русел, уздовжберегових валів надійно прикриті морськими глинами з високими покришковими властивостями, що забезпечує наявність високоперспективних пасток і заповнення їх ВВ. Як свідчать результати буріння і проведених сейсмостратиграфічних досліджень на Волошківській і Зимницькій ділянках, перспективними є піщано-алевролітові відклади ПГ В-21 у середній і південно-східній частинах площі досліджень. Згідно з проведеним сейсмофаціальним аналізом по ПГ В-21 у межах Волошківської й Зимниць-

Таблиця 2.3.

Характеристика структурно-літологічних параметрів осадових утворень продуктивного горизонту В-21 (C_1v_2) за даними буріння глибоких свердловин і каротажу (складено з використанням матеріалів праць [97, 100])

№ з/п	Площа		№ свердловини	Координати,м*		Відмітка підпошви,м	Товщина,м	Товщина піщаних пластів
	№ точка			X	Y			у межах
								ПГ В-21,м
1.	1	Волошківська	2	11624.78	616348.14	4840	52	4
2.	2	Волошківська	3	9262.28	616335.02	5070	134	97
3.	3	Волошківська	4	13000.41	612938.92	5126	118	52
4.	4	Волошківська	5	11903.30	615429.00	4813	51	20
5.	5	Волошківська	6	09790.56	613552.52	5285	131	38
6.	6	Волошківська	7	14725.56	614028.3	4884	64	1
7.	7	Волошківська	8	13373.69	611429.55	5272	180	11
8.	8	Волошківська	9	11138.22	611434.24	5403	138	36
9.	9	Волошківська	10	9094.94	612171.11	5522	166	54
10.	10	Волошківська	314	10781.50	615199.70	4970	61	43
11.	11	Карпівська	5	9560.88	609930.02	5610	163	70
12.	12	Горківська	1	3812.13	618264.39	5205	130	немає даних
13.	13	Горьківська	2	7562.59	616298.92	5213	151	50**
14.	14	Зимницька	1	4245.25	620577.67	4905	95	немає даних
15.	15	Зимницька	2	3103.38	620078.92	5025	97	немає даних
16.	16	Зимницька	3	8077.75	617742.67	5010	98	20
17.	17	Зимницька	4	5675.88	618579.39	5070	122	13
18.	18	Зимницька	5	10368.06	617595.02	4864	74	8
19.	19	Олексинська	1	2135.41	616499.08	5365	90	немає даних
20.	20	Гудимська	1	17101.19	611229.39	4986	96	23
21.	26	Шумська	1	20467.75	614704.24	5476	186	55
22.	27	Шумська	2	21176.50	613175.17	5481	208	58
23.	28	Шумська	3	17980.56	613401.58	5340	260	74
24.	29	Шумська	4	17468.69	618372.67	5360	220	52
25.	30	Лакізінська	1	14397.44	618264.39	5424	183	56
26.	31	Лакізінська	2	14003.69	620495.64	4539	20**	20

* координати умовні;

** товща представлена лише продуктивним горизонтом В-21н (горизонт В-21в у розрізі не виділяється);

*** за даними графічної інтерполяції П. Коржнева [100]

кої ділянок встановлено, що у св. Волошківських — 1, 2, 3, 4, 30Д, 314 і Зимницькій-3 промислові припливи ВВ пов'язані з піщано-алевролітовими акумулятивними тілами дельтового походження.

На схемі перспективних дельтових акумулятивних зон у межах Волошківської і частково Зимницької ділянок ПГ В-21, побудованій за даними сейсмофаціального аналізу [95], виділяється Зимницько-Волошківська акумулятивна зона південно-східного простягання, в межах якої пробурені св. Зимницька-3, Волошківські-3, -314, -32, -1, -4, -30Д, які розкрили газоконденсатний поклад ВВ у ПГ В-21. На проміжку св. Зимницька-3—св. Волошківська-32 від Зимницько-Волошківської зони у східному напрямку відокремлюються дві гілки, що в свою чергу розгалужуються у східному і північно-східному напрямках. У межах розгалуженої північної гілки у св. Волошківська-2 отримано промислові припливи ВВ, а у св. Волошківська-5, яка розташована на північній границі південного розгалуження зони, одержано непромислові припливи. Св. 314 розміщена в депоцентрі в місці південного розгалуження Зимницько-Волошківської зони і розкрила пісковик гирлового бару, з якого отримано найбільший приплив ВВ у межах Волошківського родовища. Св. 4 і 30Д розкрили поклад у ПГ

В-21, найімовірніше, не у власне зоні, а трохи на північ у фації пляжних пісків, які є продуктом часткового розмиву акумулятивної зони у процесі її формування. В інших свердловинах у межах Волошківської й Зимницької ділянок, що розташовані за межами акумулятивних зон, відсутні припливи ВВ.

На підставі викладеного у межах Довгалівсько-Лакізінської площі по ПГ В-21 у майбутньому варто закартувати перспективні акумулятивні зони з виділенням в їх межах депоцентрів, як це частково зроблено по ПГ В-21 у межах Волошківського і Зимницького родовищ ВВ [95].

Результати

Отже, незважаючи на викладені вище уявлення про досить складні моделі пасток ВВ у межах Волошківсько-Зимницької площі, все ж візьмо до уваги порівняно однорідну для зонального масштабного рівня досліджень геологічну будову нижньокамяновугільної товщі на території Довгалівсько-Лакізінської ділянки центрального грабену ДДЗ. Ділянку прийmemo за своєрідний полігон й використаємо кригінг-метод детермінованої інтерполяції [97] для побудови структурної карти підпошви ПГ В-21, для визначення закономірностей площевої мінливості загальної

його товщини, а також товщини піщаних пластів у його розрізі по території, що вивчається.

Таким чином, застосовуючи можливості ArcGIS 9.2, яке здатне виконувати просторові інтерполяції різноманітних даних за методами кригінгу з вирисуванням відповідних ізолінійних картосхем, нами за методом звичайного кригінгу реалізовано розрахунок і прийоми відповідного картографічного представлення матеріалів з досліджуваних параметрів ПГ В-21 (відмітка його підосви, загальна тов-

щина, а також товщина піщаних пластів у його розрізі) у межах підібраної й аргументованої Довгалівсько-Лакизинської ділянки ДДЗ. Для зазначеної території побудовано 98, 99] структурну картосхему підосви ПГ В-21 (рис. 2.28), а також картосхеми прогнозованого площового розподілу загальної товщини цього горизонту (рис. 2.29) і товщини піщаних пластів, що входять до його складу (рис. 2.30). Крім цього, створено тривимірні зображення розподілу вказаних параметрів (рис. 2.31–2.33).

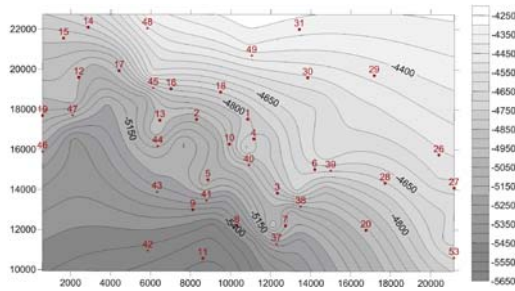


Рис. 2.28. Довгалівсько-Лакизинська ділянка ДДЗ. Структурна картосхема підосви ПГ В-21 (C_v , глибини u, m) за даними буріння глибоких свердловин [93] і просторової інтерполяції за методом звичайного кригінгу (координати умовні, m) [98, 99]. Кругами позначено еталонні точки (свердловини, див. табл. 2.3), трикутниками — площі, що становлять пошуковий інтерес

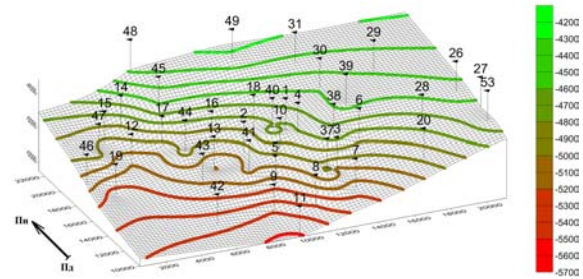


Рис. 2.31. Довгалівсько-Лакизинська ділянка ДДЗ. Тривимірне зображення структурної поверхні підосви ПГ В-21, m , за даними буріння глибоких свердловин [93] і просторової інтерполяції за методом звичайного кригінгу (координати умовні, m) [98, 99]

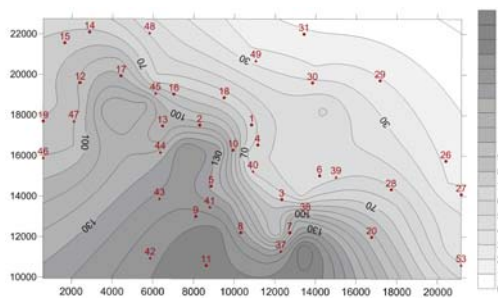


Рис. 2.29. Довгалівсько-Лакизинська ділянка ДДЗ. Картосхема прогнозного площового розподілу загальної товщини ПГ В-21, m , за даними буріння глибоких свердловин [93] і просторової інтерполяції за методом звичайного кригінгу (координати умовні, m). Кругами позначено еталонні точки (свердловини, див. табл. 2.3), трикутниками — площі, що викликають пошуковий інтерес

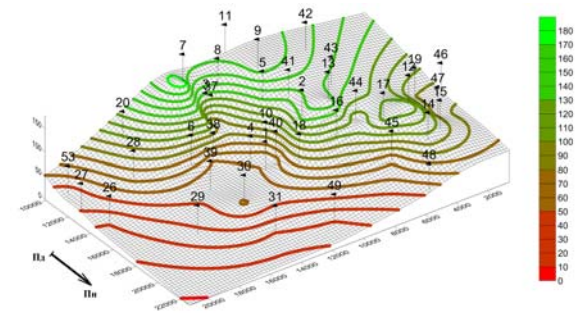


Рис. 2.32. Довгалівсько-Лакизинська ділянка ДДЗ. Тривимірне зображення площового розподілу загальної товщини ПГ В-21, m , за даними буріння глибоких свердловин і просторової інтерполяції за методом звичайного кригінгу (координати умовні, m). Складено з використанням матеріалів праці [93]

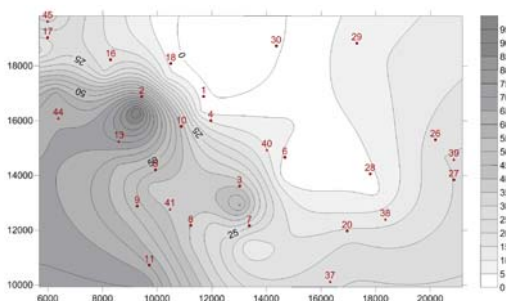


Рис. 2.30. Довгалівсько-Лакизинська ділянка ДДЗ. Картосхема прогнозного площового розподілу товщини піщаних пластів у межах ПГ В-21, m , за даними буріння глибоких свердловин [96] і просторової інтерполяції за методом звичайного кригінгу (координати умовні, m). Кругами позначено еталонні точки (свердловини, див. табл. 2.3), трикутниками — площі, що викликають пошуковий інтерес

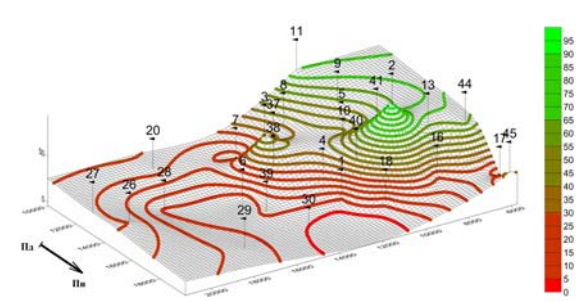


Рис. 2.33. Довгалівсько-Лакизинська ділянка ДДЗ. Тривимірне зображення площового розподілу товщини піщаних пластів у розрізі ПГ В-21 (m) за даними буріння глибоких свердловин [96] і просторової інтерполяції за методом звичайного кригінгу (координати умовні, m)

Рекомендації на подальші дослідження

Отримані картографо-схематичні моделі прогнозу площової мінливості товщини ПГ В-21 і товщини піщаних пластів у його межах, поряд із виконаними структурними побудовами підосви горизонту, в подальшому, як додатковий інформативний матеріал, можуть використовуватися при плануванні обсягів польових площових сейсморозвідувальних досліджень МСГТ, а також у процесі вибору місць закладання пошуково-розвідувальних свердловин глибокого буріння. Ос-

танні, на наш погляд, повинні пройти розріз усіх утворень XIIа м.ф.г. (у складі ПГ-21, -22 і -23, за уявленнями автора праці [94]) й увійти у породи XIII м.ф.г. (ПГ-24–25).

Разом з тим потрібно усвідомлювати, що за такої досить складної моделі пасток ВВ у межах Волошківсько-Зимницької площі, як це описано у публікації [95], для їх картування і видачі конкретних рекомендацій щодо глибокого буріння необхідна велика щільність профілів МСГТ, об'ємна міграція, що реалізується 3D-методикою.

2.6. Метод оцінювання вуглеводневого потенціалу локальних структур на основі комплексування матеріалів космічної зйомки і магнітометричних даних

Роботи з виявлення покладів ВВ повинні базуватися на економічно обґрунтованих комплексних геолого-геофізичних дослідженнях, які включають інтеграцію і спільну інтерпретацію великих об'ємів різномірних числових даних: вимірів геофізичних полів, отриманих в різних спектральних діапазонах електромагнітних хвиль матеріалів ДЗЗ, параметричних характеристик геологічного середовища тощо [100–102].

Побудова моделі

Як елемент комплексного підходу до оброблення та інтерпретації даних різної фізичної природи виконаємо аналітичний розрахунок кількісно можливого пошукового сигналу (аномалії магнітного поля — ΔTa або Z), який пов'язаний з нафтогазовим покладом. Припустимо, що останній являє собою пласт малої товщини (Δb), яка менше за його горизонтальні розміри ($2b$) (рис. 2.34):

$$\Delta b < 2b, \quad (2.54)$$

що цілком відповідає переважній більшості умов відомих родовищ ВВ різних морфогенетичних типів багатьох нафтогазоносних областей. Таким чином, для аналітичного вирахування можливого пошукового сигналу (аномалії ΔTa або Z) апроксимацію форми передбачуваного нафтогазового покладу здійснимо двовимірною прямокутною призмою, а гірських порід за контуром покладу — напівшарами.

Отже, функціональний вираз вертикальної складової магнітного поля (Z) над пластом обмеженого розповсюдження на глибину буде являти собою різницю виразів Z над двома пластами нескінченно великого розповсюдження на глибину. Один із цих пластів має верхню кромку, яка збігається з заданою (покрівля покладу ВВ), а в іншого вона відповідає нижній кромці заданого пласта (підосва покладу ВВ).

Якщо товщина пласта Δb дуже мала порівняно з глибиною його залягання (b) і горизонтальними параметрами $2b$, то отримаємо пласт, який залягає горизонтально (див. рис. 2.34). Припустимо, що й мож-

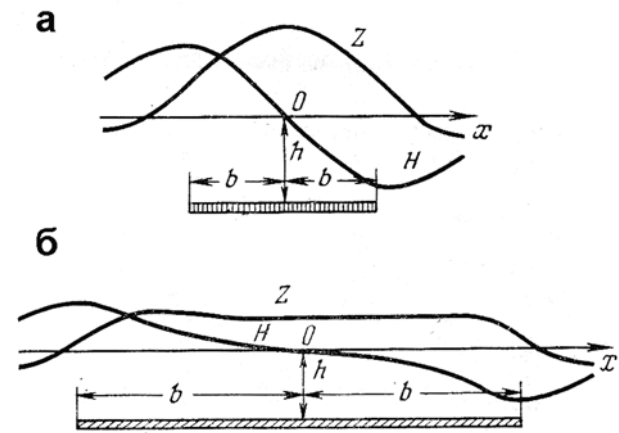


Рис. 2.34. Криві Z і H над горизонтальним пластом (а — горизонтальна потужність пласта менше або порівнянна з глибиною його залягання; б — горизонтальна потужність пласта значно перевищує глибину його залягання) [103]; X — лінія (вісь), яка перпендикулярна до простягання пласта і вздовж якої вираховують значення магнітного поля ($x=0$ у точці, яка відповідає проекції середини верхньої кромки пласта на вісь X); b — $1/2$ горизонтальних розмірів пласта; b — глибина до верхньої кромки пласта

ливий нафтогазовий поклад також залягає горизонтально. Таким чином, щоб написати аналітичний вираз напруженості магнітного поля по лінії (осі) X , яка перпендикулярна до простягання пласта (Декартова система координат), достатньо взяти похідну по b зі зворотнім знаком від виразу, що відповідає напруженості поля пласта великої товщини, і помножити на Δb . Останнє є значенням товщини пласта обмеженого розповсюдження на глибину.

Відповідно до [104], у загальному вигляді напруженість поля похилого пласта великої товщини виражається формулою:

$$Z = 2J \left[\left(\arctg \frac{x+b}{b} - \arctg \frac{x-b}{b} \right) \cos v - \left[-\frac{1}{2} \sin v \ln \frac{b^2 + (x+b)^2}{b^2 + (x-b)^2} \right] \right] \sin \alpha, \quad (2.55)$$

$$\text{при цьому } v = \alpha - \varphi, \quad (2.56)$$

де J — намагніченість пласта, b — $1/2$ горизонтальних розмірів пласта, b — глибина до верхньої кромки пласта, x — відстань по осі X до точки виміру величини Z (при умові, що початок координат збігається з проекцією середини верхньої кромки пласта на вісь X), α — кут падіння похилого пласта, φ — кут між віссю X і проекцією вектора J на площину XOZ (кути α і φ відраховуються від додатного напрямку осі X) ([104], рис. 62).

Отже, Z горизонтального пласта ($\alpha = 90^\circ$) малої товщини матиме вираз:

$$Z = 2J2b \frac{(b^2 + b^2 - x^2) \cos v - 2bx \sin v}{[b^2 + (x+b)^2][b^2 + (x-b)^2]} \Delta b, \quad (2.57)$$

$$\text{або } Z = 2M \frac{(b^2 + b^2 - x^2) \cos v - 2bx \sin v}{[b^2 + (x+b)^2][b^2 + (x-b)^2]}, \quad (2.58)$$

де добуток $J2b\Delta b$ дорівнює магнітному моменту перетину пласта:

$$J2b\Delta b = M. \quad (2.59)$$

Якщо прийняти, що $v = 0^\circ$ (тобто пошуковий пласт намагнічений вертикально, $\varphi = 90^\circ$), тоді отримаємо:

$$Z = 2M \frac{b^2 + b^2 - x^2}{[b^2 + (x+b)^2][b^2 + (x-b)^2]}. \quad (2.60)$$

Аналогічний аналітичний вираз Z для профілю, який проходить ухрест простягання горизонтального пласта, знаходимо також у праці [103].

Проаналізуємо поведінку кривої Z на наявність екстремумів. Так у випадку, коли горизонтальні розміри пласта невеликі або наближені до глибини його залягання ($2b \approx b$), крива Z має максимум (або мінімум — залежно від значень магнітної сприйнятливості к гірських порід пласта) у точці $x = 0$ (див. рис. 2.34, а). Якщо ж горизонтальні параметри пласта великі порівняно з глибиною його залягання ($2b > b$), точка $x = 0$ відповідає мінімуму (або максимуму) значень Z . У цьому випадку максимумами (або мінімумами) кривої Z утворюються поблизу країв пласта в точках з координатами (див. рис. 2.34, б):

$$x = \pm \sqrt{b^2 + b^2 - 2b\sqrt{b^2 + b^2}}. \quad (2.61)$$

Через нуль ($Z = 0$) крива Z переходить у точках:

$$x = \pm \sqrt{b^2 + b^2}. \quad (2.62)$$

При вертикальній (або наближеній до неї) намагніченості пласта, коли останній має істотні лінійні розміри верхньої грані порівняно з глибиною до неї і значною віддаленістю нижньої грані від верхньої, що характерно для прямокутного паралелепіпеда, поле Z може бути виражене [104, 105] через різни-

цю кутів видимості верхньої та нижньої його поверхонь (у розрізі по осі X):

$$Z = 2\pi J \theta. \quad (2.63)$$

де θ — тілесний кут видимості об'єкта з точки спостереження,

$$\text{або } Z = 2\pi \sigma \theta, \quad (2.64)$$

де σ — поверхнева щільність магнетизму пласта:

$$\sigma = J \cos \varphi, \quad (2.65)$$

а оскільки $\varphi = 90^\circ$, то $\sigma = J$. (2.66)

Аналітичні вирази напруженості магнітного поля над пластом з обмеженим розповсюдженням на глибину при $v \neq 0^\circ$ настільки складні, що авторам праці [104] не вдалося знайти формули для вираховування великої кількості невідомих.

Підбір параметрів для аналітичного розрахунку аномалій геомагнітного поля від нафтогазових покладів

Для кількісної оцінки аномалій магнітного поля від покладів ВВ здійснимо підбір різноманітних параметрів (відповідно до принципів, викладених у [100–102]) стосовно умов Керченської структури, яка розташована в межах Прикерченської ділянки шельфової зони Чорного моря. Ця територія останнім часом привертає до себе підвищену увагу з нафтогазопошукової точки зору, особливо з урахуванням відкриття в її межах у 2005 році промислового покладу вуглеводневої сировини на піднятті Суботіна [106].

Стосовно тектонічного районування Керченська структура приурочена до Індоло-Кубанського крайового прогину і лежить в межах Тамансько-Керченського нафтогазоносного району [107]. За аналогією з Придорожним газовим родовищем (Керченський півострів), яке просторово також належить до вказаних регіональних об'єктів і розташоване найближче до Керченського підняття, припустимо, що можливий поклад ВВ на останньому приурочений до нижньої частини відкладів майкопської серії палеогену. На перспективність цих утворень вказують також інші дослідники [108].

Так, з свердловини 1-В(Д), яка була забурена на Придорожній структурі в 1990 році, у 1992 році отримано приплив горючого газу з відкладів нижнього майкопу (пачка М-5, інт. 4 955–4 967 м). Дебіт газу через діафрагму діаметром 6 мм становив 26,8 тис. м³/добу при буферному тиску 5,0 і затрубному — 8,7 МПа. Товщина продуктивної пачки М-5 становить 25–30 м. Вона складена чергуванням різнозернистих пісковиків та аргілітів. Ефективна товщина пачки — 10–15 м.

Отже, у своїх розрахунках Δb пласта візьмемо рівною 30 м, оскільки за даними [108] ефективна нафтонасичена товщина пачки в районі Керченської площі теж передбачається у 30 м.

Для встановлення інших геометричних параметрів будови можливого покладу ВВ на Керченському піднятті проаналізуємо структурну карту по горизонту відбиття Па (P_3^1 , нижня частина відкладів майкопської серії) за даними сейсморозвідувальних робіт методом відбитих хвиль спільної глибинної точки (автори — Г. Г. Маркова і В. В. Напраснова [109, 110]). Згідно з цією картою, підняття являє собою брахіантиклінальну структуру, яка простягається з південного заходу на північний схід. У південно-західній і центральній частинах структури виявлене локальне склепіння розміром 1.5×6.0 км, яке оконтурюється замкненою ізогіпсою — 1900 м, у той час як у центральній його частині розміром 0.7×3.0 км глибини простеження горизонту відбиття Па становлять 1450–1600 м. Отже, у розрахунках горизонтальні розміри $2b$ пласта прирівнюємо до 3000 м, а глибину до верхньої його кромки — до 1.5 км. Таким чином, маємо випадок, коли горизонтальні розміри пласта невеликі й наближені до глибини його залягання ($b \approx h$).

Вказане локальне склепіння викликає певну зацікавленість щодо пошуків покладів нафти і газу у зв'язку з тим, що просторово з ним збігається аномалія з передбачувано зниженими значеннями температур поверхневих вод, які, окрім іншого, характерні й для покладів ВВ. Аномалія виділена [100, 111, 112] за даними ДЗЗ, зокрема, космічного знімка Landsat TM від 05.05.1992 р. Склепіння у плані повністю лежить в контурі теплової аномалії за дистанційними даними. Ця аномалія хоча й має неправильну форму, проте загалом зорієнтована в напрямку простягання Керченського підняття з південного заходу на північний схід (рис. 2.35).

У формі аномалії спостерігаються деякі флуктуації, які або дещо субширотно витягують її, або невеликим відгалуженням продовжують у північно-північно-східному напрямку за межі контуру Керченської структури. Можливо, вказані флуктуації індицирують активізовані на сучасному етапі тектогенезу малоамплітудні зони тектонічних порушень, які не виділяються за даними сейсморозвідки. У такому разі аномалія розташована у вузлі перетину зон субширотного і північно-східного простягання. Про це свідчить загальна форма контуру аномалії, яку морфологічно можна віднести до типу нахиленого у східному напрямку “хреста”. Наявність неоднорідних субвертикальних зон передбачається також за результатами дешифрування матеріалів ДЗЗ іншими дослідниками [113, 114], які виявили в районі підняття низку лінеamentів діагональної та ортогональної систем.

У межах Керченської структури спостерігається також площове (на 80% за контурами) збігання теп-



Рис. 2.35. Просторове у плані зіставлення виділеної на знімку Landsat TM (05.05.1992 р., 6-й, тепловий, канал, 10.4–12.5 мкм) теплової аномалії (темно-сірий колір) з контуром локального склепіння Керченської структури (світло-сірий колір, горизонт відбиття Па — нижня частина відкладів майкопської серії)

лової аномалії за дистанційними даними з перспективою для пошуків покладів ВВ ділянкою за результатами інтерпретації матеріалів атмогеохімічних досліджень [113–115].

Величину намагніченості J зони прогнозного нафтогазового покладу в межах Керченського підняття приймемо, відповідно до [120], рівною $4\pi \cdot 10^{-6}$ од. СІ. Це узгоджується з даними значень магнітної сприйнятливості (κ) гірських порід продуктивної на ВВ товщі за матеріалами праць [116–122] (табл. 2.4) для земного намагнічуючого поля $H \approx 40\text{--}56$ А/м. Указані параметри пов'язані між собою співвідношенням [108]:

$$J = \kappa H. \quad (2.67)$$

Результати розрахунків

Кількісні розрахунки аномального ефекту в магнітному полі (для рівня моря) від ідеалізованого покладу ВВ у межах Керченської структу-

Таблиця 2.4.

Магнітні властивості порід деяких родовищ південно-східної частини ДДЗ [123]

Родовище	Вік	Порода	Магнітна сприйнятливість (κ) $\cdot 10^{-5}$ од. СІ			
			у контурі нафтогазоносності	кількість зразків	поза контуром нафтогазоносності	кількість зразків
Коробочкинське	C _{IV}	аргіліт	17.9	43	29.9	24
		пісковик	20.3	17	13.4	12
		вапняк	13.5	16	18.2	14
Ртищівське	C _{IV}	аргіліт	14.6	6	41.4	59
		пісковик	16.9	4	12.1	28
		вапняк	10.0	3	10.4	24
Леб'язинське	C _I ³	аргіліт	26.0	4	32.7	18
	C _{IV}	аргіліт	13.0	20	27.4	14
		алевроліт	10.0	8	13.1	6
		пісковик	10.0	15	10.0	6
		вапняк	16.6	14	22.5	16

ри були виконані з застосуванням відповідної комп'ютерної програми. Зокрема, встановлено (табл. 2.5, рис. 2.36), що над центром моделі спостерігається мінімум інтенсивності до -5 нТл (точка № 24, $x = 0$ м, позначена трикутником), поблизу країв пласта (точки №№ 9 і 39, $x = -1500$ і 1500 метрів відповідно, позначені кружками) значення Z становлять -2 нТл, а на віддалі приблизно 620 м від країв покладу (точки №№ 2 і 46, $x \approx -121,32$ і $2121,32$ метрів відповідно) крива Z перетинає позначку 0 нТл.

Висновки і рекомендації

Отже, на Керченському піднятті аномальний ефект в магнітному полі від ідеалізованого нафтогазового покладу сягає -3 нТл у межах його контуру. Ці дані тісно корелюють з результатами розрахунків, що отримані [116, 118, 123] для схематичних магнітних моделей нафтогазоносних структур різних типів, які свідчать про фіксацію здебільшого відносно від'ємних аномалій магнітного поля величиною від долів до перших десятків нанотесл (най-

Таблиця 2.5.Аналітично розраховані значення вертикальної складової магнітного поля Z вздовж горизонтального профілю, який перпендикулярний до простягання ідеалізованого покладу ВВ на Керченському піднятті

№ точки виміру	Відстань від проекції середини верхньої кромки пласта на лінію профілю, км	Значення Z , нТл	№ точки виміру	Відстань від проекції середини верхньої кромки пласта на лінію профілю, км	Значення Z , нТл
1	-2.2	0176085018	25	0.1	-5015353371
2	-2.12132	496052E-16	26	0.2	-4981474219
3	-2.1	-0051280843	27	0.3	-4924047662
4	-2.0	-031199265	28	0.4	-4841705658
5	-1.9	-0604869456	29	0.5	-4732688502
6	-1.8	-0926918802	30	0.6	-4595016282
7	-1.7	-1273240148	31	0.7	-4426726228
8	-1.6	-1637159418	32	0.8	-4226177807
9	-1.5	-2010619298	33	0.9	-3992415306
10	-1.4	-2384791647	34	1.0	-3725559288
11	-1.3	-2750819159	35	1.1	-3427176202
12	-1.2	-3100555885	36	1.2	-3100555885
13	-1.1	-3427176202	37	1.3	-2750819159
14	-1.0	-3725559288	38	1.4	-2384791647
15	-0.9	-3992415306	39	1.5	-2010619298
16	-0.8	-4226177807	40	1.6	-1637159418
17	-0.7	-4426726228	41	1.7	-1273240148
18	-0.6	-4595016282	42	1.8	-0926918802
19	-0.5	-4732688502	43	1.9	-0604869456
20	-0.4	-4841705658	44	2.0	-031199265
21	-0.3	-4924047662	45	2.1	-0051280843
22	-0.2	-4981474219	46	2.12132	496052E-16
23	-0.1	-5015353371	47	2.2	0176085018
24	0	-5026548246			

частіше — перших одиниць нанотесл). Це є передумовою фіксування пошукових об'єктів детальними наземними та аеромагнітними зйомками за умови точності приладів 0.1 нТл, а також виділення їх з метою подальшої інтерпретації.

Наведені результати з урахуванням матеріалів параметричних досліджень гірських порід, які пройдені свердловинами глибокого буріння на піднятті Субботіна, у подальшому можуть застосовуватися для детального вивчення за даними маг-

нітометрії та ДЗЗ низки структур Прикерченської та суміжних ділянок шельфової зони Чорного моря, інших нафтогазоносних областей і провінцій. В основі цього вивчення може лежати метод візуального районування або його математичного аналогу (апарат розпізнавання образів). Викладені результати можуть також враховуватися під час наступного поглибленого моделювання з використанням побудованої моделі як початкового наближення.

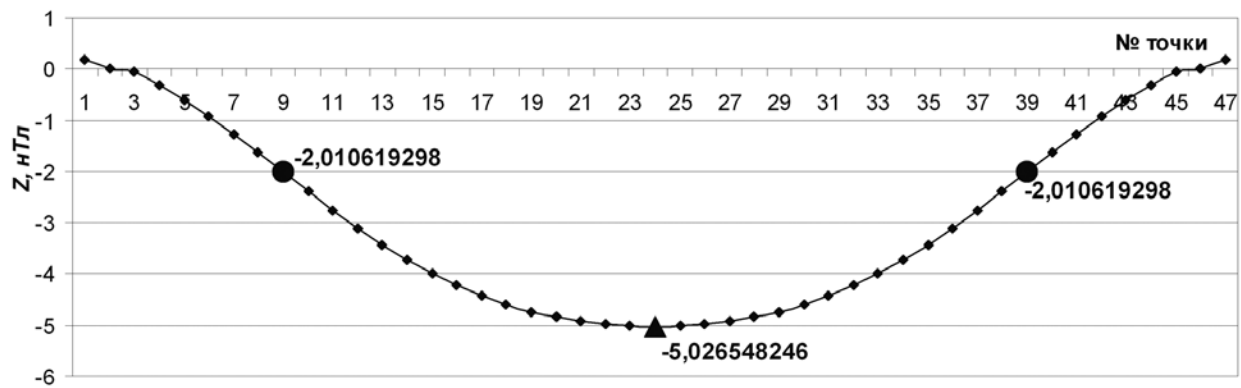


Рис. 2.36. Аналітично розрахована крива вертикальної складової магнітного поля Z уздовж горизонтального профілю, який проходить вхрест простягання ідеалізованого нафтогазового покладу на Керченській структурі. Центр покладу позначений трикутником, його краї — кружками

2.7. Методика прогнозування покладів вуглеводнів за даними лінеаментного аналізу

Прогнозна оцінка перспективності територій на пошуки родовищ завжди базується на використанні різних пошукових ознак, які враховують головні закономірності формування родовищ. Однією з важливих пошукових ознак для родовищ ВВ, як і родовищ різноманітних руд, яку обов'язково слід враховувати в процесі прогнозування покладів ВВ, є їх тісний зв'язок з розломами, що визначають тріщину проникність порід [124, 125].

Однак, відомі методи вивчення тріщинної проникності порід розраховані на роботу в районах з повсюдною відслоненістю порід, у гірничих виробках або по керну свердловин. Крім того, усі методи вивчення тріщинної проникності надзвичайно трудомісткі. Ці два головних фактори, які значно обмежують можливості практичного застосування відомих методів визначення тріщинної проникності.

Для прогнозування покладів ВВ вивчення тріщинної проникності порід необхідно проводити на значних за площею територіях, де корені породи повсюдно перекриті пухкими відкладами. Єдиним методом, який дозволяє в цих умовах виконувати повсюдне картування тріщин є метод структурного дешифрування космічних знімків. Як відомо, на космічних знімках, незважаючи на природні умови районів, дешифрується значна кількість лінійних елементів ландшафту (лінеаментів). Встановлено, що лінеаменти генетично та просторово пов'язані

з різними за розмірами та характером переміщення розривами земної кори — окремими крупними тріщинами, дрібними розломами, смугами підвищеної тріщинуватості, скидами та підкидами, здвигами та надвигами, розсувами та іншими. Крім того, лінеаменти знаходять відображення в полях сучасних вертикальних рухів земної кори, особливо в розподілі дільниць аномальних градієнтів швидкостей сучасних рухів [126].

До нашого часу не існує єдиної загально визнаної методики обробки поля лінеаментів. Нами було розроблено варіант методики кількісного аналізу лінеаментів з метою використання отриманих матеріалів в процесі прогносної оцінки перспективності території на пошуки покладів ВВ. Це потребувало вирішення комплексу різноманітних питань методики робіт, які стосувалися особливостей дешифрування знімків, аналізу закономірностей орієнтації лінеаментів та встановлення систем лінеаментів, кількісного опису поля лінеаментів, аналізу та інтерпретації отриманих матеріалів та інші. Передбачається, що результати лінеаментного аналізу, отримані з застосуванням розробленої методики, можливо буде легко використати у процесі прогнозування покладів ВВ як самостійно, так і у комплексі з даними геофізичних досліджень та інших методів пошуку, які представлені у кількісному вигляді. Крім того, резуль-

тати лінеаментного аналізу дозволять уточнити розломно-блокову будову досліджуваної території.

2.7.1. Методика лінеаментного аналізу

Запропонована методика лінеаментного аналізу складається з наступних етапів, які тісно пов'язані один з одним. На кожному з етапів використовуються, як відомі методи досліджень, так і розроблені нами.

Етапи робіт:

- а) вибір космічних знімків;
- б) структурне дешифрування космічних знімків та побудова карти лінеаментів;
- в) встановлення закономірностей просторової орієнтації та виділення систем лінеаментів;
- г) кількісний опис поля лінеаментів.

а) Вибір космічних знімків

Як відомо, інформативність результатів структурного дешифрування знімків багато в чому залежить від виду та часу зйомки, її розрізненості здатності або масштабу зйомки.

В процесі досліджень можливо використовувати аеро- або космічні, панхроматичні або багатоспектральні знімки. Але краще всього використовувати багатоспектральні космічні знімки, оскільки лінеаменти в різних спектральних діапазонах відображаються по-різному.

В процесі досліджень ДДЗ та Тарханкутського півострова Криму нами були використані багатоспектральні космічні знімки з КА Landsat, зроблені в різні роки та в різні сезони року.

Для проведення досліджень краще всього використовувати знімки, які зроблені у ті періоди року, коли контраст забарвлення земної поверхні максимальний. В умовах України та інших районів, що розташовані в аналогічних кліматичних умовах, це весна та рання осінь. Для роботи були використано знімки, зроблені весною і осінню в різні роки, а в якості допоміжних — знімки, що зроблені в інші сезони різних років.

Виходячи з розмірів переважної більшості структур, що вміщують поклади ВВ в ДДЗ та в Криму, для вирішення задач їх прогнозу були використані багатозональні знімки середньої розрізнювальної здатності з супутника Landsat. Без сумніву, зручно працювати зі знімками з розміром пікселя 10 м або й менше. На таких знімках виділяється значна кількість лінеаментів. Однак, коли потрібно дослідити територію в десятки або сотні квадратних кілометрів дешифрування таких знімків потребує багато часу. Крім того, в процесі дешифрування виділяється настільки значна кількість лінеаментів, що виникають проблеми з їх подальшим обробленням.

б) Структурне дешифрування космічних знімків та побудова карти лінеаментів

Структурне дешифрування космічних знімків виконувалося візуально з використанням відомих методів аналогового та індикаційного дешифрування [127–130]. В процесі дешифрування були використані стандартні індикатори лінеаментів, які добре відомі. Попередньо всі матеріали дистанційного зондування, різні карти та схеми пройшли геометричну корекцію.

Для дешифрування були використані синтезовані зображення, отримані шляхом накладання знімків, зроблених в різних спектральних каналах. Вибір комбінації каналів з метою отримання синтезованих знімків залежав від локальних особливостей природних умов досліджуваної території та побажання виконавця робіт. Це дозволило підвищити кількість лінеаментів, що було встановлено.

Особливістю дешифрування було те, що в процесі робіт виділялися усі лінеаменти, незалежно від їх протяжності, відображення в ландшафті, орієнтації та інших чинників. Лінеаменти показувалися так, як їх видно на знімку, сусідні, розташовані поруч лінеаменти не об'єднувалися. Тому за результатами дешифрування була виділена значна кількість лінеаментів незначної протяжності. Виявлених лінеаментів значно більше ніж розломів та тріщин, які встановлюються в цих умовах геофізичними методами та за даними буріння.

На окремих площах, в наслідок локальних особливостей ландшафту, на космічних знімках лінеаменти відображаються незадовільно. Перш за все це відноситься до виділення лінеаментів, пов'язаних з водотоками, які є одними з важливих та надійних індикаторів лінеаментів. В таких випадках результати дешифрування космічних знімків доповнювалися даними дешифрування топографічних карт на яких водотоки завжди впевнено відображаються.

Окрім топографічних карт в процесі дешифрування використовувалась цифрова модель рельєфу (DEM). Перетворення цифрової моделі з використанням метода RANK, що є в програмі ERDAS Imagine, дозволило більш чітко виділяти від'ємні форми рельєфу — долини, яри, байраки, балки та інші, які підкреслюють розриви. В результаті перетворення виділяється значна кількість невеликих за розміром лінеаментів, які доповнюють результати візуального дешифрування.

Однією з важливих задач етапу структурного дешифрування знімків є оцінка достовірності встановлених лінеаментів та вилучення тих з них, які пов'язані з антропогенними утвореннями — межами полів, дорогами, дамбами, лісовими просіками та іншими лінійними утвореннями на поверхні Землі. З цією метою кожний встановлений на знімку лінеамент порівнюється з елементами земної поверхні, що відображені на топографічній карті у цьому місці. Таке співставлення виконувалися безпосеред-

ньо в процесі дешифрування знімків. Для цього на екран комп'ютера паралельно зі знімком виводилася топографічна карта. Але не завжди вдається однозначно вирішити цю задачу. В непоодиноких випадках, лінійні антропогенні форми співпадають з розривами та тріщинами не тільки просторово, але і генетично. Так межі лісів в багатьох випадках співпадають з річками, які в свою чергу пов'язані з розривами, а в окремих районах з розломами можуть співпадати польові дороги.

За результатами дешифрування знімків, топографічних карт та цифрових моделей рельєфу була складена карта лінеаментів, яка слугувала основою для усіх подальших досліджень.

в) Встановлення закономірностей просторової орієнтації та виділення систем лінеаментів

У відповідності з загально прийнятою моделлю формування родовищ корисних копалин з переміщуваних розчинів, важливу роль у цьому процесі відіграють розриви, що визначають тріщину проникності порід. Як відомо, тріщина проникності порід оцінюється кількістю або довжиною тріщин на одиницю площі з урахуванням їх розкритості. Якщо кількість тріщин можливо встановити, використовуючи карти лінеаментів, то розкритість тріщин дистанційними методами встановити неможливо. Але у тріщин близької орієнтації їх розкритість, без сумніву, буде одного порядку, а тому оцінити їх роль у тріщинній проникності порід можливо лише за їх кількістю на одиницю площі. У цьому зв'язку особливе значення має проблема аналізу закономірностей орієнтовки лінеаментів і встановлення систем тріщин. Від об'єктивності проведення такого аналізу залежать усі подальші результати.

Аналізом закономірностей орієнтації тріщин та розривів дослідники різних країн займаються вже більше 150 років, але єдиної думки з цього питання немає.

У переважній більшості авторів методи аналізу закономірностей орієнтації тріщин, розривів та лінеаментів схожі і базуються на візуальному аналізі масових вимірів їх азимутів простягання, які подані у вигляді роз-діаграм або гістограм [135, 136]. Головну увагу в процесі аналізу таких графіків приділяють встановленню модальних значень локальних максимумів, які розглядаються у якості окремих систем. Межі встановлених таким способом систем не аналізуються, але для оцінки тріщиної проникності порід межі систем мають більш важливе значення, ніж їх модальні значення.

За результатами візуального аналізу графіків розподілу азимутів простягання тріщин та розривів різними авторами виділяється від 2–4 до 36–38 систем лінійних структур. Але більшість дослідників виділяють від 6–8 до 12–14 систем структур. Не зва-

жаючи на те, що різні автори у різних районах земного шару встановлюють різну кількість систем розривів, модальні значення виявлених систем впевнено співпадають [131–133].

Значні розбіжності у кількості систем лінійних структур, що були встановлені різними авторами, на наш погляд перед усім обумовлені:

- 1) відсутністю єдиного формалізованого підходу к побудові аналізованих графіків розподілу азимутів простягання;

- 2) використанням візуальних методів аналізу побудованих графіків;

- 3) встановленням систем лінеаментів тільки на підставі аналізу одного графіку розподілу азимутів простягання усіх лінійних структур.

Крім того, цьому сприяло те, що виходячи з даних теоретичних або експериментальних досліджень не встановлено кількості систем тріщин, що може бути в природі, невідомі закони розподілу вимірів у межах окремих систем. Більш того, задача встановлення систем розривів та лінеаментів за даними масових вимірів їх азимутів простягання не може бути вирішена строго математично [134].

Приймаючи до уваги все вище наведене, нами було розроблено більш строгий метод встановлення систем лінеаментів та розривів на основі аналізу масових вимірів їх орієнтовки на серії окремих ділянок.

Робота з використанням запропонованого нами методу аналізу орієнтації лінеаментів та розривів складається з чотирьох етапів:

I етап — вибір інтервалу групування вимірів орієнтації лінеаментів для побудови графіків розподілу з метою встановлення систем лінеаментів. Як було показано нами [134], від ширини інтервалу групування залежить кількість даних на підставі яких складаються графіки розподілу азимутів простягання. Виділення кожної системи потребує в середньому трьох спостережень — один максимум та два мінімуму, тому кількість встановлюваних на графіку систем буде залежати від ширини інтервалу групування даних, який застосовувався при його побудові. На підставі аналізу публікацій, найбільш обґрунтованим є виділення 8 систем розривів [131–132, 135–137]. Для виділення 8 систем необхідно щоб графік розподілу було побудовано на підставі не менш ніж 24 інтервалів групування азимутів простягання. А для цього ширина інтервалу групування мусить дорівнювати 5° або 6°.

II етап. На цьому етапі виконується розподіл досліджуваної території на окремі ділянки, що не перекриваються між собою. Ділянки розміщуються по можливості рівномірно по усій території і характеризуються відносно однорідною геологічною будовою та схожими ландшафтними умовами.

Розміри ділянок визначалися з урахуванням подальшої статистичної обробки даних. При побудові графіків з 5° або 6° інтервалом групування, врахову-

ючи подальшу статистичну обробку даних, необхідно мати у кожному інтервалі групування не менш ніж 6–10 вимірів азимутів простягання. Виходячи з цього, для побудови графіка розподілу азимутів простягання, з урахуванням їх нерівномірного поширення, необхідно мати на кожній з ділянок не менше 250–350 вимірів.

III етап. На цьому етапі було виконано аналіз закономірностей орієнтації лінеamentів на кожній з локальних ділянок та встановлені системи лінеamentів у їх межах. Для цього, перш за все, визначався сам факт наявності неоднорідності у розподілах азимутів простягання лінеamentів на кожній ділянці. Наявність неоднорідності у розподілах азимутів простягання лінеamentів виявлялася шляхом перевірки відповідності розподілів, що аналізували, випадковому або рівномірному типу розподілу. Це встановлювалося за допомогою статистичного критерію Пірсона або можливо використати будь-який інший непараметричний критерій. Проведені розрахунки засвідчили відмінність усіх аналізованих розподілів лінеamentів від рівномірного розподілу з рівнем значущості краще 0.05, що вказує на неоднорідний характер розподілів азимутів простягання та на наявність систем лінеamentів у межах кожної локальної ділянки.

Наступним кроком було встановлення систем у межах кожної локальної ділянки. Для цього на кожному розподілі встановлювалась достовірність виділення окремих максимумів та мінімумів. Це виконувалося шляхом співставлення максимумів з рівномірним розподілом за допомогою критерію Пірсона. Детально ця процедура оцінки достовірності наявних максимумів та мінімумів описана в роботах [73, 134, 139].

Результатом робіт цього етапу було встановлення систем лінеamentів та оцінка достовірності їх встановлення для кожної ділянки їх виміру на підставі аналізу графіків відповідних розподілів модальних значень максимумів та мінімумів лінеamentів.

IV етап. Використовуючи модальні значення максимумів та мінімумів, встановлених на кожній ділянці на III етапі досліджень, було побудовано графік розподілу цих даних, який характеризує їх розподіл вже у межах всієї досліджуваної території. Аналіз цього графіку дозволив досить впевнено виділяти системи лінеamentів, їх модальні значення та межі, загальні для усієї площі робіт.

У більшості випадків графіки локальних максимумів симетричні, подібні за формою до графіку нормального розподілу. У тих випадках, коли графіки локальних максимумів асиметричні або полімодальні, вони розглядаються як сукупність кількох систем лінеamentів одного чи різних порядків. З метою розкладання таких складно побудованих максимумів на складові використовується відомий принцип взаємортогональності сполучених систем розломів.

З метою оцінки достовірності встановлених систем лінеamentів було проведено їх співставлення з системами тріщин та розломів досліджуваного регіону, встановленими іншими авторами. Крім того, якщо є можливість, згідно з запропонованою методикою, доцільно провести аналіз закономірностей орієнтації лінійних аномалій фізичних полів, що пов'язані з розломами і які встановлюються за даними геофізичних досліджень.

г) Кількісний опис поля лінеamentів

Кількісний опис поля лінеamentів виконувався окремо для лінеamentів кожної з систем. З метою оцінки тріщинної проникності порід були використані два показники — це щільність лінеamentів та вузлів перетину лінеamentів, яка оцінювалась їх кількістю на одиницю площі.

Щільність лінеamentів — це головний показник, який було використано в роботі. Окрім проникності порід він характеризує і особливості будови розломів. Беззаперечною перевагою цього показника є його чіткий геологічний зміст. Відомо, що на знімках середньої та високої розподільчої здатності, які були використані нами, в процесі дешифрування виявляються лінеamenti одного порядку і тому усі вони були використані в процесі подальшої обробки матеріалів. У випадку роботи зі знімками з низькою розподільчою здатністю, на яких відображаються структури регіонального та локального рівнів, показник щільності слід визначати окремо для структур різного масштабного рівня.

Виміри щільності лінеamentів виконувались у межах ковзаючого вікна. Розміри ковзаючого вікна встановлювались виходячи з двох головних чинників — глибини залягання відомих покладів ВВ і кількості лінеamentів, які попадають у межі більшості вікон. Як показали спеціальні дослідження, між протяжністю розломів та глибиною їх проникнення існує функціональна залежність [140–142]. Тому розміри вікон осереднення, які використовувались при складанні карти щільності лінеamentів, визначались у відповідності з глибиною залягання горизонтів розміщення відомих покладів ВВ.

Ще одним чинником, який необхідно було враховувати при встановленні розмірів ковзаючого вікна, є кількість лінеamentів, що потрапляє у вікно. У вікно невеликого розміру попадає обмежена кількість лінеamentів і значення щільності можуть зазнавати значних коливань, пов'язаних з випадковими помилками або локальними особливостями району. Від цього підвищується відносна погрішність карти та її важко інтерпретувати. Значне збільшення розмірів ковзаючого вікна викликає втрату незначних за розмірами структур або локальних особливостей поля лінеamentів, які можуть відігравати важливу роль у локалізації покладів. Експериментально було встановлено, що у

межах переважної кількості вікон бажано мати не менш 4–6 лінеаментів. Кількість вікон з мінімальною числом лінеаментів (0–2 лінеамента) не має перевищувати 10% від загальної кількості вікон. Інакше карти щільності лінеаментів погано інтерпретуються і недостатньо інформативні для прогнозу покладів ВВ.

З метою подальшого аналізу та співставлення карт щільності лінеаментів різних систем усі вони були побудовані з використанням ковзаючого вікна одного розміру. Вплив первинного розташування ковзаючого вікна на зміну зображення та розташування центрів аномалій не перевищує розміру вікна, а зміни у формі аномалій незначні.

Вибір форми ковзаючого вікна визначався лінійною, не ізометричною формою лінеаментів, а також різкою анізотропією властивостей поля тріщин та лінеаментів по простяганню та вхрест їх простягання. Тому, для опису поля лінеаментів було використано ковзаюче вікно прямокутної форми яке було орієнтовано у відповідності з модальними значеннями азимутів простягання лінеаментів кожної системи.

Виходячи з досвіду робіт, співвідношення між сторонами вікна було обрано рівним 3:1. При цьому просторове розташування центрів вікон різних систем не співпадає між собою.

З метою візуалізації результатів просторового розподілу значень кількісного опису поля лінеаментів кожної системи, їх аналізу та інтерпретації були складені відповідні карти щільності лінеаментів. Карти склалися з використанням системи ізоліній з постійним перетином, крок якого встановлювався емпірично, в залежності від умов досліджуваного району та задач дослідження.

На тріщину проникність порід, крім щільності розломів та тріщин значний вплив мають вузли перетину цих структур. Як відомо, експлуатаційні свердловини, які були пробурені у межах таких структур, працювали значно довше і з них було видобуто значно більше нафти чи газу, ніж з інших свердловин. Тому в процесі аналізу поля лінеаментів було використано такий показник, як щільність вузлів перетину лінеаментів. Для цього спершу на карті лінеаментів визначалися усі вузли перетину лінеаментів. Після цього, за допомогою ковзаючого вікна оцінювалася щільність вузлів перетину на одиницю площі. В процесі робіт використовувалося ковзаюче вікно ізометричної форми. Карта щільності вузлів перетину лінеаментів складалася за допомогою стандартних програм побудови поверхні.

Побудовані за наведеною вище методикою карти щільності лінеаментів усіх систем та вузлів їх перетину не чим принципово не відрізняються від карт фізичних полів Землі і тому для їх оброблення можливо використати увесь апарат, який застосовується в геофізиці.

2.7.2. Методика прогнозування покладів вуглеводнів

Відомо, що прогнозна оцінка перспективності території на пошуки покладів ВВ базується на врахуванні сумісного впливу значної кількості пошукових ознак, які характеризують головні особливості формування родовищ. При чому сумісний вплив різних ознак на об'єкт пошуку не дорівнює ні сумі або добутку впливів окремих ознак. Він має не лінійний, складний характер, який заздалегідь неможливо передбачити. Тому зв'язок між комплексом пошукових ознак та об'єктами пошуку розраховувався нами за спеціальною програмою.

Однією з таких важливих пошукових ознак є тріщина проникність порід, яку можливо визначити за допомогою наведеної вище методики. Для прогносної оцінки перспективності території необхідно оцінити одночасний вплив на формування покладів 9 ознак (щільності лінеаментів 8 систем та щільності вузлів їх перетину). На цій підставі можливо дати прогнозну оцінку перспективності території, але для отримання більш надійних результатів слід врахувати і інші дані. Завдяки тому, що результати лінеаментного аналізу наведені у чисельній формі, вони можуть бути легко використані в процесі прогнозних досліджень поряд з даними геофізичних робіт та іншими матеріалами, що наведені у кількісній формі.

З метою прогносної оцінки перспективності території на пошуки покладів ВВ була використана методика просторово-вірогідного прогнозування, розроблена В. О. Нагорським [143–145], яка дозволяє оцінити інформативність усіх запропонованих ознак, які подані у цифровій формі. Це прогнозування за кількісною аналогією і базується на використанні так званої “функції відношення правдоподібності”, тобто відношення щільності розподілу двох вибірок — одновимірних або багатовимірних. Одна вибірка характеризує розподіл значень пошукових ознак у межах відомих родовищ, друга вибірка — це “образ” усього досліджуваного району. Для цього значення пошукових ознак знімаються у точках, що розташовані випадковим шляхом, або ж у вузлах правильної сітки. Ця друга вибірка вже не є “альтернативним” класом об'єктів, навпаки, друга вибірка тут є деякою “об'єднаною” сукупністю, тому задача прогнозування ставиться вже не як “розпізнання” чи “класифікація простору”, а як задача виділення об'єктів потрібного класу із деякої “суміші”. Дискретне виділення тут вже неможливо. Натомість з'являється можливість диференційованої оцінки за допомогою деякого “коефіцієнту перспективності”, що відповідає коефіцієнту збільшення вірогідності зустріти поклад корисних копалин свердловиною, яка ставиться у точці з відповідним комплексом пошукових ознак в багатовимірному їх просторі. Мінімальна площа, яка отримує прогнозну оцінку перспективності, відповідає розмі-

ру піксела знімку, який використовується для побудови карти прогнозу.

Застосування методика прогнозу не обмежує кількість ознак, що може бути використана для оцінки перспективності району. Обов'язковою умовою для застосування вказаної методики прогнозу є необхідність мати на території робіт раніш встановлені об'єкти прогнозу, аналоги яким слід виявити, і чим більше таких об'єктів відомо, тим більш надійні отримані результати. На усіх етапах проведення досліджень обов'язково виконується контроль змісту отриманих результатів та відкидаються усі неінформативні ознаки або ознаки, використання яких призводить до отримання результатів, які неможливо пояснити.

Особливістю методики є те, що для прогновної оцінки перспективності території використовується інформація тільки о покладах (родовищах) і немає необхідності в наявності безперспективних площ, де поклади відсутні. Виділення таких площ завжди проблематично.

З метою значного прискорення проведення прогнозних досліджень та збільшення кількості пошукових ознак методика просторово-вірогідного прогнозування була удосконалена. Був розроблений інтерактивний програмний продукт з застосуванням великої кількості відомих програм для удосконалення методики [146, 147]. Це дало змогу не тільки значно прискорити проведення досліджень, а і значно збільшити кількість пошукових ознак, що були використані.

Прогнозні дослідження починалися з формування комплексу пошукових (інформативних) ознак шляхом оцінки вірогідності зв'язку ознак, що використовуємо з об'єктами пошуку з застосуванням програми просторово-вірогідного прогнозування. Інформативність ознак встановлювалася шляхом співставлення розподілів значень ознак у межах відомих об'єктів прогнозу з розподілом їх значень, знятих по рівномірній сітці у межах найбільш досліджених територій. У випадку значущих відмінностей цих розподілів, що встановлювалося з використанням критерію Пірсона або інших непараметричних критеріїв, ознака відноситься до пошукових ознак. В іншому випадку ознаки виключалися з подальшого використання. Для пошукових ознак, за допомогою функції відношення правдоподібності визначаються інтервали значень ознак з якими пов'язані об'єкти прогнозу та визначається вірогідність зв'язку об'єктів зі значеннями кожної з ознак. Відхилення значень функції правдоподібності від одиниці вказують на перспективність або безперспективність території, на яких вони розвинуті.

Після цього, шляхом побудови двовимірних функцій відношення правдоподібності виконувалося комплексування усіх інформативних пошукових ознак між собою, що дозволяло отримати прогнозну оцінку перспективності території за комплексом використаних ознак. Отримані значення перспективності території за комплексом ознак використовують для складання карти прогнозу, для побудови якої використовуються стандартні програми побудови поверхні.

На заключному етапі робіт проводився аналіз побудованої карти прогнозу. Перш за все, оцінювалася її достовірність, для чого використовувалася уся наявна інформація по геології та корисним копалинам району досліджень. Без сумніву, найбільш надійну оцінку достовірності результатів прогнозу можливо отримати тільки за результатами буріння на запропонованих площах. Однак, на практиці це відбувається дуже рідко. У тих випадках, коли у межах району досліджень є достатньо багато відомих покладів ВВ, частина з них не враховується при проведенні прогнозних досліджень. У подальшому ці об'єкти використовуються у якості контрольних об'єктів з метою оцінки достовірності результатів прогнозу. З цією ціллю можливо використовувати і відомі поклади ВВ, які розташовані на площах, за межами району досліджень, але в безпосередній близькості до їх границь. В цьому випадку необхідно збільшувати площу досліджень.

Остаточні висновки о перспективності території та рекомендації на постановку подальших досліджень з використанням комплексу геофізичних методів пошуку та буріння свердловин готують виконавці за результатами аналізу карти прогнозу з урахуванням усіх ознак, які з різних причин не були використані в процесі прогнозування, а також враховуючи досвід, знання та інтуїцію дослідників.

Карту прогновної оцінки перспективності території можливо скласти тільки на підставі використання матеріалів дистанційних досліджень, але краще в комплексі з даними геолого-геофізичних робіт, що підвищує достовірність результатів прогнозу.

Уся інформація, яка отримується в процесі лінеamentного аналізу та прогновної оцінки перспективності території зберігається у вигляді ГІС-об'єкту для зручності в подальшому використанні.

Оцінювання перспективності території ДДЗ та Тарханкутського півострову Криму на пошуки покладів ВВ було проведено з використанням метода просторово-вірогідного прогнозування. Роботи базувалися на результатах лінеamentного аналізу. Методи досліджень описані у попередньому розділі.