



УКРАЇНСЬКИЙ ЖУРНАЛ ДИСТАНЦІЙНОГО ЗОНДУВАННЯ ЗЕМЛІ

ONLINE
ISSN 2313-2132

15' 2017

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

УКРАЇНСЬКИЙ ЖУРНАЛ ДИСТАНЦІЙНОГО ЗОНДУВАННЯ ЗЕМЛІ

Ukrainian Journal of Remote Sensing

№ 15 • 2017

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

Головний редактор

академік НАН України В. І. Лялько



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

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

РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ

В. І. ЛЯЛ Ь К О	головний редактор доктор геолого-мінералогічних наук, академік НАН України
М. О. П О П О В	заступник головного редактора доктор технічних наук
О. Т. А З І М О В	доктор геологічних наук
С. О. Б А Р Т А Л Ь О В	доктор технічних наук (Росія, Москва)
В. Г. В Е Р Х О В Ц Е В	доктор геологічних наук
Л. Д. Г Р Е К О В	доктор технічних наук
М. Д. Г Р О Д З И Н С Ь К И Й	доктор географічних наук, член-кореспондент НАН України
С. М. Є С И П О В И Ч	доктор геологічних наук
Л. В. К А Т К О В С Ь К И Й	доктор фізико-математичних наук (Білорусь, Мінськ)
С. С. К О Х А Н	доктор технічних наук
Н. М. К У С С У Л Ь	доктор технічних наук
С. Т. Л Е В І Н С Ь К И Й	доктор технічних наук (Польща, Варшава)
В. В. Л У К І Н	доктор технічних наук
М. М. П О Н О М А Р Е Н К О	доктор технічних наук
С. А. С Т А Н К Е В И Ч	доктор технічних наук
А. А. Т Р О Н І Н	доктор геолого-мінералогічних наук (Росія, Санкт-Петербург)
О. Д. Ф Е Д О Р О В С Ь К И Й	доктор фізико-математичних наук, член-кореспондент НАН України
В. Г. Я К И М Ч У К	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

ЗВ'ЯЗОК ГЕОТЕКТОНІЧНОГО РАЙОНУВАННЯ ТЕРИТОРІЇ З ПЕРСПЕКТИВАМИ ЇЇ НАФТОГАЗОНОСНОСТІ (НА ПРИКЛАДІ ДНІПРОВСЬКО-ДОНЕЦЬКОЇ ЗАПАДИНИ) С. М. Єсипович, О. В. Титаренко, А. Д. Бондаренко, А. М. Бубняк	4
---	---

СУПУТНИКОВИЙ МОНІТОРИНГ РОЗВИТКУ ЗСУВНИХ ПРОЦЕСІВ У ПРИДНІПРОВСЬКІЙ ЗОНІ М. КИЇВ Л. П. Ліщенко, Н. В. Пазинич, В. Є. Філіпович	11
--	----

ДИСТАНЦІЙНИЙ МОНІТОРИНГ СТАНУ ПОСІВІВ ОЗИМОЇ ПШЕНИЦІ ВПРОДОВЖ ВЕСНЯНО-ЛІТНЬОЇ ВЕГЕТАЦІЇ 2016 Р. ЗА ВЕГЕТАЦІЙНИМИ ІНДЕКСАМИ СУПУТНИКА SENTINEL-2A (НА ПРИКЛАДІ ЛІСОСТЕПОВОЇ ЗОНИ УКРАЇНИ) Г. М. Жолобак*, О. М. Сибірцева, М. В. Ваколюк, Ю. В. Захарчук	23
--	----

ВПЛИВ ПРИРОДНИХ ТА АНТРОПОГЕННИХ ФАКТОРІВ НА ФОРМУВАННЯ НЕБЕЗПЕЧНИХ СИТУАЦІЙ: ЗСУВІВ, ПАВОДКІВ (НА ПРИКЛАДІ ДІЛЯНКИ ВЕРХНЬОЇ ТЕЧІЇ РІЧКИ ДНІСТЕР) В. І. Лялько, О. А. Апостолов, Л. О. Єлістратова	31
--	----

Методи і засоби одержання та інтерпретації аерокосмічної інформації

ПІДВИЩЕННЯ ПРОСТОРОВОЇ РОЗРІЗНЕННОСТІ АЕРОЗНІМАННЯ З КВАДРОКОПТЕРУ НА ОСНОВІ СУБПІКСЕЛЬНОЇ ОБРОБКИ ЗОБРАЖЕНЬ С. А. Станкевич, М. С. Лубський, А. Р. Лисенко	40
---	----

Правила та рекомендації для авторів (ua, ru).....	43
--	----

Анонси. Нова монографія Центру

СУЧАСНІ МЕТОДИ ДИСТАНЦІЙНОГО ПОШУКУ КОРИСНИХ КОПАЛИН РОЗДІЛ 2. МЕТОДИ ДИСТАНЦІЙНОГО ПОШУКУ ПОКЛАДІВ ВУГЛЕВОДНІВ Підрозділ 2.8 (С. 65–78)	47
--	----

УДК 551.24:553.98.041(477)

Зв'язок геотектонічного районування території з перспективами її нафтогазоносності (на прикладі Дніпровсько-Донецької западини)

С. М. Єсіпович^{1*}, О. В. Титаренко¹, А. Д. Бондаренко¹, А. М. Бубняк²¹ ДУ "Науковий центр аерокосмічних досліджень Землі Інституту геологічних наук НАН України", Київ, Україна² Східно-Казахстанський державний технічний університет ім. Д. Серікбаєва, м. Усть-Кам'яногорськ, Республіка Казахстан

На прикладі фактичних даних буріння в Дніпровсько-Донецькій западині показано зв'язок перспектив нафтогазоносності з елементами геотектонічного районування. Перш за все найбільш перспективними виявляються зони зчленування різних геотектонічних елементів, а також їх сучасна геодинамічна активність. Зони зчленування названі шовними рифтогенними (ШРЗ), і в цьому терміні поєднані умови стиску (шов) та розтягу (рифт). Виділяються ШРЗ за широким комплексом аерокосмічних, морфометричних та геолого-геофізичних даних.

Ключові слова: ефективність пошуків, шовні рифтогенні зони, геодинамічне районування території, схеми тектонічного розвитку

© С. М. Єсіпович, О. В. Титаренко, А. Д. Бондаренко, А. М. Бубняк. 2017

Геотектонічне районування Дніпровсько-Донецької западини

Останні уявлення про принципову тектонічну будову ДДЗ висвітлені в роботі [3]. Дніпровський грабен (ДГ) відділяється від Українського щита (УЩ) та Воронезького кристалічного масиву (ВКМ) шовними рифтогенними зонами (ШРЗ) [4], утвореними в епоху ранніх герцинід — від пізнього силуру до турнейського ярусу раннього карбону включно (рис. 1, б). Північна та Південна ШРЗ ДГ мають ширину до 10–12 км і виділені, в основному, за від'ємним гравітаційним полем (рис. 2). Треба зазначити, що за останніми даними овоїдно-кільцевої будови УЩ [5] фрагменти бортових ШРЗ могли утворитись ще на катархей-архейському етапі.

Від Прип'ятської западини ДГ відділений Брагінсько-Лоевським блоком (БЛБ), а від Донбаської складчастої споруди (ДСС) — потужним Лозоватинським блоком (ЛБ), який по суті залишає вузьку перемичку (на 1/4 ширини) між ДГ та ДСС. В тілі грабена виділяються дві депресії — Карлівська та Лохвицька, роз'єднані Пселсько-Хорольською зсувною зоною. Лохвицька депресія продовжує Дніпровський грабен на північний захід Ніжинською сходинкою (НС), яка безпосередньо межує з Брагінсько-Лоевським блоком. Усі елементи ДГ роз'єднані зсувними зонами: Карлівська депресія (КД) та Лохвицька депресія (ЛД) — Пселсько-Хорольською; Лохвицька депресія та Ніжинська сходинка — Удайською; Ніжинська сходинка та Брагінсько-Лоевський блок — Деснянською.

На південному сході Дніпровський грабен від ЛБ та ДСС відділяється Орельсько-Сіверсько-Донецькою перехідною зоною (ОСДпз), розміщеною між річками Орелька та Сіверський Донець, яку, очевидно, також треба відносити до ДГ. ОСДпз має косоподобну субширотну форму та розміри від 50 км уздовж північно-західної течії Орелі до 10 км в нижній течії Осколу, перед його впадінням у Сіверський Донець. ОСДпз обмежують дві зсувні зони — Берестовсько-Орельська та Оскольсько-Орельківсько-Самарська. Перша відділяє ОСДпз від Карлівської депресії, а друга — від Лозоватинського блоку та Донбаської складчастої споруди. З самої ДСС на схемі показана частина Вовчансько-Бахмутської депресії, яка примикає з заходу до Лозоватинського блоку.

В роботі [3] підкреслюється, що абревіатура "Дніпровсько-Донецька западина" є не зовсім коректною, оскільки, по суті, западиною ця територія була в межах часового інтервалу 740–476 млн р., коли формувалися відклади ранніх каледонід (від раннього венду до раннього ордовіку включно [3]). В подальшому, історія формування цих геотектонічних одиниць відрізнялася, особливо на герцинсько-альпійському етапах. Сьогодні ми маємо чітко виражені структури пізніх герцинід ДГ та ДСС. Роз'єднує ці структури потужний ЛБ, завдяки якому, власне, і відрізняється їхній геотектонічний розвиток. Вищезазначені структури були роз'єднані завжди — в усіх тектонічних схемах виділявся блок, який роз'єднував ДГ та ДСС, тільки називався він по-різному: Самарсько-Вовчанський виступ (В. К. Гавриш, 1989), Лозоватинський виступ (С. М. Єсіпович, 2003), маючи при цьому і різні розміри. Нова назва розмежовуючого блоку — Лозоватинський, обумовлена

* Тел.: +380 44 486 84 21

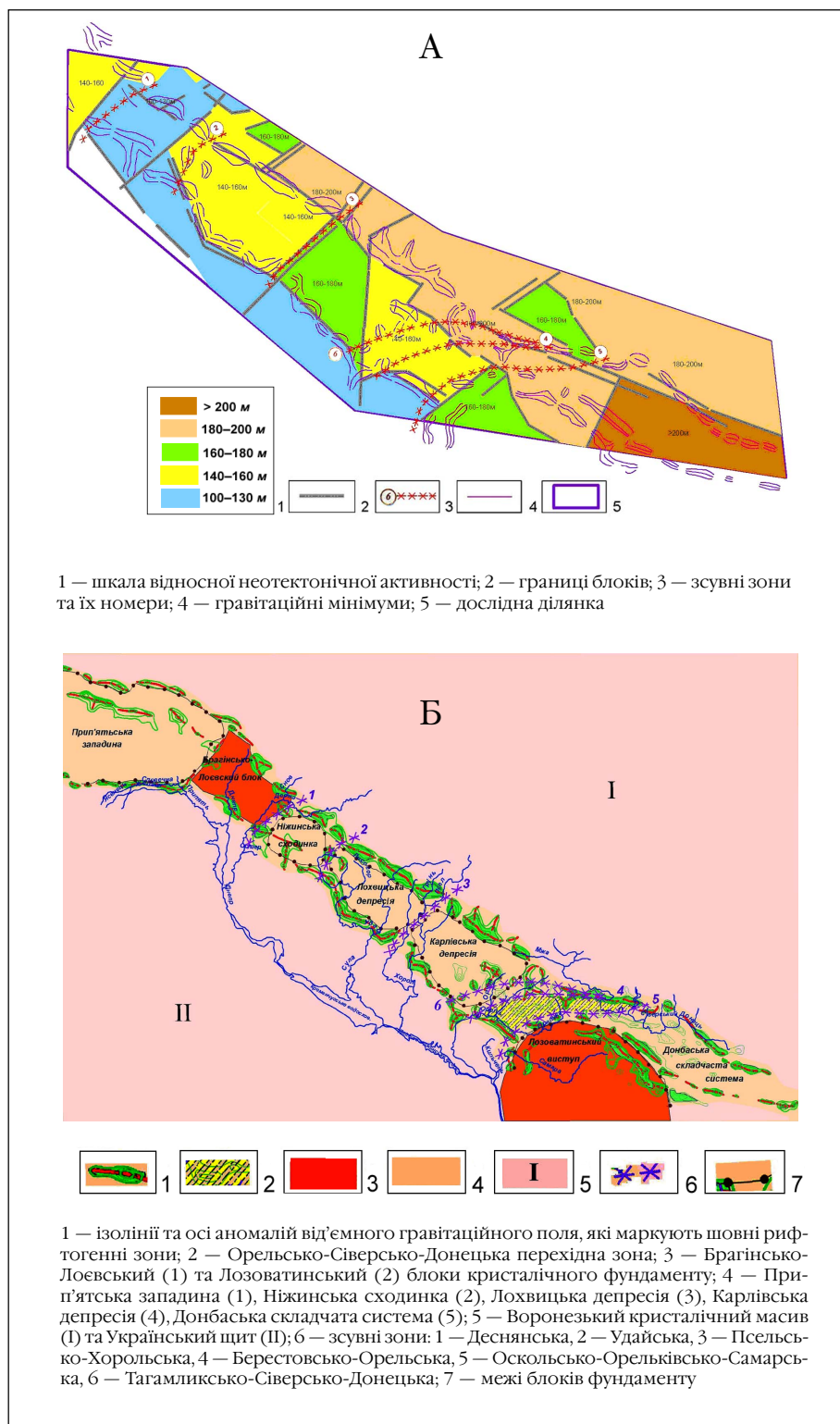


Рис. 1. Співставлення схеми відносної неотектонічної активності ДДЗ (А) зі схемою тектоніки (Б)

перш за все, його розмірами — він фактично на 3/4 перекриває простір між двома геотектонічними елементами, залишаючи тільки вузьку горловину, що добре вписується в поняття Донецького каналу за Д. М. Соболевим [10]. До того ж, це чітко виражений геодинамічний елемент, який має крутильну

компоненту, направлену проти годинникової стрілки. І. В. Височанський [8] довів це, досліджуючи розломну зону між ЛБ та східним краєм Орельсько-Берестовської перехідної зони (ОБпз). Сам ЛБ дуже чітко виділяється в аномальному гравітаційному полі (див. рис. 2), а його західну межу можна тра-

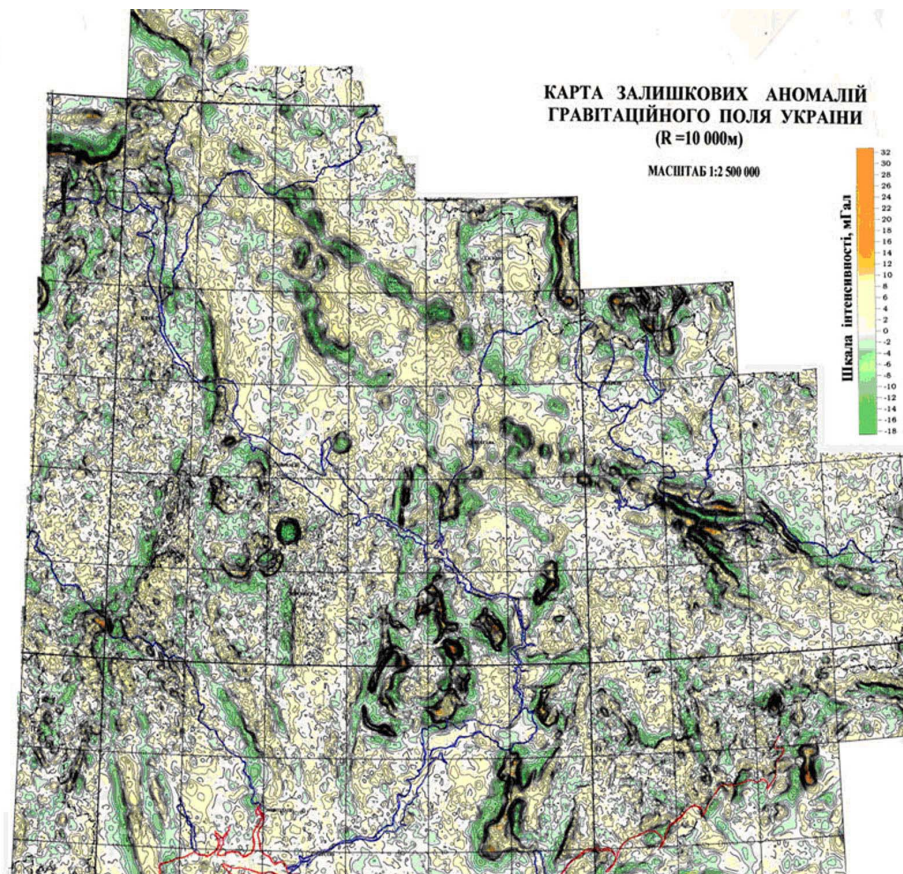


Рис. 2. Карта залишкових аномалій гравітаційного поля України (Мінекоресурсів України, ПДРГП “Північгеологія”, 2002)

сувати вздовж нижньої течії річки Самари через місто Дніпропетровськ і далі за течією Дніпра, до східної частини Каховського водосховища. Цей виступ майже овальної форми, і розмежовує ДСС та ОБпз.

Сам ДГ ділиться на Лохвицьку та Карлівську депресії, а розмежовуюча їх Пселська зсувна зона безумовно тяжіє до Криворізько-Кременчуцької шовної зони (ККшз). Чи існують сліди її в тілі Дніпровського грабена? Аномальні поля гравіки та магнітки це не підтверджують, а якщо брати до уваги протерозойський вік ККшз, то її там і не повинно бути.

Всі виділені геотектонічні елементи за даними геофізики (див. рис.1, б) добре підтверджуються матеріалами морфометричного аналізу та аерокосмічних зйомок (див. рис.1, а). Ці схеми не тільки добре співставляються по структурних елементах регіонального плану, але неотектонічна складова, пояснюючи загальну геодинаміку, ще вносить принципово нові геодинамічні риси. Відмічено також, що, якщо ШРЗ в потенційних геофізичних полях виділяються дуже чітко, то зони зсувів — неоднозначно і більш впевнено — за даними лінеamentної тектоніки. Співставлення двох схем (див. рис. 1) коректно робити за від’ємними гравітаційними аномаліями.

Аналіз нафтогазоперспективних зон

Перспективи нафтогазоносності Східного регіону України необхідно пов’язувати з особливими найбільшими зонами в земній корі — так званими шовними рифтогенними зонами загальною шириною до 12 км. Саме в їх межах зафіксовано широкий набір осадово-магматичних комплексів, специфічні геодинамічні умови та постійний підтік ювенільних вуглеводнів. Тут виникають сприятливі умови для утворення ВВ, коли до механічних умов “перетирання”, а значить і примусової фільтрації ювенільних вуглеводнів через динамічно напружені осадово-магматичні товщі, збагачені органічною речовиною, додаються умови високої температури та тиску.

Осадово-міграційна гіпотеза направляє пошуки та розвідку в глибину нафтогазового басейну для вивчення там нових глибокозалягаючих “перспективних” товщ. А з позицій неорганічного походження ВВ поняття перспективних товщ втрачає свою суть, тому що перспективними вони можуть бути тільки в межах ШРЗ і ділянках, що до них примикають. На друге місце відходить проблема колекторів, покриток та пасткових умов. Під дією флюїдного потоку ВВ та специфічних геодинамічних умов (епігенез, розуцільнення, тріщинуватість, тощо), утво-

рюються вторинні колектори та покришки з традиційних напівколекторів та напівпокришок. В результаті формуються пасткові умови, як узгоджені зі структурними формами, так і неузгоджені [6].

На початку нинішнього століття реальна ефективність пошуку вуглеводнів в ДДЗ була дуже низькою. По суті, крім декількох вдалих свердловин на вже відкритих родовищах, розбурювання нових площ, та навіть дорозвідка старих, була економічно не вигідною. Сьогодні на території ДДЗ практично дорозроблюються родовища ВВ, відкриті ще в радянські часи при необмежених тоді об'ємах пошукового буріння.

Дані аналізу реальної ефективності пошуку родовищ ВВ винесені на схему тектонічного районування ДДЗ В. К. Гавриша (1989). Оскільки саме цей дослідник перший привернув увагу до бортових зон западини, виділивши там свої “розломопари”, то на його схему сідловин-депресій і були винесені нинішні праобрази Північної та Південної ШРЗ (рис. 3). Хоча останні і тяжіють до “розломопар” В. К. Гавриша, але просторово не зовсім їм відповідають. По суті, це новий геотектонічний елемент зі своєю чіткою внутрішньою структурою, відображеною в геофізичних та геодинамічних полях і наповнений тільки йому притаманними літолого-фаціальними комплексами [6].

На тектонічній схемі В. К. Гавриша (1989) показані Срібненсько-Жданівська, Карлівська та Бах-

мутсько-Вовчанська депресії, роз'єднані Пселсько-Ворсклянською та Донецько-Орельською сідловинами. Ця схема 2010 року є перехідним варіантом до схеми 2014 року (див. рис. 1, б). Вона відрізняється менш точним положенням бортових ШРЗ та менш чіткою конфігурацією Лозоватинського виступу. В. К. Гавриш виділяє, як зазначалося вище, складчасту область герцинід Донбасу від платформеної області каледоно-герцинід Дніпровського грабену. На альпійському етапі розвитку (з ранньої пермі) відбулось геодинамічне відокремлення Донбасу від ДГ. Донбас продовжував розвиватись як слабо виражена гірська система, а ДГ — в класичному платформеному режимі. Альпійські рухи зі сторони Донбасу активізували горловину між Лозоватинським виступом і схилом ВКМ розвитком шовної зони та соляним діапїризмом. Підтвердженням цього є робота В. Г. Козленка [7], в якій він виділяє зону сучасної активізації від головного антиклінала Донбасу в бік Шебелинки — тут зафіксовано поглинання сейсмічної енергії та зменшення швидкості пружних коливань в інтервалі глибин 4–25 км.

На тектонічній схемі 2014 року (див. рис. 1, б) немає сідловин В. К. Гавриша, а Лохвицька депресія розміщена в межах Срібненсько-Жданівської. По суті, Карлівська депресія займає Карлівську депресію та Пселсько-Ворсклянську сідловину.

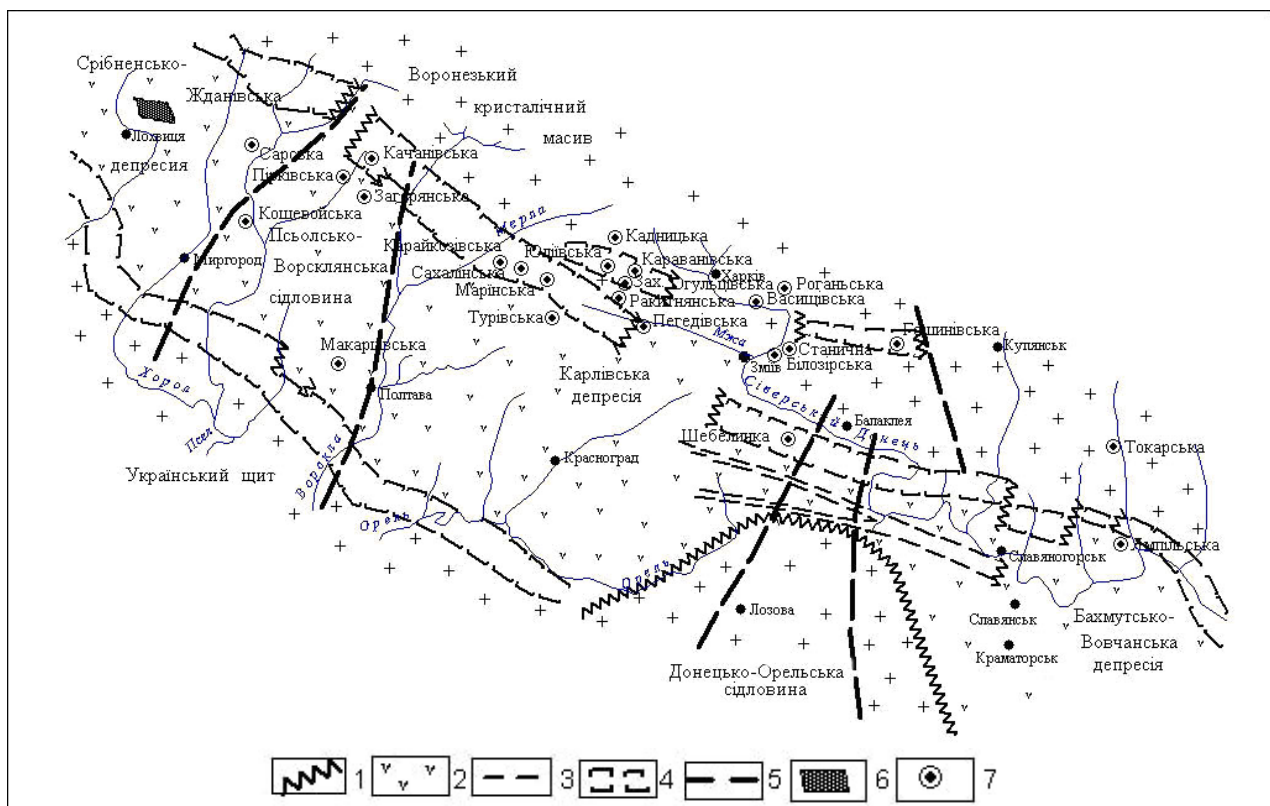


Рис. 3. Принципова тектонічна схема центральної частини ДДЗ.

1 — Лозоватинський виступ; 2 — Дніпровсько-Донецька западина; 3 — лінії активізації соляного діапїризму; 4 — шовні рифтогенні зони (ШРЗ), що відділяють ДДЗ від УЩ та ВКМ; 5 — зони що розділяють депресії та сідловини ДДЗ (за В. К. Гавришем); 6 — Рудівсько-Червонозаводське родовище; 7 — площі родовищ, що аналізувались

Північна ШРЗ на схід від Пегедівської площі (див. рис. 3), вже не має такого чіткого рисунку, як на заході. Можна виділити продовження її на сході з розривом та зміщенням в напрямку Шебелинки. Південна ШРЗ, чітко виражена в геофізичних полях, простежується тільки до Лозоватинського виступу. Це повністю підтверджено новою рисовкою зони зчленування ДГ та ДСС (див. рис. 1, б).

На рис. 3 виділена також Юліївсько-Гашинівська шовна зона, як бокове відгалуження від північної ШРЗ. Вона дійсно може мати місце і відображати девонський грабен на схилі ВКМ. На це вказують промислові дебіти нафти на Юліївській та Гашинівській площах, а також розбурені породи девону. В той же час проводити суцільну зону з Юліївської на Гашинівську площу немає підстав.

Аналіз ефективності пошуку родовищ ВВ у ДДЗ за період 2001–2011 років

Згідно тектонічної схеми (див. рис. 3) в межах сідловин та депресій розміщені наступні нафтогазоперспективні площі:

- Срібненсько-Жданівська депресія — Рудівсько-Червонозаводська та Сарська площі;
- Псельсько-Ворсклянська сідловина — Кошевойська, Пірківська, Загорянська та Макарецька площі;
- Карлівська депресія — Турівська площа;
- Бахмутсько-Вовчанська депресія — Ямпільська площа.

Для загальної характеристики центрального сегмента ДДЗ проаналізуємо площі Загорянську, Пірківську та Рудівсько-Червонозаводську.

Загорянська зона занурених підняттях у структурному плані [2] має вигляд великої гемібрахіантиклінальної складки, ускладненої поздовжніми скидовими порушеннями згідного типу, що надають їй уступчасто-нахилену форму, розвинену на моноклінальному оточенні Качанівського наскрізного криптодіапіру, який знаходиться в зоні північної бортової ШРЗ. Як позитивна структура, вона простежується лише по візейсько-турнейському геологічному поверху в вигляді групи локальних склепін, що найбільш інтенсивно формувались в пізньодевонський та візейсько-турнейський час під дією рухів блоків фундаменту та галокінезу. У наступні періоди розвитку активність прояву підняття значно ослабла, і структура формувалась як моноклінальна форма [2]. Два різноамплітудних поздовжніх скидових порушення, які простежуються по підйому осадових верств, відділяють структуру від Південно-Качанівської моноклінали, екрануючи її на критичному напрямку. На нашу думку, саме ці порушення розмежовують північну бортову ШРЗ, в якій розміщені площі Качанівська, Карайкозівська, Сахалінська від власне Дніпровської западини, де й розміщені Турівська, Загорянська та інші площі.

На Загорянській площі пробурені п'ять свердловин.

№№ 1, 2, 7, 8, 3. Свердловина № 7 була ліквідована з геологічних причин, оскільки основні пластинкоколектори горизонтів В-23–25 виявилися ущільненими. Найбільші початкові дебіти були зафіксовані при випробуванні св. № 1: газу до 195.5 тис. м³/добу і конденсату — до 94 м³/добу. В результаті досліджень та дослідно-промислової експлуатації (ДПЕ) був зафіксований наступний об'єм накопичених вуглеводнів:

- № 8: газу — 2.7 млн.м³, конденсату — 4 084 тон;
- № 2: газу — 7.4 млн.м³, конденсату — 3 943 тон;
- № 1: газу — 24.4 млн.м³, конденсату — 4 704 тон.

В цілому, при відборі продукції дебіти швидко падали і свердловини переводились в режими досліджень, інтенсифікації та ремонту. Необхідно зазначити, що свердловина № 8 закладалася в області максимального розвитку порід-колекторів горизонтів В-23–25, яка була визначена в результаті деталізаційних робіт сейсморозвідки та даних свердловин №№ 1, 2, 7. В середньому, при ДПЕ промислові припливи закінчувались через 5–7 місяців. Якби все-таки були передумови та обґрунтованість буріння п'яти пошукових свердловин, загальною глибиною близько 27 000 м. Якщо виходити з точки зору неорганічної концепції, то розбурювати Загорянське підняття, що знаходиться явно за межами північної ШРЗ, не було ніякої потреби. Навіть якщо діяти за принципом 80-х років минулого століття, коли розбурювалось кожне антиклінальне склепіння, виявлене сейсморозвідкою, то і тут цілком вистачило б однієї свердловини з професійно проведеною в ній дослідно-промисловою експлуатацією.

На Пірківській площі при випробуванні свердловини № 460 в колоні через штуцер діаметром 7 мм. Отримано такі результати: горизонт В-26 (5 410–5 386 м): газу — 51/2 тис. м³/добу, конденсату — 23 м³/добу; горизонт В-25 (5 336–5 326 м) слабкий приплив нафти 1.85 м³/добу при середньодинамічному рівні 2 500 м; горизонт В-17 (4 965–4 953 м): газу — 41.9 тис. м³/добу, конденсату — 44 м³/добу. В процесі тривалого дослідження останнього об'єкту спостерігалось значне зменшення устьових і пластового тисків та дебітів. Після видобутку 463 м³ конденсату та 452.8 тис. м³ газу в свердловину почала надходити пластова вода.

Рудівсько-Червонозаводське родовище (Лохвицький район Полтавської області) відкрито свердловиною № 33. Глибина її 5 817 м, а 80% запасів ВВ зосереджено в горизонтах В-22–23. Початкові запаси в 900 млн.м³, після відбору 90 млн.м³ переоцінені в 150 млн.м³, зменшені, таким чином в 6 разів.

Зафіксовані такі дебіти газу:

- Травень 1999 — 1 000 тис. м³/добу;
- Січень 2000 — 200 тис. м³/добу;
- Січень 2002 — 120 тис. м³/добу.

Автори роботи [9], де наведена ця інформація, роблять висновок, що в міру розрядки напруженого стану колектора внаслідок відбору газу, відбу-

вається змикання тріщин і, як наслідок, різко обмежується ефективний об'єм фільтрації флюїду. Причина цього явища вбачається в тому, що в приосьовій частині ДДЗ, на глибинах понад 5 000 м, широкого розвитку набуває тріщинуватість гірських порід, пов'язана з новітніми або сучасними фазами тектогенезу. Прояв його спостерігається в розвитку зон аномально високих порових та пластових тисків. Фільтрація флюїдів контролюється, в основному, тріщинною проникністю та розкритістю тріщин. Характерною є енергетична незбалансованість природної системи “флюїд-колектор-покришка”, значне поширення газонасичених колекторів із “защемленою” водою, розвиток опріснених пластових вод, підвищений вміст вуглекислоти в природньому газі і пластових водах.

Отже, початкові дебіти зменшилися у 6 разів через 7 місяців роботи свердловини. Напрошується припущення, що умови відбору вуглеводнів для центрального сегмента Дніпровського грабену близькі як для осьової зони (Рудівсько-Червонозаводська площа), так і для приобтової (Загорянська та Пірківська площі). І цей висновок не є несподіваним та дивним, якщо виходити з результатів історії геологічного розвитку — формування родовищ ВВ проходило під час просідання та стиснення центральної частини западини у верхньому карбоні [3, 1]. Якщо родовище ВВ не має каналу підживлення, який здатен нейтралізувати бокове стиснення осадових порід, то воно швидко вичерпає видобувні запаси і ніякі інтенсифікації припливів не допоможуть.

На Кошевойській площі пробурено три свердловини — № 07, 3 та 7. В першій (1978) було отримано припливи вуглеводневої сировини: газу — до 66 тис. $\text{м}^3/\text{добу}$ і конденсату — до 19 $\text{м}^3/\text{добу}$, але враховуючи глибину свердловини 5 622 м і в цілому невисокі дебіти, ДПЕ не проводили. Пробурені пізніше № 3 та № 7 виявилися пустими (в пластах-колекторах продуктивних горизонтів встановлено погіршення ємнісних властивостей завдяки літологічному заміщенню).

На Сарській ділянці Харківцівського родовища свердловина № 22 на кінець 2007 р. працювала в режимі ДПЕ горизонту В-18, з середньодобовими дебітами газу до 14 тис. $\text{м}^3/\text{добу}$ та конденсату — до 14 $\text{м}^3/\text{добу}$ (на штуцері 3,5 мм). Пластова вода в продукції відсутня, відмічається збільшення газового фактору.

На Макарьцівській площі пробурені свердловини № 29 та № 33. Свердловина № 29 перебувала в пробній експлуатації та ремонті. Розрахункові дебіти сепарованого газу — до 25,4 тис. $\text{м}^3/\text{добу}$, і стабільного конденсату — до 0,211 $\text{м}^3/\text{добу}$. Спостерігалось падіння робочих устьових, вибійного та пластового тисків. Свердловина № 33, глибиною 5 304 м при випробуванні горизонту С-4 (4 766–4 756 м) дала припливи газу — до 233 тис. $\text{м}^3/\text{добу}$ та конденсату — до 38 $\text{м}^3/\text{добу}$ (на штуцері 7 мм).

На Турівській площі в свердловині № 4, зроблена повторна перфорація горизонту С-7 в інтервалі

5 024–5 027 м. На штуцері 5 мм отримано: газу — 14,2 тис. $\text{м}^3/\text{добу}$, конденсату — 1 $\text{м}^3/\text{добу}$ і води — 7 $\text{м}^3/\text{добу}$. Спроби ізоляції водоносної частини пласта від продуктивної не дали бажаних результатів. Дебіти газу впали до 3,5 тис. $\text{м}^3/\text{добу}$ з постійним виносом пластової води. Свердловина ліквідована з геологічних причин, як така, що пробурена в несприятливих геологічних умовах.

Отже, можна зробити висновок, що площі Сарська, Кошевойська, Загорянська, Пірківська, Турівська та Макарьцівська, незважаючи на певну привабливість деяких своїх свердловин, розробляти навряд чи доцільно — в центральній частині ДГ немає чого робити на глибинах понад 5 000 м — затрати на буріння через незначні дебіти не окупляться.

Загально відомі родовища північного борту Качанівське, Карайкозівське, Сахалінське та Марінське знаходяться в межах Північної ШРЗ, а Шебелинське — в зоні зчленування ДГ та ДСС.

Зовсім окремо, як цікаву зону з невиясненими перспективами треба розглядати територію на північ від ДГ та ДСС. Хоча тут не було підтверджено бурінням серйозну продуктивність площ Кадницька, Станична, Білозірська, Роганська, Васищівська, Ракитнянська, Пегедівська, Токарська, Ямпільська, зафіксовано феномен Гашинівської, де хороші дебіти нафти були цілий рік, а також нафтогазоносність порід кристалічного фундаменту на площах Юліївська, Караванівська та Західно-Огульцівська.

Висновки

1. Основні перспективи нафтогазоносності Дніпровсько-Донецької западини необхідно пов'язувати з північною та південною бортовими ШРЗ та перехідною зоною між ДГ та ДСС. Перспективність всіх ШРЗ явно зростає з заходу на схід в бік ДСС.
2. Дослідження нижньо-пермського нафтогазоносного комплексу необхідно провести в області зчленування складчастого Донбасу з Карлівською депресією, звернувши особливу увагу на центральну її частину, яку перетинають лінії соляних діапирів.
3. Перехідна зона між Дніпровським грабеном та Лозоватинським блоком може бути розширена на північ до від'ємних гравітаційних мінімумів, які проходять через Мехедівську, Новоукраїнську та Машівську площі.
4. З точки зору загальної геодинаміки розвитку регіону, цікавим регіональним об'єктом є вся Орельсько-Сіверсько-Донецька перехідна зона, розміщена між Берестовсько-Орельською та Оскольсько-Орельсько-Самарською зсувними зонами.
5. Зсувні зони Деснянська, Удайська, та Псельсько-Хорольська також можуть бути регіональними об'єктами пошуків родовищ нафти та газу в межах Дніпровського грабену.

Література

1. Геология и нефтегазоносность Днепровско-Донецкой впадины. Глубинное строение и геотектоническое развитие / Гавриш В. К. [и др.]. — К.: Наук. думка, 1989. — 208 с.
2. Динаміка формування та нафтогазоносність зони занурених Загорянських підняттях / П. Павленко, В. Солодкий, П. Голуб, О. Голуб // Геолог України. — 2004. — № 4. — С. 45–49.
3. Єсіпович С. М. Історія планети Земля — пульсуючий розвиток під дією космічного пресингу [Електронний ресурс]: монографія: С. М. Єсіпович; ДУ “Наук. центр аерокосміч. досл. Землі Інст-ту геолог. наук НАН України”. — Електрон. дані (1 файл) / — К., 2015. — 190 с. — Інтернет-портал “Research Gate”. — Режим доступу: http://www.researchgate.net/profile/Stanslav_Yesypovych/publications. — Назва з екрану. — Дата звернення: 21.06.2017.
4. Єсіпович С. М. Геолого-геофизические и структурно-морфологические характеристики шовных рифтогенных зон / С. М. Єсіпович // Науковий вісник НГУ. — 2003. — № 10. — С. 38–40.
5. Єсіпович С. М. Структури ооїдно-кільцевого етапу розвитку земної кори на території України / С. М. Єсіпович // Геология и полезные ископаемые мирового океана. — 2016. — № 4. — С. 104–108.
6. Єсіпович С. М. Цикличність геологічних процесів в формуванні земної кори (на прикладі нафтогазоносних регіонів України): дис. ... докт. геол. наук: 05.12.2004 / Єсіпович Станіслав Михайлович. — К., 2004. — 298 с.
7. Козленко, В. Г. Зони деструкції земної кори в аномаліях хвильового і гравітаційного полів / В. Г. Козленко // Геофизический журнал. — 2002. — № 3. — Т. 24. — С. 67–76.
8. Особенности тектоники Днепровско-Донецкого авлакогена (роль сдвигов в структурообразовании) / Высочанский И. В. [и др.]. — Ин-т геол. наук, 1990. — 42 с. — (Препринт / АН УССР).
9. Результати дослідно-промислової експлуатації Рудівсько-Червонозаводського нафтогазоконденсатного родовища / Ю. Зарубін, М. Мачужак, В. Кривошия, А. Бондар // Геолог України. — 2003. — № 1. — С. 30–41.
10. Соболев Д. Н. О закономерностях геологического строения и распределения недровых богатств Амадоцийского (Большого Донецкого) бассейна и о линиях Карпинского / Д. Н. Соболев. — Х.: Изд-во НИИ геологии при Харьковском государственном университете, 1938.

СВЯЗЬ ГЕОТЕКТОНИЧЕСКОГО РАЙОНИРОВАНИЯ ТЕРРИТОРИИ С ПЕРСПЕКТИВАМИ ЕЁ НЕФТЕГАЗОНОСНОСТИ (НА ПРИМЕРЕ ДНЕПРОВСКО-ДОНЕЦКОЙ ВПАДИНЫ).

С. М. Єсіпович, О. В. Титаренко, А. Д. Бондаренко, А. Н. Бубняк

На примере фактических данных бурения в Днепровско-Донецкой впадине показана связь перспектив нефтегазоносности с элементами геотектонического районирования. Прежде всего, наиболее перспективными оказываются зоны сочленения различных геотектонических элементов, что подтверждает их современная геодинамическая активность. Зоны сочленения названы шовными рифтогенными (ШРЗ), и в этом термине соединены условия сжатия (шов) и расширения (рифт). Обнаруживаются ШРЗ по широкому комплексу аэрокосмических, морфометрических и геолого-геофизических данных.

Ключевые слова: эффективность поисков, шовные рифтогенные зоны, геодинамическое районирование территории, схемы тектонического развития

CONNECTION BETWEEN GEOTECTONIC ZONING OF TERRITORY AND ITS OIL AND GAS POTENTIAL (ON THE EXAMPLE OF DNEPER-DONETS RIFT)

S. M. Yesipovich, O. V. Titarenko, A. D. Bondarenko, A. N. Bubniak

Connection between geotectonic zoning of the territory and its oil and gas potential is shown on example of the actual drilling data of Dnieper-Donets Rift. First of all, the zones of connection of different geotectonic elements are the most promising, which is confirmed by their modern geodynamic activity. In this article, such transition zones are called seam rift zones (SRZ) for combining compression (seam) and stretching (rift) conditions. SRZs are distinguished by a wide range of aerospace, morphometric, geological and geophysical data.

Keywords: search efficiency, seam rift zone, geodynamic zoning of territory, schemes of tectonic development

УДК 528.8:(504.064.3:551.4.042)(477-25)

Супутниковий моніторинг розвитку зсувних процесів у Придніпровській зоні м. Київ

Л. П. Ліщенко *, Н. В. Пазинич, В. Є. Філіпович

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

На основі сучасних мультиспектральних супутникових даних високої просторової розрізненості визначено і уточнено місцеположення зсувів у м. Київ. Встановлено чинники активізації зсувних процесів у режимі моніторингу, зроблено прогноз можливої активізації зсувів. Створено ГІС Придніпровської зсувної зони м. Києва.

Ключові слова: Придніпровська зсувна зона, дані дистанційного зондування Землі, супутниковий моніторинг, чинники зсувоутворення, геоінформаційна система, прогнозування зсувоутворення

© Л. П. Ліщенко, Н. В. Пазинич, В. Є. Філіпович. 2017

Вступ

Представляємо результати удосконалення методики вивчення зсувонебезпечних процесів в межах Придніпровської зсувної зони міста Київ (ПЗЗ) за даними дистанційного зондування Землі. Роботу виконано у Державній установі “Науковий центр аерокосмічних досліджень Землі ІГН НАН України” (ЦАКДЗ) на замовлення Департаменту житлово-комунальної інфраструктури виконавчого органу Київської міської державної адміністрації (КМДА).

Розглянуто актуальні питання щодо розвитку зсувонебезпечних ділянок в м. Києві, а саме: уточнення місцеположення сучасних зсувних форм, відстеження ділянок активізації гравітаційних процесів у режимі моніторингу на основі мультиспектральних супутникових знімків високої розрізненості, отриманих останнім десятиріччям, прогнозування ризиків зсувоутворення. Результати представлені у вигляді геоінформаційної системи (ГІС).

Актуальність проблеми

Гравітаційні процеси у Києві, і в першу чергу — зсувні, пов’язані зі специфічними умовами, геологічним середовищем правобережжя міста, де перешаровуються верстви осадових порід різної водопроникності. Особливістю рельєфу даної території є значний перепад висот, різкі коливання базису ерозії та кутів нахилу схилів. За певних умов гідрометеорологічний чинник є пусковим механізмом зсувоутворення, а техногенні навантаження на схили — дестабілізуючим, що зумовлює небезпеку існування міської інфраструктури та життєдіяльності людей.

Вивчення зсувів на території Києва було розпочато ще у XIX ст. (М. П. Барбот-де-Марні, К. М. Феофі-

лактов (1882), П. А. Тутковський (1895), В. М. Чирвінський (1926, 1932) та ін), згодом цілі групи вчених і інститути досліджували проблему зсувоутворення на території Києва. Інженерним захистом схилів займалися всі, хто був причетний до розбудови міста починаючи з XII сторіччя, коли на стрімких схилах Дніпра з’явилися перші протизсувні споруди — дренажні відводи, підпірні стіни, вали [3].

Найбільш зсувонебезпечними є правобережні схили долини Дніпра і схили правосторонніх притоків, борти балок та ярів. Активізація гравітаційних процесів, що почалася з другої половини XIX сторіччя була викликана штучною зміною гідрологічного режиму ріки (перекриття Чорторію і спрямування русла під правий берег), інтенсивною забудовою схилів та прокладанням відповідних комунікацій, зміною умов дренажу ґрунтових вод унаслідок перекриття їх виходів на схилі техногенними відкладами, баражним ефектом від фундаментів споруд тощо.

Л. В. Самойленко (2003) проаналізувала інтенсивність зсувоутворення в окремі періоди. Найбільша активність спостерігалася в період 1960–1970 років завдяки метеорологічним явищам. Дослідниця, також відмітила зростання впливу техногенних чинників, а саме: вихід з ладу дренажно-штольневих систем, витoki з підземних комунікацій, будівництво (їх частка зростає від 53 до 91% за період 1960–2000 років) [10].

Сучасна активізація зсувних процесів є наслідком багатьох причин, але суттєве зростання випадків зсувоутворення останнього десятиріччя відбувається у роки з максимальною кількістю атмосферних опадів, що інфільтруються і сильно зволожують лесові ґрунти. Мінімальна стійкість схилів відзначається весною чи восени, максимальна — в зимовий та літній час. Проте, у грудні 2012 року спостерігалось перевищення норми опадів у 2.5 рази, які, надійшовши в ґрунт та в гідромережу, спричинили підвищення рівня води і перенасичення ґрунту. Також, навесні

* E-mail: Lischenko.lp@gmail.com

наступного 2013 року кількість опадів у березні перевищила середньомісячну норму в 3 рази. Зокрема, за зиму випало 260 мм опадів, що на 120 мм більше від норми. Протягом 22–23 березня 2013 року вперше за всю 132-річну історію метеоспостережень за дві доби у Києві випало більше 60 мм опадів у вигляді снігу, що дорівнювало місячній нормі. Масове сніготанення, що почалося 31 березня спричинило вже на початку квітня активізацію більш ніж 18 ділянок у межах міста. Осінь 2013 р. теж побила 90-річний рекорд за рівнем опадів. За даними Центральної геофізичної обсерваторії у вересні їх випало від 100 до 214 мм, що є нормою двох–чотирьох місяців. Тому 2013 рік можна назвати рекордним по активізації зсувних явищ за гідрометеорологічними показниками [2, 4] (рис. 1).

Проте найбільший вплив на активізацію зсувів у Києві має техногенний чинник, що залежить тільки від діяльності людини і, нажаль, у сучасних умовах господарювання є практично непередбачуваним. Завдяки втручанням в геологічне середовище порушується гідрологічний режим, створюються баражні умови, змінюється кут нахилу денної поверхні, порушується геологічна суцільність порід, знищується деревостан і дерновий покрив.

Виникла необхідність у створенні геоінформаційної системи на основі детальних космічних матеріалів для візуалізації та визначення стану зсувонебезпечних ділянок і прогнозування зона та контролю за еологічним середовищем міста з боку муніципальних органів а також громадських організацій.

Сучасний стан Придніпровської зсувної зони (ПЗЗ)

В межах м. Києва зсувні процеси розвинуті у двох зонах: Придніпровській — правий корінний схил долини Дніпра і пригирлова частина ярів та балок; і Міській — долина р. Либідь і її яружно-балкова мережа. Зсуви Придніпровської зсувної зони за характером прояву та геолого-гідрогеологічними умовами територіально згруповані в Подільську, Центральну, Лаврську, Залаврську, Видубицьку та Міську ділянки. Кожна ділянка має свої специфічні характеристики і особливості. Загальна кількість зсувних форм за даними попередніх досліджень — 92 зсуви та 6 ділянок зсувного рельєфу, які були відокремлені в окрему категорію [1].

Подільська зсувна ділянка приурочена до правого схилу долини Дніпра, прорізаною густою яружно-балковою мережею, обмежена Сирецькою балкою і Володимирською гіркою. В межах ділянки розташовано 39 зсувних форм загальною площею 120 га. Тип зсувів — прияружний і внутрішньо-яружний. Зсувного ураження на цій ділянці зазнають правосторонні схили ярів і балок. На Подільській ділянці розвинуті зсуви верхнього ярусу по бурих і строкатих глинах.

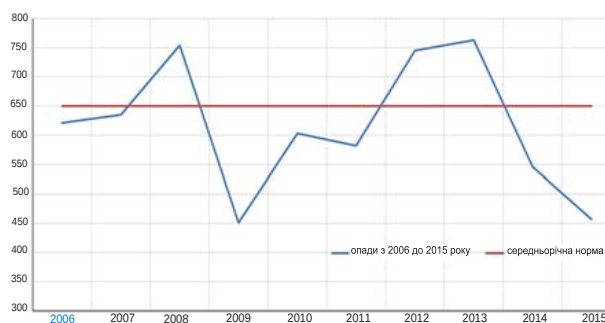


Рис 1. Кількість опадів за 2006–2016 роки в м. Київ, мм

На відміну від Подільської ділянки, зсувні форми Центральної та Лаврської ділянок мають практично суцільне розповсюдження. Всі їх морфологічні форми добре виділяються в рельєфі. Переважають зсуви циркоподібного типу. Характерною особливістю зсувних ділянок є те, що часто декілька зсувів мають практично спільну стінку зриву. Висота її дорівнює 16–22 м, ухил — до 80°. Біля підніжжя стінки зриву відмічається зсувна тераса шириною в середньому 30–40 м, але іноді її ширина сягає 100 м, вона закладена на полтавських (новопетрівських) пісковиках і червоно-бурих глинах). Після проведення багаторазових планувальних робіт поверхня терас слабо похила, до горизонтальної (Паркова дорога). Зсувні цирки та миси, що їх розділяють, добре виділяються в рельєфі і простежуються нижче спланованої тераси. Цирки депресій по схилу звужуються і переходять у вузькі улоговини довжиною до 200–400 м [1].

Видубицька ділянка розташована на схилах Ботанічного саду НАНУ. Зсуви характеризуються нечіткими морфологічними формами, окрім добре виділених стінок зриву висотою до 10–15 м. Зсувні тераси повністю відсутні, депресійні частини частково підрізані, язики повністю зрізані і переплавлені при облаштуванні штучної тераси та дороги в нижній частині схилу. В останнє десятиріччя екзогенні та геодинамічні процеси знову почали активізуватися, на цій ділянці утворились нові зсувні тіла.

В генетичному відношенні зсуви Видубицької ділянки близькі до зсувів-потоків північно-західної частини Подільської ділянки. До Придніпровської зони відносимо також схили Лисої і Багринової гори, з активізованими на них в останній час окремими зсувними ділянками. В процесі розвитку схилів всі морфологічні елементи зсувів під впливом природних і техногенних факторів зазнавали істотних змін: стійкі частини схилів руйнувались, цирки зсувів розширювались, зсуворозділяючі миси виположувались, руйнувались і осипались. З'єднавшись, верхні частини цирків формували специфічну морфоскульптуру зі слабозвивистою спільною стінкою зриву та хвилястою поверхнею депресій [3].

Методика досліджень

Підготовка та первинна обробка космічних даних середньої і високої просторової розрізненості

На територію площею 44 км² в межах ПЗС було замовлено, підготовлено та інтегровано до ГС супутникові дані високої (2–5 м) та надвисокої (0.5 м) просторової розрізненості. Отримані багатозональні супутникові дані (Pleiades від 22-04-2013 та 04-04-2016, World View-2 від 03-04-2014), а також, Quick Bird 2016 р. дали змогу провести моніторингові дослідження стану ПЗС за останні 10 років.

Різномасштабні космічні дані з різних носіїв було перепроєктовано до єдиної системи координат UTM WGS 84, Zone 36 N, геометрично і радіометрично скориговано, трансформовано до просторового розрізнення 0.5 м. Це дозволило вести дослідження і формувати картографічні моделі у оптимальних масштабах від 1:1 000 до 1:10 000.

Базовим космічним зображенням був вибраний панхроматичний знімок World View-2 з просторовим розрізненням на місцевості 0.5 м, знятим з мінімальним кутом відхилення від надиру. Всі інші космічні матеріали було трансформовано під базовий. Для відтворення натуральних кольорів космічного зображення Pleiades використовувався композит 3, 2, 1 каналів. Для даних, отриманих з космічного апарату (КА) World View-2 — композит 5, 3, 2. каналів. Крім того, для деталізації будови окремих зсувних площ використовувались і інші комбінації каналів, особливо з використанням ближнього ІЧ-діапазону КА World View-2.

Таким чином, отримано набір геометрично скорегованих космічних даних для проведення моніторингу і визначення змін у розвитку екзогенних геологічних процесів. Зауважимо, що космічні дані у повному форматі мають дуже великий розмір (від 4 до 12 Гб), що значно уповільнює швидкість комп'ютерного аналізу. Тому Придніпровську зсувну зону було розбито на три площі: Північну (Подільська ділянка), Центральну (Центральна, Лаврська, Залавська, Видубицька ділянки) і Південну (ділянки Лиса і Багринова гори, Мишоловка).

Застосування матеріалів космічних зйомок з меншим просторовим розрізненням, таких як Landsat, дає можливість ефективно вивчати новітні геодинамічні процеси, зони динамічної напруги (розломи, лінеamenti, зони тріщинуватості, геодинамічні вузли). У таких зонах спостерігаються закономірні зміни фізичних властивостей порід: збільшення пористості та зменшення щільності, механічної стійкості, спостерігається роздробленість гірських порід. Найнебезпечнішими є вузли перетину лінементних зон між собою, де може відбуватися втрата

механічної міцності, розвиток небезпечних екзогенних геологічних процесів (ЕГП) в тому числі і зсувів. Зони геодинамічної активності позиціонуються як зони геолого-екологічного ризику, оскільки в їхніх межах збільшується пористість та зменшується механічна міцність гірських порід, спостерігаються зміни молекулярної вологості, електропровідних й магнітних властивостей порід. Такі зони вважають нестабільними. Тут існує велика ймовірність підвищеної міграції речовин. Розущільнені, тріщинуваті породи в межах геодинамічних зон сприяють швидкій фільтрації природних вод і промислових та комунальних стоків. [5].

Отже, для оцінки зсувонебезпечності схилу необхідно визначити — чи не знаходиться він у межах геодинамічної зони або у вузлах їх перетину, тобто в зонах лінементів. На рис. 2 демонструється приклад виділення таких зон за супутниковими даними [6].

Одним з головних методичних прийомів досліджень, які виконали автори статті, є геоморфологічний аналіз зсувних ділянок за ЦМР, визначення градації схилів за стрімкістю та відносними перевищеннями над базисом ерозії, поділ на елементарні басейни. Детально методику геоморфологічного аналізу на основі морфодинамічного підходу за басейновим принципом, що використовувався при дослідженні цифрової моделі рельєфу викладено в роботах Н. В. Пазинич [8, 9].

Ідентифікація та картування зсувів за дистанційними даними та їх відображення у векторних шарах

За знімками високого просторового розрізнення уточнюються положення зсувних тіл. За спектральною яскравістю ідентифікують зсувні тіла, що активізувались і продовжують відноситися до категорії діючих.

Для роботи з космічним зображенням використовується як спектральний аналіз, так і контрастно-аналогове дешифрування КЗ, а саме — структурне дешифрування (лінеamentний аналіз), геоморфологічне дешифрування, морфодинамічний аналіз, вертикальної і горизонтальної структури рельєфу. В результаті повного комплексу досліджень виділяють прогнозні зони і ділянки з максимальним ступенем зсувонебезпечності.

Ризик активізації зсувів може бути спровоковано суттєвими змінами гідрогеологічного режиму, порушенням геологічного субстрату, стану статичної рівноваги (підрізання схилу, будівництво, вібрація), вирубуванням зелених насаджень та аварійними ситуаціями, як то — пошкодження та витoki з водонесучих систем. Тому результатом зіставлення різномасштабних високоточних супутникових даних є аналіз техногенних змін, де знайшли відображення всі новобудови та технічні споруди, що з'явилися за останні 10 років в зсувонебезпечній зоні.

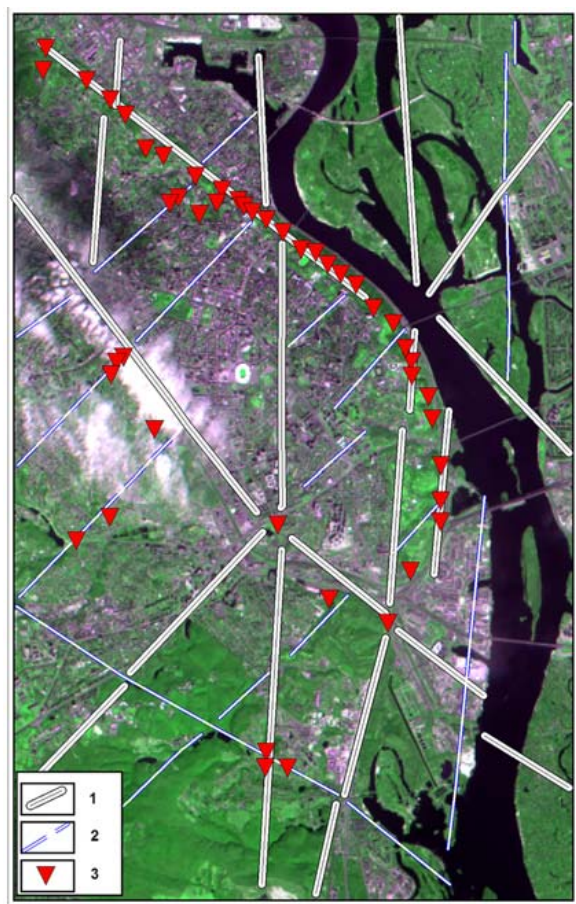


Рис. 2. Зіставлення карти лінементів із ареалами розвитку зсувів у м. Київ.
1 — розломи за геологічними даними, 2 — лінементи за результатами ДЗЗ, 3 — Ділянки розвитку та активізації зсувів за період 2005–2016 рр.

Карти лінементів зіставляють з даними про техногенні зміни, про існуючі зсувні ділянки, а також інтерпретують на основі структурно-геоморфологічних побудов. Лише в результаті комплексного аналізу цих даних визначають потенційно небезпечні ділянки [7].

Візуалізація, аналіз та прогноз явищ зсувоутворення на основі набору певних рядів супутникових даних дають можливість провести високоточний моніторинг стану конкретних ділянок з високою повторюваністю у часі. А комплексування різнопланових тематичних шарів з застосуванням геоінформаційних технологій допомагає картувати ділянки, що ідентифікуються на дистанційному зображенні та вивисовуються за ЦМР як зсуви, зсувні форми, зсувний рельєф, активні зсувні тіла або ж ділянки, що можуть бути зонами підвищеного ризику зсувоутворення.

Результати досліджень

Для спостереження за розвитком зсувів Придніпровської зсувної зони розроблена ГІС станом на першу половину 2016 року.

На територію дослідження побудовано робочий

набір векторної топографічної основи WGS84 у програмному середовищі MapInfo, наведений в таблицях нижче. Усі векторні шари перепроєктовано в проєкцію отриманих знімків UTM, WGS84, Zone 36, North.

Використання супутникових матеріалів та фондової геологічної інформації, а також аналіз на основі комплексної інтерпретації усіх даних дозволили створити нові спеціалізовані шари, що стосуються активізації та ризику зсувоутворення.

В результаті трудомістких робіт геоінформаційна система наповнилася шарами, які були створені на основі аналізу супутникових даних, з використанням цифрових моделей рельєфу та аналітичних даних (рис. 3).

Отже створений ГІС включає:

А) *Растрові шари*, що вміщують набір супутникових даних (Space image Quickbird, Pleiades та World View-2) за період з 2006 до 2016 рік. Дані зображення у вигляді 6 шарів мають дуже незначні похибки прив'язки, коректно зіставляються, представлені як в панхроматичному діапазоні з надвисоким розрізненням (чорно-білими), так і синтезом діапазонів приближених до природних кольорів:

SI_Quickbird_2006_0.5 m;
SI_Pleiades_2013_nn321;
SI_WV_2014_Pan;
SI_WV_2014_nn532;
SI_Pleiades_2016_nn321.

Б) *Топографічні векторні шари* із загальнодоступною інформацією на досліджувану територію. Проте була проведена її перевірка і коректування, об'єднання і просіювання деяких шарів з метою розвантаження ГІС під певну задачу, тому в топографічній частині ГІС залишилось 15 шарів (табл. 1).

В) *Спеціалізовані шари*, які створені вперше та використовуються для вирішення задач моніторингу зсувів і визначення ризиків активізації зсувної діяльності, їх перелік наведено у табл. 2.

Коротко розглянемо наповнення і характеристики даних спеціалізованих шарів.

Структурне дешифрування. Дешифрування знімків з використанням контрастно-аналогового та геоіндикаційного підходів дозволило створити шар *лінементного аналізу* території (Lineament zone). Приповерхневі та глибинні розломи, фрагментарно можуть проявлятися на космічному зображенні. Вони зіставляються з геодинамічними зонами із підвищеною флюїдопроникністю та можуть бути потенційно небезпечними щодо розвитку та активізації екзогенних процесів.

Ступінь вірогідності виділення розломів різна. Структурно-тектонічна перебудова кристалічного фундаменту Київського регіону відбувалася під впливом рухів по численних розривних порушеннях, серед яких провідну роль відіграє Дніпровська тектонічна зона, що має північно-західне простягання та контролюється Київським глибинним роз-



Рис. 3. Фрагмент результатуючих шарів ГІС представлених у звітних матеріалах у вигляді карти

Таблиця 1.
Топографічні шари ГІС

building	будівлі
building_inside	внутрішня частина будівель
wood	густа рослинність
grass	рідка рослинність/газони
streets	дороги/вулиці
water	водойми
church	церкви
square	площі
relief	рельєф
railway	залізниця
tram	трамвай
district	райони
section	квартали
stadium	стадіони
bridge	мости

Таблиця 2.
Спеціалізовані шари ГІС

Drainage_lines	дренажна мережа
Ridge_lines	гребеневі лінії схилу
Slope_brow_upper	верхня бровка схилу
Slope_brow_lower	нижня бровка схилу
Slope_bending	перегин схилу
Refinad landslide_contours	уточнені контури зсувів
Refinad landslide_numbers	уточнені номери зсувів
Landslide_prone_zone	зсувонебезпечні зони
Landslide_number	номер зсуву
Lineament_zone	лінеаментні зони
Activated_landslide_area	активні ділянки зсувів

ломом. Наступний за значенням — міжблоковий Дарницький розлом субмеридіонального простягання. Крім цих головних розривів у кристалічному фундаменті за геолого-геофізичними даними встановлено ряд тектонічних порушень меншого рангу і різних напрямів простягання.

В неотектонічному плані ці розломи представлені фрагментарно, але впевнено дешифруються за

супутниковими даними та ЦМР. Розломи, закладені у кристалічному фундаменті за давніх епох тектонічного розвитку закономірно зменшують свою амплітуду знизу-догори і у верхніх горизонтах земної кори нерідко стають безамплітудними, формуючи лише зони підвищеної тріщинуватості. Саме такі зони знаходяться поза межами можливостей геофізичних методів і трасуються лише за резуль-

татами структурно-геоморфологічних досліджень та дешифрування матеріалів аерокосмічного знімання (рис. 4).

Дарницький розлом в сучасній ландшафтній системі контролює субмеридіональний відрізок долини Дніпра. За своєю морфологією він представляє ступінчастий підкид, по якому Київський блок припіднято відносно зануреного Бориспільського. У гравітаційному полі це тектонічне порушення простежується за наявністю лінійних мінімумів субмеридіонального простягання, воно має стрімке падіння і простежується до глибини 12 км [11].

В неотектонічному плані простежується спадковість глибинного Дарницького розлому Київським неотектонічним порушенням. Зоні впливу Київського розлому відповідає значне підвищення середніх градієнтів швидкості неотектонічних рухів земної кори. Наявність локальних максимумів середніх градієнтів швидкостей неотектонічних рухів земної кори свідчить про формування ряду мезо- і мікро- блокових структур зі значними різницями неотектонічних амплітуд та вираженими відмінностями в режимі вертикальних рухів. Така геодинамічна активізація в приповерхневих геологічних горизонтах призводить до активізації екзогенних процесів, насамперед, гравітаційної групи. В рельєфі розлом обумовлює формування крутого правого схилу долини Дніпра 60–70 м заввишки. Слід зазначити, що дана субмеридіональна зона диз'юнктивних порушень є найбільш вираженою в ландшафті і найбільш активною на даний час [7].

Найбільш потужним тектонічним порушенням північно-східного простягання є Немирівський розлом.

Окрім описаних геодинамічних зон, що мають підтвердження за геофізичними методами, на схемі представлено цілий ряд ймовірних розривних порушень за даними вивчення структурно-геоморфологічних особливостей території, а також за результатами аналізу дистанційних даних. Аналізуючи роль окремих зон геодинамічної напруги у розвитку сучасних екзогенних процесів, необхідно відзначити, що найбільш активними на неотектонічному етапі є зони субмеридіонального і північно-західного спрямування. Зони північно-східного спрямування відіграють підпорядковану роль [11].

Особливо несприятливими ділянками є місця перетину геодинамічних зон різного напрямку. Такі вузли характеризуються високим рівнем роздробленості гірських порід. При певних умовах тут відбуваються деформації земної поверхні, активізуються екзогенні, геохімічні та інші процеси. Висока проникність гірських порід є одним із чинників підйому ґрунтових вод, що веде до підтоплення ґрунтів, порушення фундаментів будівель, підземних комунікацій та інших об'єктів, може викликати зсувні процеси, вилуговування гірських порід з їх подальшим просіданням.

В межах Києва такі ділянки знаходяться на правобережжі, біля Поштової площі, площі Либідської (оз. Глинка), Куренівки, Лисої гори. Такі ділянки виділяються нами як зони сучасної активізації всіх екзогенних процесів, які є несприятливі для проведення житлового, промислового, транспортного будівництва, спорудження об'єктів з великим статичним навантаженням тощо. Вони потребують моніторингового контролю за експлуатацією об'єктів для проведення певних профілактичних заходів по зменшенню негативного впливу на природне середовище.

Геоморфологічні дослідження. Результатом аналізу рельєфу за ЦМР та дешифруванням КЗ став комплекс побудов і формування *геоморфологічних шарів* до ГІС. Два шари показують вертикальну структуру рельєфу — гребеневі лінії (Ridge_lines) і дренажні лінії (Drainage_lines). Фізичний зміст гребневих та дренажних ліній полягає у визначенні вектору ймовірного руху поверхневих речовинних потоків. З максимальною вірогідністю траса руху зсувного тіла буде контролюватися напрямом вже сформованої дренажної лінії. Треба зазначити, що більшість зсувонебезпечних ділянок у Києві знаходяться в стані спокою, тобто динамічної рівноваги. Вироблений профіль схилу може достатньо довгий час бути стабільним поки якийсь з факторів не активує зсувну діяльність. Найбільша щільність гребневих ліній спостерігається в місцях розчленованого ярами схилу Придніпровського плато та бортів долини річок Сирець, Глибочиця, балки Мишоловка. Також змінюється і планова конфігурація гребневих ліній від коротких спрямлених до довгих звивистих.

Горизонтальна структура рельєфу представлена шаром, на якому відображена верхня бровка схилів (Slope_brow_upper), лінії опуклих перегинів схилів (Slope_bending) і нижня бровка схилів (Slope_brow_lower), саме в межах яких, у переважній більшості, відбуваються зсуви. Гіпсометричні перевищення поверхні створюють умови для переходу потенційної енергії важких, зволжених мас порід, у верхніх частинах схилів, в кінетичну енергію зсування, опливання, обвалювання і переміщення порід до базису денудації. Всі структурні лінії схилів проведені на основі супутникових даних за детальними цифровими моделями рельєфу з перетином у 1 м [9]. На позовдовжньому профілі схилів виділяються лінії опуклих і увігнутих перегинів. Саме в межах опуклих перегинів схилів фіксується збільшення крутизни, що також створює сприятливі умови для зсувоутворення. Нижня бровка схилу фіксує перехід схилу у вирівняну поверхню, але в місцях де відбувається розвантаження підземних вод різні види техногенних навантажень на геологічне середовище (підрізання схилу, засипання дрена) можуть впливати на втрату стійкості схилу і також стимулювати зсувну діяльність.

Антропогенні зміни, що відбулися за останнє де-

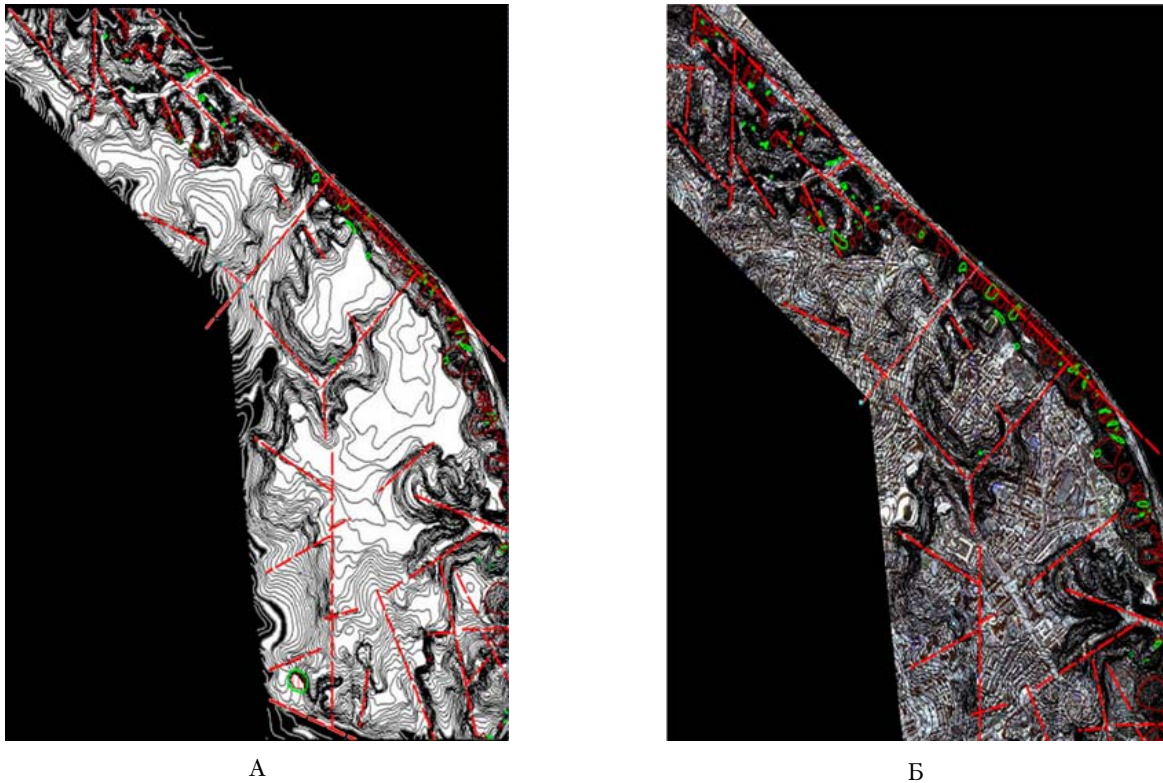


Рис. 4. Приклад лінеamentного аналізу: А — за ЦМР, Б — за супутниковими даними

сятиріччя в ландшафтно-функціональній структурі міста відображені окремим шаром (Monitoring_anthropogenic_changes), де представлені результати порівняння даних з космічних знімків, починаючи з 2006 до 2016 року. Порівняння стану досліджуваної території проводилося в результаті аналізу космічного зображення та візуального дешифрування на космічному зображенні техногенних об'єктів, що з'явилися за останнє десятиріччя, в більшості випадків це нові будівлі, що з'явилися на місцях старих житлових кварталів та промислових зон, гаражів, пустирів, де вплив на геологічне середовище був поверхневим і мав стабільне навантаження. Поява новобудов у вигляді багатоповерхових будинків, приватних котеджів, нових під'їзних шляхів, що супроводжується переплануванням поверхні часто з підрізуванням схилів, переміщенням великих мас ґрунту у зсувонебезпечних зонах та прилеглих до них місцях, сприяють виникненню зсувонебезпечних умов. Ризик активізації зсувів може бути спровоковано й суттєвими змінами гідрогеологічного режиму, порушенням геологічного субстрату, стану статичної рівноваги (підрізання схилу, будівництво, вібрація), вирубуванням зелених насаджень та аварійними ситуаціями, якто прорив чи виток з водонесучих систем. Тому інформація даного шару ГІС необхідна для створення карт ризику активізації зсувів і допомагає виявити техногенні чинники, що можуть стати пусковим механізмом зсувоутворення.

Необхідним і одним із основних для ГІС став шар

уточнених контурів зсувів за супутниковими даними (Refined landslide_contours). На даний шар внесені контури існуючих зсувних тіл, які увійшли до геологічного кадастру та нові тіла, що були виявлені нещодавно. Ідентифікація та картування зсувів виконувалися в результаті порівняння фактичної інформації з кадастру та уточнення їх меж за деталізованим рельєфом поверхні, де фіксуються бровки, перегини схилів, гребеневі і дренажні лінії певної конфігурації, що підкреслюють зсувне тіло і відокремлюють їх від інших схилів. В Центральній зоні Придніпровської зсувної зони існує ситуація, що давні зсуви мають загальну стінку відриву, їх циркоподібний профіль ускладнений природними процесами та антропогенною діяльністю, в тому числі і зсувозахисною — підпірними стінками, колодязями, валами, дренажними лотками. Тому форму і протяжність зсувів ми початково брали із попередніх звітів, а на весняних сучасних високоточних знімках, де видно, не тільки тальвеги, але й по-різному освітлені схили уточнювали їх контури і локалізацію. Як правило, всі існуючі зсуви мають статус стабілізованих і відносно стабільних, вони заліснені, з виконанням комплексом усіх необхідних зсувозахисних заходів. Нумерація зсувів збережена згідно існуючого кадастру. В атрибутивну таблицю даного шару внесені дані на кожен зсув з інформацією про місце розташування, коротку характеристику зсувної форми, її стан на 2005 рік за геологічними даними, на 2013 рік — за

даними Спеціалізованого управління підземних протизсувних робіт, на 2016 рік — за супутниковими даними з елементами прогнозу за комплексним аналізом дистанційних даних.

Польові дослідження. В рамках даного проєкту проведено ряд виїздів на польові дослідження з метою обстеження та відбору проб для визначення вологості ґрунту на зсувонебезпечних ділянках та для верифікації дистанційних даних. Були відібрані проби та виконані розрахунки вологості ґрунту на шести зсувонебезпечних ділянках. В результаті, як і очікувалось, найвологішим виявився ґрунт біля озера в Мишоловській балці відібраний в нижній частині схилу. Також порівняно вологим був ґрунт на поверхні мису над Лисогірським зсувом, тоді як найменші показники виявилися на ділянках середніх частин схилу району Лаври та Ботанічного саду ім. Гришка (рис. 5). Ділянки, які обстежувались розташовувались на верхніх частинах зсувних тіл, та мали достатню площу відкритих не заліснених поверхонь, які можна ідентифікувати та завірити на космічних знімках. Під час польових робіт фіксувалась температура і вологість повітря, температура ґрунту в місцях відбору проб. Результати опробування показали, що за показниками вологості не вдалось виділити окремі ділянки, які мають найбільший ризик активізації зсувних процесів. За рахунок того, що період опробування був доволі сухий, середня вологість ґрунту у квітні коливалась від 15 до 45%. Залежність місця взяття проби та часу відбору представлена діаграмами на рис. 5 та 6.

З побудованих діаграм на рис. 6 видно, що вологість ґрунту протягом квітня майже не змінювалась в часі, але на окремих ділянках вона відрізнялась. Так, найбільш вологим виявився ґрунт у верхній частині Лисої гори, тоді як на зсувонебезпечній ділянці біля озера Глинка вологість ґрунту виявилася найменшою. Різницю можна пояснити лише складом поверхневих відкладів. На Лисій горі та в Ботсаду НАНУ, біля Іонівського мису ґрунти глинисті та важкосуглинисті, а біля оз. Глинка він техногенний, малогумусний піщаний.

Оперативні обстеження зсувних ділянок. Останнім часом у Києві формуються нові, невеликі за розмірами, але значні за наслідками зсуви спровоковані саме антропогенним чинником, які викликають широкий розголос серед киян. Автори статті періодично виконували обстеження ділянки активізованих зсувів (рис. 7).

Так, в серпні 2016 р. фахівці Центру провели обстеження зсуву і прилеглої ділянки на схилах долини Кловського струмка (вул. Мар'яненко), а в грудні 2015 р. на проспекті Лобановського (Червонозорянському), 14. Періодично проводився моніторинг стану зсувонебезпечних ділянок на схилах на Андріївському узвозі, Замковій горі, в балці Мишоловка (див. рис. 7).

Зсув по вул. Мар'яненка знаходиться у нижній

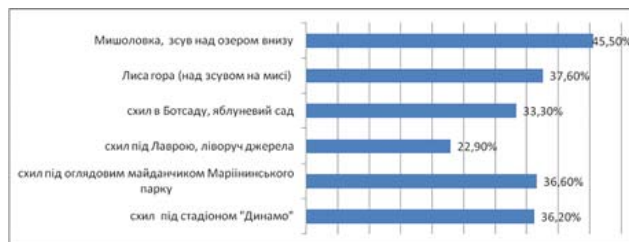


Рис. 5. Стан вологості ґрунту на 05.04.2016 р.



Рис. 6. Стан вологості ґрунту на різні періоди квітня 2016 р.

частині терасованого схилу, кут стінки відриву — 70°. У 60-х роках минулого сторіччя схил був забудований житловими будинками, тоді були виконані укріплювальні роботи та зроблені підпірні стінки і прокладені всі комунальні мережі, існувала штольня для відводу води, але вона вже давно зруйнована і її місцезнаходження визначити не вдалося. Зсув відбувся в схилі на нижній терасі в результаті прориву водопровідної мережі. Мало місце штучне замокання та перезволоження поверхні нижньої тераси, її переобтяження, а потім відколювання і опливання частини схилу розмірами 15 × 10 м. В результаті сповзання маси ґрунту був зруйнований гараж та приміщення складу. Треба відмітити, що будівництво, яке ведеться нижче зсуву по вул. Мечникова також порушує стійкість схилу, але, вочевидь, там зроблені підпірні стінки та виконуються всі необхідні заходи для будівництва у таких природних умовах.

Критичними для формування зсувів є схили з ухилом 30° і більше. Автори статті провели обчислення ухилів схилів і визначили дві критичні ділянки (рис. 8). Перша — це місце де відбувся зсув (стрімкість 40°), а друга знаходиться в північно-східній частині по вул. Кловський узвіз (стрімкість 39°). Пусковим чинником формування зсуву по вул. Мар'яненка виявився прорив водопроводу і перезволоження ґрунтових мас (див. рис. 8). Подібна ситуація склалася на проспекті Лобановського 14, де зсув відбувся на схилі 10 м заввишки, і відповідно з нахилом приблизно 26–43°. Геоморфологічні умови зсувоутворення були в значній мірі підсилені довготривалим виливом води з мереж водовідве-



А



Б

Рис. 7. Фотографія зсуву: А — по проспекту Лобановського, 14 (грудень 2015 р.), Б — по вулиці Мар'яненка (серпень 2016 р.)

дення, дощами, та прорахунками будівельників. Тобто, навіть в умовах, де рельєф ще не досягає граничних меж ухилу (укоси менші за 30°) інтенсивне обводнення призводить до виникнення обвалів і зсувів. Тому, таким необхідним стає уточнення меж зсувних тіл, активних зсувонебезпечних ділянок та прогнозних небезпечних зон.

У шарі Activated_landslide_area виділені ділянки, на яких зсуви були активізовані за останній час внаслідок тих чи інших дій та деякі з них перебувають в стадії активності і продовжують відноситися до категорії діючих. В більшості випадків активний зсув, той що відбувся нещодавно або процес відбувається й надалі, проявляється на зображенні освітленим тоном за рахунок відслонення геологічних порід, сповзанням мас ґрунту, слідами витоків води з під тіла зсуву. Найкраще такі явища відображаються на панхроматичних зображеннях або на знімках в зеленому та червоному спектральних діапазонах у вигляді яскравих світлих контрастних аномалій. Дані аномалії, звичайно, проявляються на зображенні меншою площею за рахунок стрімкості схилу і виглядають меншими ніж сама активна зона, яка проектується на горизонтальну поверхню. На схилах Центральної зсувної ділянки такі освітлені ділянки спостерігаються у вигляді потоків тільки після активного сповзання (рис. 9).

У табличному вигляді зведено дані про 20 активізованих зсувів, виділених на основі наших спостережень, а саме час їх активізації, причини виникнення, висота стінки зриву, базис ерозії, завданням збиткам. Також був створений каталог всіх даних моніторингу стану зсувних форм ПЗЗ Подільської, Центральної, Лаврської, Видубицької ділянок за супутниковими даними на період 2006, 2013 та 2016 роки з прив'язкою зсувів, їх стислими характеристиками та прогнозом ризику активізації. Нумерація зсувів подається за існуючим каталогом.

Автори статті провели моніторинг зсувної діяль-

ності в межах ПЗЗ. На 2006 рік активними вважалися наступні зсуви — Подільська ділянка — в схилі Сирецької балки, вул. Фруктова — вул. Захарівська (зсув №1), схил г. Щекавиця, вул. Нижньоюрківська, (№ 18), на Кудрявському узвозі та схилах Петрівського яру, вул. Воздвижінська (№ 25, 27), верхів'я Дігтярного і Гончарного яру, вул. Київівська до їх впорядкування (№ 28), схил р. Дніпро, вул. Боричів Тік, західніше фунікулера, (№ 37); Центральна ділянка зсуви біля стадіону Динамо та Маріїнського палацу — зсув № XVIII, частково № XIX та ділянки Лаври та Залаврській № XXXIIIа. В процесі комплексу протизсувних заходів більшість з цих зсувів були стабілізовані або підтримувались спеціалізованим управлінням підземних протизсувних робіт (СУПІР) у задовільному стані.

Активізацію зсувоутворення навесні та влітку 2013 року, як зазначалося вище, викликав гідрометеорологічний чинник. Тоді деякі з існуючих зсувних тіл активізувалися і виникли нові значні зсуви ґрунту. За рік їх кількість по м. Києву перевищила 18, а безпосередньо в Придніпровській зоні відбулись незначні зрушення ґрунту біля Арки Дружби народів та Маріїнського парку; більш вагомі — нижче Паркової дороги в районі Зеленого театру та Аскольдової могили. Тобто на Центральній ділянці прояви активізації відмічалися на зсувах №№ I, II, VIII, XVIII, XX, XXXI, XXXIII та на Лаврській ділянці № 3. Активізувалися схили Ботанічного саду ім. Гришка. Так в районі Княжого красного двору Ботанічного саду відбулось значне відколювання і зсув ґрунту в районах зсувів № 9 та № 10 Видубицької ділянки. Слід відмітити, що частіше активізація екзогенних процесів відбувалася на схилових частинах зсувних форм, у верхній частині тіла зсуву, але також спостерігається на мисових ділянках між зсувами в районі Арки дружби народів, Іонівського мису та Княжого красного двору Ботанічного саду НАНУ.

У 2014–2016 роках значна активізація не

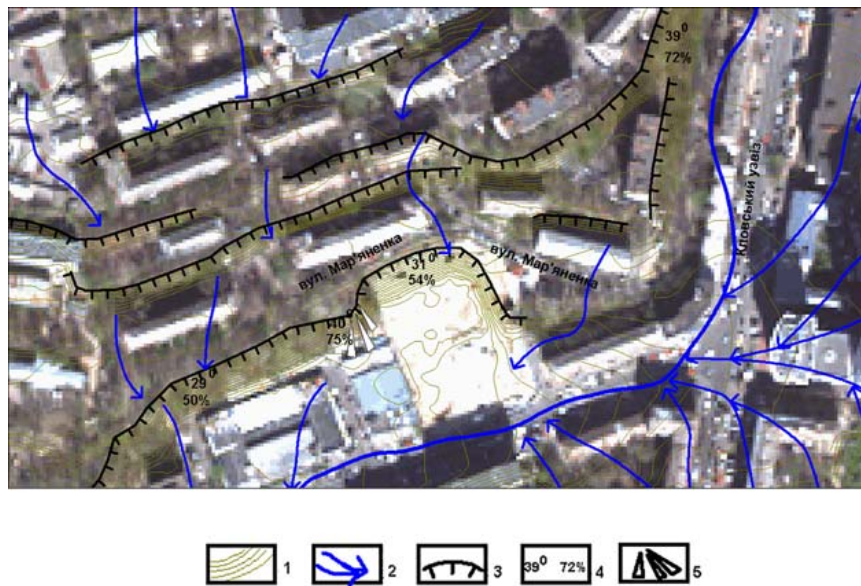
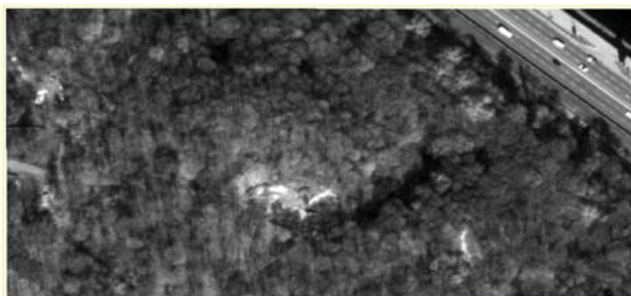


Рис. 8. Ділянка зсуву по вулиці Мар'яненка.

1 — горизонталі; 2 — напрями поверхневого стоку; 3 — верхні бровки схилів; 4 — кути нахилу схилів у градусах та процентах; 5 — зсув



А



Б

Рис. 9. Активізована ділянка Придніпровського схилу: А — білі плями в центрі і нижньому правому куті — зсувонебезпечні ділянки, фрагмент КЗ, масштаб 1:1 000; Б — жовтий прямокутник — детальна ділянка на фрагменті КЗ, масштаб 1:10 000

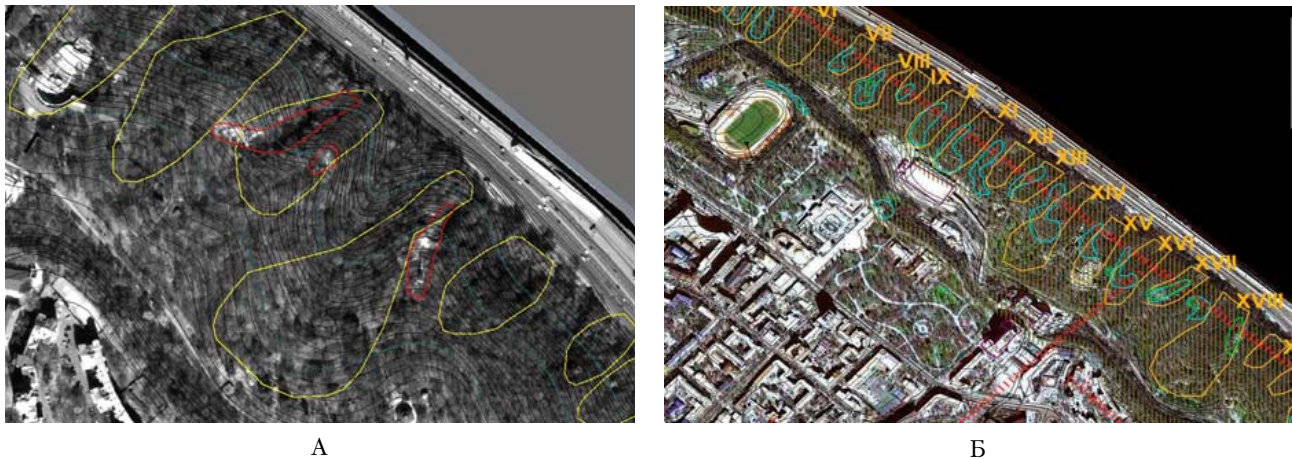
відмічалась, проте продовжували розвиватися зсуви Мишоловської балки, незначні опливи відбувались безпосередньо на Дніпровському схилі в районі Ботанічного саду на Видубицькій ділянці. Протизсувні заходи були проведені на Лисогірській ділянці, де зсув над залізничною колією вздовж Столичного шосе був оперативно рекультивований. Після зливових дощів також були очищені штольні, зливосток.

Протягом останніх років утворювалися нові зсувні ділянки пов'язані з техногенною діяльністю, що виникли внаслідок проривів водогонів (пр. Лобановського, вул. Мар'яненко) та внаслідок підрізання схилів на вул. Кіквідзе №№11–17 та 43, вул. Кіровоградській, Батиевій горі, на схилах гори Щекавиці до вул. Глибочицької та в схилах Юрківського яру. В активному стані залишаються схили Мишоловської балки (вул. Ягідна, Квітки-Основ'яненко, Корчуватівська, Кащенко, Весняна).

На основі моніторингу розвитку зсувної діяльності за останнє 10-річчя автори статті виділили прогнозовані ділянки та зсувонебезпечні зони вірогід-

ного виникнення та активізації зсувних процесів. Створено результуючі шари ГІС, що були укладені на основі комплексування і аналізу усієї наявної інформації з врахуванням геологічних даних та супутникової інформації, отриманої у 2006 — 2016 рр. Виділено прогнозні зони і ділянки з максимальним ступенем зсувонебезпечності, які склали 2 спеціалізовані шари ГІС: 1 — *зони підвищеної небезпеки зсувоутворення* (Landslide-prone_zone); 2 — *ділянки підвищеної небезпеки зсувоутворення* (Landslide_risk_area).

Шар ризиків активізації зсувів включає в себе небезпечні ділянки, які мають найбільшу вірогідність активізації в результаті дії одного або сукупності кількох чинників. В межах цих зон виділено окремі ділянки підвищеної небезпеки активізовані у 2013 році, а також ті, що досі є активними. Проведено класифікацію зсувонебезпечних зон, виділено три основні види. Зсувонебезпечні площі поділено на зони: *слабко небезпечні, помірно небезпечні, небезпечні*. До *небезпечних* відносяться схили, що мають потенційні умови для зсувоутворення, висота яких



А

Б

Рис. 10. Виділення активних та прогнозних зсувних ділянок за супутниковими даними: А — жовтий контур — зсувне тіло за геологічними та дистанційними даними, червоний контур — активізована ділянка схилу; Б — блакитний контур — ділянка ризику зсувоутворення

перевищує 40–50 м. Слабко небезпечні схили мають висоту 13–16 м. При класифікації враховувалась геоморфологічні чинники (висота та стрімкість схилів), наявність та характер рослинності на схилах, селитебна та промислова забудова, що розташована біля верхньої або нижньої бровки враховувалися як дестабілізуючий чинник.

Ділянки підвищеного ризику в межах небезпечних зон мають чіткі контури і на даний момент неактивні (рис.10 Б). Вони тяжіють до окремих елементів зсувних форм: південних схилів, верхів'їв, стінок зриву, деградованих мисів, верхніх опуклих ділянок схилів, що знаходяться в межах зсувів або в межах виділених нами небезпечних зон. Ділянки ризиків можуть стати активними за певних умов і навіть при наявності лише одного або декількох чинників, таких як:

- перебільшення норми опадів більш ніж у 2.5 рази,
- збільшення техногенного тиску (вібрації, витоптування, підрізання схилу, збільшення вологості ґрунту та рівня ґрунтових вод внаслідок баражів від будівництва),
- техногенні аварії,
- порушення режиму захисту схилів (руйнування підпірних стін, замулення штолень, зливостоків).

Висновки

Зсуви — це природне явище. Вони існували і в доантропогенні часи, але нинішня активізація гравітаційних процесів на території міста спровокована масовою забудовою долин малих річок і великих балок. Спостерігається сповзання схилів корінного плато вздовж Дніпра в Придніпровській зоні, а також, так званих, київських гір (Батієва, Замкова, Багринова, Лиса, Черепанова та ін.) внаслідок підрізання схилів, порушення дренажу, надмірного навантаження будівлями з великими підземними паркінгами.

Супутникові дані та геоінформаційні технології є визначальною складовою моніторингу зсувоутворення з метою аналізу, прогнозу та візуалізації цих небезпечних явищ. Дослідження показало можливість розпізнання і визначення ступеню безпечності тих чи інших ділянок для життєдіяльності в межах міста Києва та безпосередньо в найбільш небезпечній Придніпровській зсувній зоні.

Зіставлення просторового положення зсувонебезпечних зон ПЗЗ, ділянок періодичної активізації зсувних процесів з результатами геолого-геоморфологічних досліджень і структурного дешифрування даних ДЗЗ дозволяють зробити висновок, що провідним чинником поширення та активізації ЕГП є розломно-тріщині геодинамічні зони, особливо вузли їх перетину. Найбільша кількість зсувів приурочена до диз'юнктивів північно-західного та субмеридіонального простягання, що добре узгоджується з новітньою тектонікою району. Такі зони трасуються за даними ДЗЗ у вигляді лінійно організованих лінеamentів, які розглядаються як безпосередній прояв на земній поверхні систем розривів, закладених у кристалічному фундаменті, успадкованих осадовим чохлом і відображених у будові сучасного рельєфу.

Зрозуміло, що при посиленні іншого важливого чинника активізації ЕГП — гідрометеорологічного, саме в цих зонах прогнозується найбільша вірогідність активізації старих та виникнення нових зсувів

Високоточний детальний аерокосмічний моніторинг дає змогу фіксувати і передбачати розвиток гравітаційних процесів. Сподіваємось, що дане дослідження допоможе фахівцям з геоінформатизації міста Київ, архітекторам та будівельникам уникнути ризиків зсувоутворень при плануванні та проведенні будівельних робіт.

Література

1. Активізація небезпечних екзогенних геологічних процесів за даними моніторингу ЕГП [Електронний ресурс] // ДНВП “Геоінформ України”. Щорічник 2016. — Режим доступу: http://geoinf.kiev.ua/wp/wp-content/uploads/2016/08/2016_sch.pdf. — Назва з екрану.
2. Барабаш М. Б. Сучасний стан режиму опадів на території України, як наслідок зміни клімату [Електронний ресурс] / М. Б. Барабаш, О. Г. Татарчук, Н. П. Гребенюк, Т. В. Корж. — Режим доступу: http://uhmi.org.ua/conf/climate...1/Tatarchuk_Grebenuk.pdf. — Назва з екрану.
3. Демчишин М. Г. Геологическая среда Киева / М. Г. Демчишин // Геологический журнал. — 1991. — № 2. — С. 14–24.
4. Кліматичні дані по м. Києву [Електронний ресурс] / Центральна геофізична обсерваторія. — Режим доступу: http://www.cgo.kiev.ua/index.php?fn=k_klimat&f=kyiv&p=1. — Назва з екрану.
5. Кріль Н. В. Техногенні динамічні впливи на геологічне середовище міста / Н. В. Кріль. — К.: Наукова думка, 2015. — 159 с.
6. Ліщенко Л. П. Мониторинг оползневых процессов на территории г. Киева (с использованием материалов дистанционного зондирования Земли) / Л. П. Ліщенко, А. Н. Теремченко // Проблемы та досвід інженерного захисту урбанізованих територій і збереження спадщини в умовах геоекологічного ризику. — К.: Фенікс, 2013. — VI. — С. 169–175.
7. Ліщенко Л. П. Дослідження зсувних процесів на території м. Києва в режимі дистанційного моніторингу [Електронний ресурс] / Л. П. Ліщенко, Н. В. Пазинич, О. М. Теремченко // Український журнал дистанційного зондування Землі. — № 2. — 2014. — С. 18–28. — Режим доступу: <http://www.ujrs.org.ua>. — Назва з екрану.
8. Пазинич Н. В. Анализ рельефа как компонента природно-техногенной системы города (на примере г. Киева) / Н. В. Пазинич // Проблемы та досвід інженерного захисту урбанізованих територій і збереження спадщини в умовах геоекологічного ризику / Під ред. В. М. Шестопалова, М. Г. Демчишина, В. О. Кендзери, Ю. О. Маслова. — Наукове видання. — К.: Фенікс, 2013. — VI. С. 176–182 ISBN 978-966-651-894-4.
9. Пазинич Н. В. Дослідження та прогнозування зсувних явищ Придніпровської зони м. Києва на основі матеріалів дистанційного зондування Землі та геоморфологічних методів [Електронний ресурс] / Н. В. Пазинич // Український журнал дистанційного зондування Землі. — № 13. — 2017. — С. 10–16. — Режим доступу: <http://www.ujrs.org.ua>. — Назва з екрану.
10. Самойленко Л. В. Інженерно-геологічні умови Правобережного схилу долини Дніпра в районі м. Києва: дис... канд. геол. н.: 04.00.07 / Самойленко Людмила Веніамінівна. — К.: ІГН НАНУ, 2003. — 135 с.
11. Старостенко В. И. Киев: геология, геофизика, окружающая среда и факторы на нее влияющие / В. И. Старостенко, П. И. Баран, Н. Е. Баршевский // Геофиз. журн. — 2001. — № 4. — Т. 23. — С. 3–38.

СПУТНИКОВЫЙ МОНИТОРИНГ РАЗВИТИЯ ОПОЛЗНЕВЫХ ПРОЦЕССОВ В ПРИДНЕПРОВСКОЙ ЗОНЕ Г. КИЕВ
Л. П. Ліщенко, Н. В. Пазинич, В. Е. Филиппович

На основе современных мультиспектральных спутниковых данных высокого пространственного разрешения определено точное месторасположение оползней в г. Киев. Установлены факторы активизации оползневых процессов в режиме мониторинга, сделан прогноз возможной активизации оползней. Создана ГИС Приднепровской оползневой зоны г. Киев.

Ключевые слова: Приднепровская оползневая зона, материалы дистанционного зондирования Земли, факторы оползнеобразования, геоинформационная система, прогноз оползнеобразования

SATELLITE MONITORING OF LANDSLIDE DEVELOPMENT IN THE PRIDNIEPROVSKA ZONE OF KYIV

L. P. Lischenko, N. V. Pazynych, V. E. Filipovych

Based on the multispectral satellite data of the high spatial resolution for the Pridnieprovsk landslide zone of the city of Kiev over the past decade the locations of modern landslide forms have been determined and refined according to a set of features, the landslide processes drivers have been found out in monitoring mode. Forecasting of the localities and zones of possible activation of landslide processes has been performed. The GIS of the Pridnieprovsk landslide zone was created.

Keywords: Pridnieproska landslide zone, remote sensing data, landslide drivers, forecasting of landslide phenomena, geoinformation system

УДК: 528.8.04:633.11

Дистанційний моніторинг стану посівів озимої пшениці впродовж весняно-літньої вегетації 2016 р. за вегетаційними індексами супутника Sentinel-2A (на прикладі Лісостепової зони України)

Г. М. Жолобак*, О. М. Сибірцева, М. В. Ваколюк, Ю. В. Захарчук

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

В статті проаналізовано використання спектральних вегетаційних індексів NDVI (842, 665), NDVI (740, 665) та GreenNDVI, отриманих із даних зйомки супутником нового покоління Sentinel-2A, для вивчення вегетації двох сортів озимої пшениці, вирощених на виробничих посівах під урожай 2016 р. Баришівської зернової компанії (Березань, Київська область, Україна).

Ключові слова: вегетаційні індекси, Sentinel-2A, посіви озимої пшениці, інверсія стану посівів

© Г. М. Жолобак, О. М. Сибірцева, М. В. Ваколюк, Ю. В. Захарчук. 2017

Вступ

У рамках космічної програми моніторингу Землі *Copernicus* Європейського космічного агентства в червні 2015 р. було виведено на орбіту супутник нового покоління Sentinel-2A. Його оснащено мультиспектральною камерою, яка виконує знімання земної поверхні у 13 спектральних каналах з просторовим розрізненням 10, 20 та 60 м та полозою знімання в 290 км [10]. З огляду на появу нових високоякісних знімків цього супутника надзвичайно актуально дослідити їх придатність для розв'язання різноманітних наукових та народногосподарських, а також аграрних, задач. Зокрема, перевірити можливість спектральних вегетаційних індексів, обчислених за даними мультиспектрального інструменту супутника Sentinel-2A, реагувати на зміни стану поверхні агрофітоценозів впродовж вегетаційного періоду.

Мета роботи полягала у вивченні можливостей використання даних зі супутника Sentinel-2A для моніторингу вегетації рослин на прикладі двох виробничих посівів озимої пшениці (ОП).

Завдання дослідження — обчислити вегетаційні індекси для ділянки території з досліджуваними полями ОП в програмному середовищі Erdas Imagine за наявними безхмарними знімками зі супутника Sentinel-2A та проаналізувати їх придатність для спостереження за вегетацією двох сортів ОП, вирощених на виробничих посівах під урожай 2016 р. Баришівської зернової компанії, що розташовані на території Київської обл.

Основним припущенням для розробки і використання вегетаційних індексів (*BI*) для дослідження

надземної частини рослин є те, що алгебраїчні поєднання дистанційно-зареєстрованих коефіцієнтів відбиття у різних спектральних смугах можуть виявити цінну інформацію. Зокрема — інформацію про структуру рослинного покриву, стан рослинності, фотосинтетичний потенціал, щільність листків і вміст в них води, реакцію на зміни рівнів мінерального живлення, ураження збудниками хвороб або пошкодження їх шкідниками чи несприятливими кліматичними умовами [5]. Найбільш відомим *BI* є нормалізований різницевий вегетаційний індекс рослинності NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*). Даний індекс розраховується за формулою (1) [9]:

$$NDVI = \frac{NIR - Red}{NIR + Red} \quad (1)$$

Найперше повідомлення про використання NDVI було зроблене ще у 1973 році у спільній роботі директора Центру дистанційного зондування при Техаському університеті Джона Роуза та його співробітників Дональда Діринга, Роберта Хааса та математика Джона Шелла, які досліджували Великі Рівнини США за допомогою спектральних сигналів супутника Earth Resources Technology Satellite, згодом перейменованого в Landsat-1 [9]. З того часу, незважаючи на величезну кількість запропонованих інших *BI* (наприклад, див. базу даних понад 500 *BI* за адресою <http://www.indexdatabase.de>), NDVI є найуспішнішим для простого і швидкого визначення ділянок, вкритих рослинністю завдяки різному їх відображенню в червоному і ближньому інфрачервоному (БІЧ) каналах. Переважно цей індекс розраховується з використанням коефіцієнтів

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

відбиття на довжинах хвиль червоного діапазону — від 620 до 700 нм (близько 670 нм) і БЧ близько 800 нм. В нашій роботі він обчислювався із застосуванням спектральних каналів сенсора Sentinel-2A з центрами на 842 нм та 665 нм.

За подібною формулою із заміною відбиття в червоному каналі на відбиття в зеленій області спектру розраховується так званий зелений NDVI (формула (2)) [4]:

$$\text{GreenNDVI} = \frac{R(740) - R(560)}{R(740) + R(560)} \quad (2)$$

За повідомленням А. Гітельсона та ін. [4], він має ширший динамічний діапазон, ніж класичний NDVI, і майже в п'ять разів чутливіший до концентрації хлорофілу в рослинному покриві.

Область стрімкого зростання коефіцієнту відбиття в БЧ області — так званий “червоний край” — є високоінформативною стосовно стану земної зеленої рослинності [6, 11]. Виходячи з вищезазначеного за формулою відношення різниці та суми коефіцієнтів відбиття нами було розраховано ще один аналогічний *BI*, лише із заміною відбиття на довжині хвилі БЧ діапазону з 842 нм у формулі (1) на 740 нм, що відповідає ділянці “червоного краю” і є окремим каналом № 6 мультиспектрального сенсору супутника Sentinel-2A (формула (3)):

$$\text{NDVI}(740,665) = \frac{R(740) - R(665)}{R(740) + R(665)} \quad (3)$$

Подібні індекси із ближнім інфрачервоним краєм були застосовані австралійськими вченими для супутникового дослідження хвороб цукрової тростини (NDVI 750/660) за даними сенсора Hyperion зі супутника EO-1 [2] та вивчення потенціалу повітряної спектральної відеозйомки як інструменту дистанційного зондування агресресурсів, зокрема, відділення ріпаку від люпину і пшениці, визначення щільності посівів та виявлення забур'янення агроценозів та пасовищ (NDVI 750/650) [7].

Об'єкт та методи досліджень

Об'єкт досліджень — виробничі посіви ОП двох сортів Скаген і Богдана, які вирощувались під урожай 2016 р. на угіддях Баришівської зернової компанії поблизу м. Березань Баришівського району Київської області (координати центрів обох полів — 50°20'52.84" пн. ш. і 31°36'19.71" сх. д. та 50°20'01.14" пн. ш. і 31°33'47.07" сх. д.), та досліджувались дистанційними та польовими методами з подальшою статистичною (математичною) обробкою даних. Розташування цих полів представлено на рис. 1.

Загальний вигляд досліджених полів у фазу кушіння зображено на рис. 2.

В роботі використано фрагменти знімків Sentinel-2A за 18 лютого, 8 квітня, 28 квітня та 17 червня 2016 р. для ділянки розташування досліджуваних полів. Дані оброблялися за допомогою модуля *Modeller* програми *Erdas Imagine*, яким на ці дати було обчислено три нормалізовані різниці вегетаційні індекси за формулами (1)–(3) для загальної площі кожного поля. Площа поля 1 становила 170 га, а площа поля 2 — 110 га.

Посів ОП сорту Скаген здійснювався 11–13 вересня 2015 р. з нормою висіву 292 кг/га, а сорту Богдана — 09–11 вересня 2015 р. з нормою висіву 334 кг/га. Попередником на обох полях був соняшник з урожайністю відповідно 30.2 і 29 ц/га. Перед посівом виконували дискування на глибину 10 см і коткування, після посіву вносили азотні добрива — нітроамофоску та карбамід. Навесні двічі проводили азотне підживлення аміачною селітрою: на початку березня по мерзлоталому ґрунту та в другій декаді квітня. Спостереження за ходом вегетації ОП на полях здійснювали як під час наземних польових досліджень, так і під час камерального оброблення завантажених знімків Sentinel-2A програмою *Erdas Imagine*.

Під час польових досліджень впродовж весняно-літньої вегетації 2016 р. рослини ОП перебували в таких фазах розвитку:

- а) кушіння — 8 квітня (рис. 3, а);
- б) початок виходу в трубку (2-ге міжвузля) — 28 квітня (рис. 3, б);
- в) вихід в трубку — 10 травня (рис. 3, в);
- г) молочна стиглість — 17 червня (рис. 3, г).

Під час наземних польових досліджень помічено, що дослідне поле 2 (сорт ОП Богдана) характеризувалося більшою неоднорідністю, ніж поле 1, що відображатиметься на строкатості супутникових зображень. Під час наземного обстеження 10 травня 2016 р. у фазі вихід в трубку було виявлено ураження рослин цього поля грибними фітопатогенами (рис. 4). В подальшому тут проявилось почорніння колоса та зменшення біомаси рослинності, яке призвело в кінцевому підсумку до зниження зернової продуктивності ОП сорту Богдана у порівнянні з ОП сорту Скаген.

Для дослідження наземної біомаси рослини у трикратній повторності зрізали на рівні ґрунту з площі, обмеженої рамкою розміром з внутрішньої сторони 43 × 43 см (рис. 3, а–в), на місці проводили їхнє зважування та занесення показників до робочого журналу з подальшою статистичною обробкою.

Результати та обговорення

А) наземний моніторинг приросту біомаси рослинного покриття ОП

Впродовж весняної вегетації 2016 р. рослини ОП досліджуваних полів активно формували оптимальну густоту продуктивного стеблостою та біомасу вегетативних органів. На рис. 5 показано динаміку



Рис. 1. Схема розташування досліджених полів ОП у Баришівському районі Київської області у 2016 р. Поле 1 — ОП сорт Скаген, поле 2 — ОП сорт Богдана



а



б

Рис. 2. Загальний вигляд виробничих посівів ОП у квітні 2016 р.: а — дослідне поле 1, ОП сорт Скаген; б — дослідне поле 2, ОП сорт Богдана



а



б



в



г

Рис. 3. Фото ділянок ОП у різних фазах розвитку (весняно-літня вегетація 2016 р.): а — початок кущіння; б — кінець кущіння; в — вихід в трубку; г — молочна стиглість



а



б

Рис. 4. Фото рослин ОП сорту Богдана (дослідне поле 2, 10.05.2016 р.) з хлоротичними плямами на листках: а — вигляд збоку; б — вигляд в надир

приросту сирої біомаси надземної частини рослин озимої пшениці досліджених полів Баришівської зернової компанії. Як бачимо, від 8 квітня до 10 травня 2016 р. рослинний покрив ОП сорту Богдана поля 2 сформував більшу біомасу зелених пагонів, ніж ОП сорту Скаген. Причиною цього може бути як більша на 14% норма висіву зерна сорту Богдана, так і те, що цей сорт більш високорослий у порівнянні зі сортом Скаген. Проте у третій декаді травня спостерігаємо інверсію стану посівів, коли ОП сорту Скаген починає випереджати ОП сорту Богдана за показником нагромадження сирої біомаси пагонів.

На дату 17 червня 2016 р. сира біомаса зелених пагонів ОП сорту Скаген разом з колоссям у фазі молочної стиглості вже на 22% вища, ніж у ОП сорту Богдана. Оскільки показники стандартного відхилення вимірюваних показників на дату 17 червня перебиваються, не можна стверджувати про математичну достовірність отриманої різниці, але за усім повідомленням співробітників Баришівської зернової компанії, зернова продуктивність пшениці сорту Скаген була майже на 25 % вища, ніж сорту Богдана. Зниження врожайності ОП сорту Богдана найбільш вірогідно може бути пояснене поміченими під час обстеження 10 травня 2016 р. симптомами ураження рослин грибними захворюваннями (борошниста роса, фузаріоз, септоріоз), що проявились у великій кількості дрібних хлоротичних плям на листках (рис. 4). Відомо, що грибні захворювання рослин призводять до зменшення асиміляційної поверхні листків, сприяючи їх передчасному відмиранню; викликають пригнічення процесу фотосинтезу, а отже, уповільнення асиміляції органічних речовин, що в кінцевому результаті спричиняє формування неповноцінних зернівок і зниження рівня врожайності мінімум на 10–20 % від потенційної [1]. На жаль, ні біохімічне визначення вмісту хлорофілу, ні спеціальна оцінка фітосанітарного стану агроце-

нозів не проводились за відсутності в ЦАКДЗ спеціального обладнання і дипломованих фітопатологів.

Б) дистанційний моніторинг посівів ОП за допомогою ВІ зі супутника Sentinel-2

Як зазначалось в завданні дослідження, програмними засобами *Erdas Imagine* для фрагментів знімків Sentinel-2A попиксельно були обчислені три нормалізовані вегетаційні індекси за формулами (1)–(3). Далі, в межах кожного поля за допомогою інструмента *Area Of Interest (AOI) Erdas Imagine* вони були усереднені, і за отриманими їх значеннями було побудовано графіки зміни індексів під час періоду зимового спокою і впродовж весняно-літньої вегетації 2016 р. (рис. 6). Цифрові величини індексів наведено в таблиці до рис. 6. Програмними засобами *Erdas Imagine* було отримано також показники стандартного відхилення для кожного обчисленого середнього значення ВІ.

Аналізуючи поведінку NDVI (842, 665) за 8 і 4 каналами знімка Sentinel-2A від 18.02.2016 р. зауважимо, що для поля 2 він на 0.017 умовних одиниць більше, ніж для поля 1 (табл.). Це підтверджує, що посів ОП сорту Богдана ввійшов у зиму в дещо кращому стані, ніж посів ОП сорту Скаген. Проте, вже на початку квітня 2016 р., невдовзі після відновлення весняної вегетації, супутникові дані згідно із рис. 6 свідчать, що стан посіву ОП сорту Богдана погіршується, оскільки його показники NDVI (842, 665) стають меншими у порівнянні зі сортом Скаген для кожної дати наявних знімків відповідно на 0.02; 0.03 та 0.104 умовні одиниці. На дату 17 червня 2016 р. стандартні відхилення показників NDVI навіть не перетинаються, що засвідчує стійку тенденцію погіршення стану посіву сорту Богдана у порівнянні зі сортом Скаген впродовж весняно-літньої вегетації 2016 р. Прогресивне наростання негативних чинників погіршення стану викликане, найімовірніше, розвитком симптомів грибних захворювань рослин

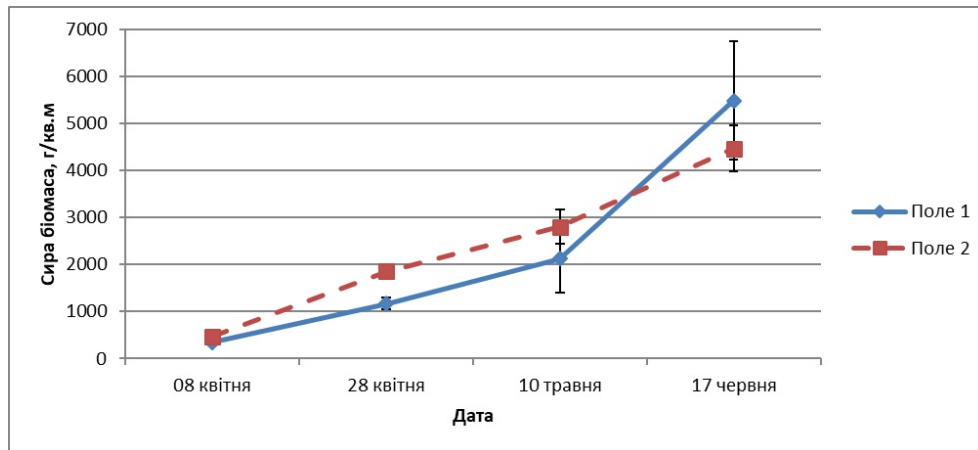


Рис. 5. Динаміка приросту сирової біомаси надземної частини рослин озимої пшениці для досліджених полів Баришівської зернової компанії у 2016 р. Вертикальні риски — показники стандартного відхилення

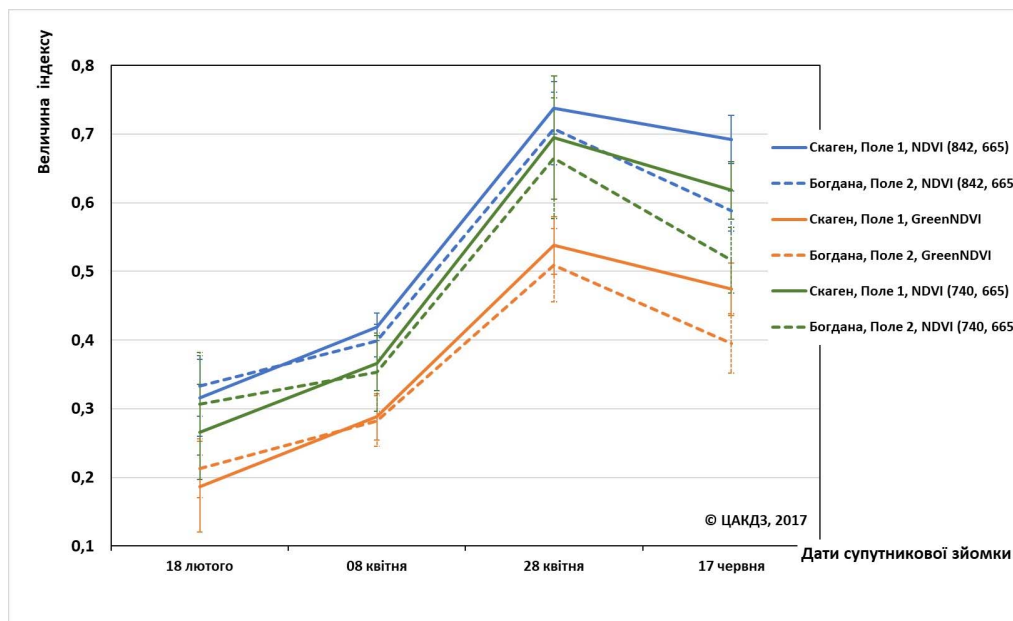


Рис. 6. Динаміка усереднених значень вегетаційних індексів досліджених полів із посівами озимої пшениці Баришівської зернової компанії у 2016 р. за даними Sentinel-2. Вертикальні риски — показники стандартного відхилення [ЦАКДЗ, 2017]

Значення усереднених по площі поля вегетаційних індексів та їх стандартних відхилень (в умовних одиницях) для досліджених посівів озимої пшениці Баришівської зернової компанії у 2016 р. за даними Sentinel-2A

Назва індексу	Номер поля, сорт ОП	Дата супутникової зйомки			
		18 лютого	08 квітня	28 квітня	17 червня
NDVI (842, 665)	Поле 1. Скаген	0.316±0.069	0.419±0.04	0.738±0.09	0.692±0.042
NDVI (842, 665)	Поле 2. Богдана	0.333±0.075	0.399±0.057	0.708±0.088	0.588±0.048
GreenNDVI	Поле 1. Скаген	0.186±0.056	0.288±0.020	0.538±0.038	0.474±0.035
GreenNDVI	Поле 2. Богдана	0.213±0.044	0.282±0.024	0.509±0.053	0.395±0.029
NDVI (740, 665)	Поле 1. Скаген	0.266±0.066	0.366±0.034	0.695±0.042	0.618±0.038
NDVI (740, 665)	Поле 2. Богдана	0.307±0.043	0.353±0.037	0.665±0.053	0.516±0.043

ОП сорту Богдана, візуально зафіксованих під час весняного обстеження 10 травня.

Подібний характер змін властивий двом іншим обчисленням BI. Зокрема, з даних таблиці видно, що 18 лютого 2016 р. значення індексів GreenNDVI та NDVI (740, 665) вищі для рослин ОП сорту Богдана поля 2 відповідно на 0.027 та 0.041 умовних одиниць у порівнянні зі сортом Скаген. Це, як і у випадку з NDVI (842, 665), вказує на те, що посів ОП сорту Богдана ввійшов у зиму в дещо кращому стані, ніж посів ОП сорту Скаген. Проте в квітні—червні GreenNDVI та NDVI (740, 665) виявляють таку ж поведінку як і NDVI (842, 665): їх значення для посіву сорту Богдана зменшуються у порівнянні зі сортом Скаген.

Як бачимо, вегетаційні індекси, обчислені за лютневим знімком Sentinel-2A, свідчать про кращий стан поля 2 (сорт Богдана) під час зимового спокою у порівнянні з сортом ОП Скаген з поля 1. Але на відміну від наземного параметру сирової біомаси пагонів (рис. 5), котрий демонструє інверсію стану посівів між двома полями в третій декаді травня, дистанційні показники нормалізованих різницевоїх індексів (рис. 6) вказують, що інверсія стану відбивної поверхні посівів відбулась зразу після весняного відновлення вегетації рослин ОП. І коли в квітні відмінності між полями незначні, то на дату 17 червня 2016 р. для всіх трьох індексів спостерігається достовірне перевищення їх значень для рослин ОП сорту Скаген поля 1 порівняно з рослинами ОП сорту Богдана з поля 2. Цікаво, що на графіках добре видно відмінності в часі настання зміни стану двох досліджених посівів. Зокрема, за супутниковими даними раніше, ніж за результатами польових обстежень, зафіксовано інверсію стану відбивної поверхні посівів за допомогою найпоширенішого індексу NDVI (842, 665), де перетин двох ліній динаміки для полів 1 і 2 стався приблизно посередині між датами 18 лютого і 8 квітня, тобто в кінці першої — на початку другої декади березня. В той же час два інші нормалізовані різницевої індекси GreenNDVI та NDVI (740, 665) показують пізніший перетин відповідних ліній, засвідчуючи тим самим, що інверсія стану посівів згідно цих індексів відбулась в кінці березня — на початку квітня. Розрахунок імовірної дати переміни стану посівів із застосуванням математичних формул для обчислення точки перетину прямих на відрізок 18 лютого–08 квітня 2016 р. підтвердив, що індекс NDVI (842, 665) виявив її через 24 дні після 18 лютого, тобто 12 березня, індекси GreenNDVI та NDVI (740, 665) зреагували на цей факт відповідно через 42 дні та 39 днів, тобто на дати 31 та 28 березня.

Найбільшу різницю між полями на початку спостереження (18 лютого) та в кінці його (17 червня) демонструє індекс NDVI (740, 665), хоча за абсолютними значеннями (від 0.266 до 0.695 умовних одиниць) він займає проміжне становище між NDVI (842, 665), який коливається між 0.316–0.738 умов-

них одиниць, та GreenNDVI, останньому з яких властиві найнижчі абсолютні значення показників (від 0.186 до 0.538 умовних одиниць).

В) візуальний аналіз NDVI-зображень полів ОП впродовж вегетаційного періоду

Оскільки найвідоміший нормалізований різницевоїх вегетаційний індекс рослинності NDVI (842, 665) у нашому випадку першим серед трьох досліджених індексів відреагував на зміну стану відбивної поверхні посівів, викликану втручанням фітопатогенів, нами було виконано детальну класифікацію зображення фрагментів знімків Sentinel-2A за значеннями цього індексу, яка представлена на рис.7.

Як бачимо, більша частина фрагменту знімка Sentinel-2A за 18 лютого 2016 р. має значення NDVI (842, 665) від 0.1 до 0.2 умовних одиниць (рис. 8 а). На цьому тлі вищими значеннями (більше 0.3 умовних одиниць) візуально добре виділяється поле 2 і південна частина поля 1, засіяні сортом Богдана і виділені нами світло-зеленим кольором. Саме при візуальному аналізі даного індексного зображення було виявлено, що в межах поля 1 вирощувалась ОП різних сортів. Північна частина цього поля, де зростав сорт Скаген, має невисокі значення NDVI. На фрагменті лютевого знімка Sentinel-2A на площі обох полів (а також на полі між ними) добре помітні численні округлі плями — заниження рельєфу (поди), в яких значно нижчі показники NDVI (коричневі округлі плями).

Навесні, в квітні (рис. 8 б, в), поди майже непомітні під пологом рослинного покриву. На початку і, особливо, наприкінці квітня добре проявляється різниця значень NDVI в межах обох полів: 28 квітня на полі 2 чітко видно світлішу ділянку гострокутної частини поля, обмежену польовою дорогою та південною лісосмугою, для якої характерні нижчі значення NDVI (0.6) у порівнянні з рештою поля. Поле 1 на цю дату 28 квітня (рис. 8 в) має більш насичений зелений колір, який відповідає високим значенням NDVI (між 0.7–0.9 умовних одиниць). Слід зауважити, що в квітні (рис. 8 б, в) майже не видно відмінностей між сортами пшениць, висіяними на полі 1. В другій декаді червня ця різниця виявляється дуже чітко: на полі 1 північна частина зі сортом Скаген має вищі показники NDVI у порівнянні з південною ділянкою. Значення цього індексу на дату 17 червня 2016 р. по всій площі поля 1 коливається між 0.6–0.8, в той час як по всій площі поля 2 — лише між 0.4–0.6 умовних одиниць.

Отже, індекс NDVI (842, 665) в нашому дослідженні підтвердив свою придатність для моніторингу стану посівів озимої пшениці. Отримані нами результати на його користь узгоджуються з висновками дослідників з університетів Арканзасу та Північної Дакоти про здатність NDVI, розрахованого за показниками відбиття на довжинах хвиль 810, 690 (які відповідають вибраним нами каналам

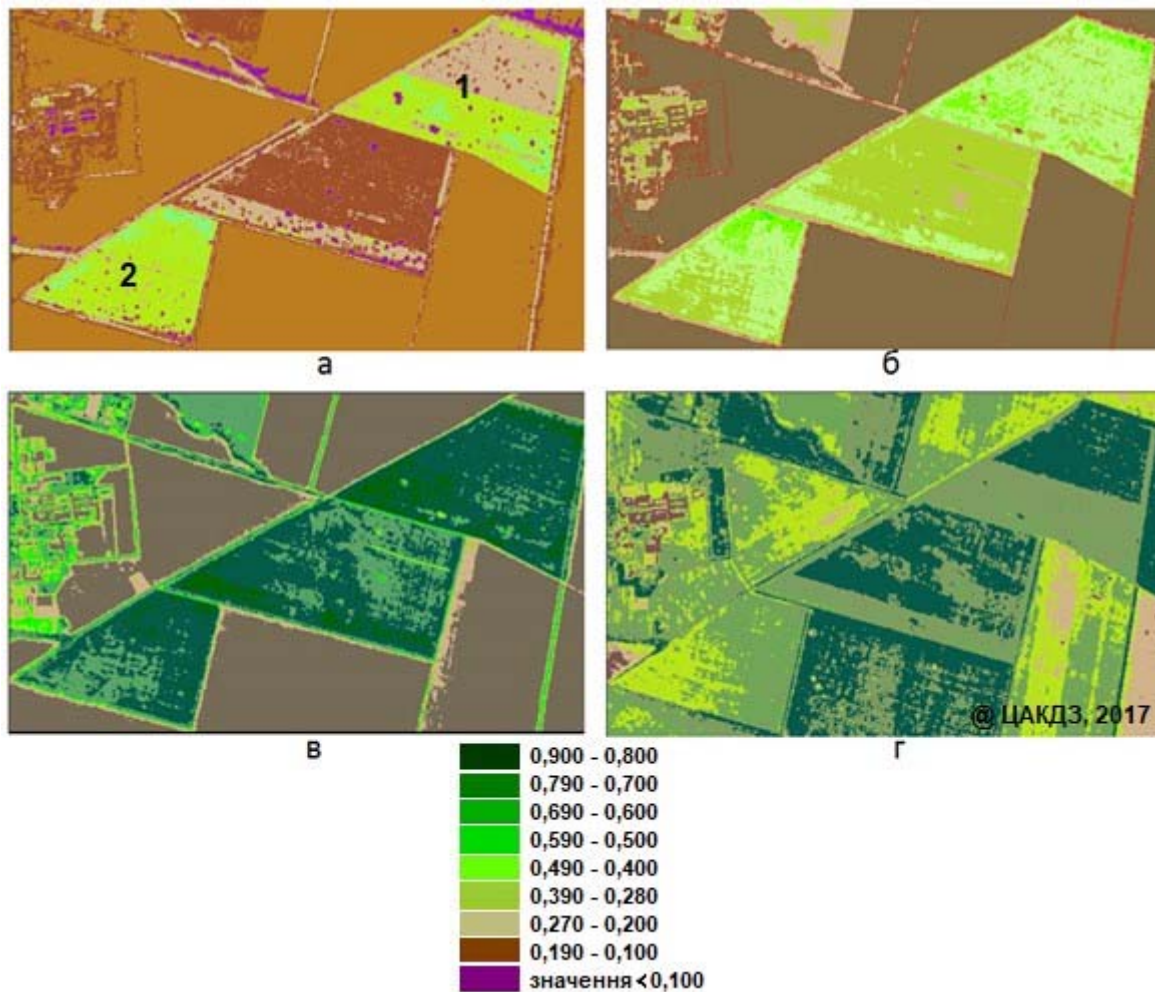


Рис. 7. NDVI (842, 665) — зображення фрагментів знімків Sentinel-2A для досліджених полів озимої пшениці Баришівської зернової компанії за датами: а — 18 лютого 2016 р., б — 08 квітня 2016 р., в — 28 квітня 2016 р., г — 17 червня 2016 р. Поле 1 — ОП сорт Скаген, поле 2 — ОП сорт Богдана [ЦАКДЗ, 2017]

Sentinel-2A), бути потенційним індикатором ураження рослин сої збудниками захворювань, зокрема *Fusarium virguliforme* (гриб-паразит) та *Heterodera glycines* (шкочочинна нематода) [3]. За останні кілька десятиліть численні дослідження підтвердили потенційну ключову роль супутникового NDVI в макроекології та моніторингу довкілля, що знайшло своє відображення в однойменній монографії [8].

Висновки

1. Проаналізовано поведінку трьох нормалізованих різницевого вегетаційних індексів NDVI (842, 665), NDVI (740, 665) та GreenNDVI, розрахованих за супутниковими даними Sentinel-2A, в межах двох виробничих посівів ОП Баришівської зернової компанії впродовж періоду зимового спокою та весняно-літньої вегетації 2016 року.
2. Встановлено, що подібність між цими індексами полягає в аналогічному ході ліній їх динаміки відповідно до зміни стану обох посівів, а від-

мінність — у абсолютній величині показників (найвищі характерні для NDVI (842, 665), а найнижчі для GreenNDVI).

3. Обчислені за дистанційними даними показники досліджених нормалізованих різницевого індексів вказують, що інверсія стану посівів відбулась зразу після весняного відновлення вегетації рослин ОП. Час фіксації інверсії стану посівів відрізняється в залежності від довжини хвилі, обраної для розрахунку індексу: найраніше вона вловлюється NDVI (842, 665), а NDVI (740, 665) та GreenNDVI засвідчують про неї на 2–3 тижні пізніше.
4. Наземний моніторинг стану обох посівів ОП 17 червня 2016 р. виявив достовірне зниження сирової біомаси зелених пагонів сорту Богдана на 22% у порівнянні зі сортом Скаген, що найбільш вірогідно, викликане поміченими під час обстеження 10 травня 2016 р. симптомами ураження рослин грибними захворюваннями (*борошниста роса, фузаріоз, септоріоз*).
5. Таким чином, показники BI, обчислені за супутниковими даними Sentinel-2A, в нашому дослід-

женні виявляють інверсію стану посівів раніше (28 квітня 2016 р.), ніж візуальні (17 червня 2016 р.) наземні обстеження, що може бути використано під час створення моделей прогнозування продуктивності зернових культур.

Подяка

Автори вдячні співробітникам Баришівської зернової компанії, зокрема Є. В. Загладі, за сприяння у проведенні досліджень.

Література

1. Мюллер Э. Микология / Э. Мюллер, В. Лёфлер. Пер. с нем. — М.: Мир, 1995. — 343 с.
2. Apan A. Formulation and assessment of narrow-band vegetation indices from EO-1 Hyperion imagery for discriminating sugarcane disease [Електронний ресурс] / A. Apan, A. Held, S. Phinn, J. Markley // Spatial Sciences Institute Biennial Conference (SSC 2003): Spatial Knowledge Without Boundaries. SSC 2003 conference paper. — 2003. — 13 p. — Режим доступу: https://eprints.usq.edu.au/8061/1/Apan_Held_Phinn_Markley_SSI_2003_PV.pdf. — Назва з екрану.
3. Bajwa S. G. Soybean Disease Monitoring with Leaf Reflectance [Електронний ресурс] / S. G. Bajwa, J. C. Rupe, J. Mason // Remote Sens. — 2017. — Vol. 9, № 2. — P. 127–133. — Режим доступу: <http://www.mdpi.com/2072-4292/9/2/127/htm>. — Назва з екрану.
4. Gitelson A. A. Use of a green channel in remote sensing of global vegetation from EOS-MODIS / A. A. Gitelson, Y. J. Kaufman, M. N. Merzlyak // Remote Sensing of Environment. — 1996. — Vol. 58, № 3. — P. 289–298.
5. Jensen J. R. Remote sensing of the environment: an Earth resource perspective: 2nd (second) Edition — Upper Saddle River, NJ: Prentice-Hall, Inc. — 2007. — 592 p.
6. Kiang N. Y. Spectral signatures of photosynthesis. I. Review of Earth organisms / N. Y. Kiang, J. Siefert, Govindjee, R.E. Blankenship // Astrobiology. — 2007. — Vol. 7. — № 7 — P. 222–251.
7. Metternicht G. Vegetation indices derived from high-resolution airborne videography for precision crop management / G. Metternicht // International Journal of Remote Sensing. — 2003. — Vol. 24, № 14. — P. 2855–2877.
8. Pettorelli N. The Normalized Difference Vegetation Index / N. Pettorelli. — New York: Oxford University Press, 2013. — 208 p.
9. Rouse J.W. Monitoring the vernal advancement and retrogradation (green wave effect) of natural vegetation / J. W. Rouse, Jr., R. H. Haas, J. A. Schell, D. W. Deering // Prog. Rep. RSC 1978-1. — 1973. — 93 p.
10. SENTINEL-2 User Handbook. European Space Agency: ESA Standard Document [Електронний ресурс] — 2015. — 64 p. / Режим доступу: https://earth.esa.int/documents/247904/685211/Sentinel-2_User_Handbook. — Назва з екрану.
11. Ustin S. L. Retrieval of foliar information about plant pigment systems from high resolution spectroscopy / S. L. Ustin, A. A. Gitelson, S. Jacquemoud, M. Schaepman, G. P. Asner, J. A. Gamon, P. Zarco-Tejada // Remote Sensing of Environment. — 2009. — V. 113, Supplement 1 (Imaging Spectroscopy Special Issue). — P. S67–S77.

ДИСТАНЦИОННЫЙ МОНИТОРИНГ СОСТОЯНИЯ ПОСЕВОВ ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ В ТЕЧЕНИЕ ВЕСЕННЕ-ЛЕТНЕЙ ВЕГЕТАЦИИ 2016 ГОДА ПО ВЕГЕТАЦИОННЫМ ИНДЕКСАМ СПУТНИКА SENTINEL-2A (НА ПРИМЕРЕ ЛЕСОСТЕПНОЙ ЗОНЫ УКРАИНЫ)

Г. М. Жолобак, О. Н. Сибирцева, М. В. Ваколюк, Ю. В. Захарчук

В публикации проанализировано использование спектральных вегетационных индексов NDVI (842, 665), NDVI (740, 665) и GreenNDVI, полученных по данным съемки спутником нового поколения Sentinel-2A, для изучения вегетации двух сортов озимой пшеницы, выращенных на производственных посевах под урожай 2016 года Барышевской зерновой компании (Березань, Киевская область, Украина).

Ключевые слова: вегетационные индексы, Sentinel-2A, посевы озимой пшеницы, инверсия состояния посевов

REMOTE MONITORING OF THE STATE OF WINTER WHEAT DURING THE SPRING-SUMMER VEGETATION OF 2016 YEAR, BY USING VEGETATION INDICES OF SENTINEL-2A SATELLITE (CASE STUDY BY FOREST-STEPPE AREA OF UKRAINE)

G. M. Zholobak, O. M. Sibirtseva, M. V. Vakolyuk, Yu. V. Zakharchuk

The spectral vegetation indices NDVI (842, 665), NDVI (740, 665) and GreenNDVI received from the survey data of new generation satellite Sentinel-2A, were analyzed in publication for studying the vegetation of two cultivars of winter wheat, grown up of crops production for the harvest in 2016 year of Grain Alliance Ukraine (Berezan, Kyiv oblast, Ukraine).

Keywords: vegetation indices, Sentinel-2A, winter wheat crops, inversion of the state of crops

УДК 528.8:551.582

Вплив природних та антропогенних факторів на формування небезпечних ситуацій: зсувів, паводків (на прикладі ділянки верхньої течії річки Дністер)

В. І. Лялько, О. А. Апостолов*, Л. О. Єлістратова

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

Описано та проаналізовано основні природні (гідролого-метеорологічні та геоморфологічні) чинники та вплив антропогенної діяльності людини на компоненти навколишнього середовища, що в сукупності є визначальними факторами формування небезпечних ситуацій: зсувів, паводків (на прикладі ділянки верхньої течії річки Дністер).

Ключові слова: зсуви, паводки, опади, дистанційні методи дослідження Землі, цифрова модель рельєфу DEM, SRTM, р. Дністер

© В. І. Лялько, О. А. Апостолов, Л. О. Єлістратова. 2017

Актуальність дослідження

У сучасних умовах різкого зростання інженерно-господарського освоєння земної поверхні глобальні природні і техногенні процеси характеризуються активізацією цілої низки несприятливих факторів. Ці природні та антропогенні фактори викликають соціальні, а також економічні проблеми, запобігання яким можливе за умови раціонального використання природних ресурсів та створення системи заходів, що дадуть змогу запобігти виникненню нових зон стихійного лиха — паводків, зсувів та ін. Основними причинами таких явищ є гідрометеорологічні та геоморфологічні природні чинники, які в поєднанні з численними антропогенними факторами завдають природі, народному господарству та населенню величезних збитків.

При сучасному глобальному та регіональному (Україна) потеплінні клімату активізуються стихійні явища, особливістю яких є те, що вони виникають внаслідок поєднання природних та техногенних процесів. Іноді вони можуть мати катастрофічний характер, завдаючи значних збитків. Тому з'явилась необхідність дослідити стан довкілля на прикладі фрагменту верхньої течії річки Дністер з метою виявлення тенденції дії негативних природних та техногенних факторів. Слід зазначити, що сукупне природне і антропогенне навантаження на басейн р. Дністер само по собі надмірне, крім цього завжди існує небезпека екстремальних екологічних ситуацій. Вони можуть виникати внаслідок різкого зменшення або збільшення стоку Дністра, котрий взагалі відзначається надзвичайно несталим гідрологічним режимом.

Тому потрібно перш за все звернути увагу на оперативне залучення сучасних аерокосмічних методів

багатоспектральних зйомок для виявлення початкових негативних змін довкілля, що дозволяють заздалегідь визначити ділянки зародження екологічних негараздів, направленість їх розвитку та пропонувати оперативні методи запобігання розвитку таких процесів, як зсуви та паводки.

Мета роботи — вивчення впливу кліматичних чинників на формування паводків у басейні р. Дністер та процесів зсувоутворення на досліджуваній території.

Для вирішення поставленої мети потрібно реалізувати ряд завдань: виконати оцінку впливу просторово-часової динаміки метеорологічних величин на процеси зсувоутворення в досліджуваному регіоні, дати узагальнену характеристику впливу метеорологічних величин (особливо зливового дощу) на паводки річки Дністер у часовому та просторовому відношенні.

Предметом дослідження стали зміни стану гідрометеорологічних чинників.

Аналіз останніх досліджень, публікацій

Питання небезпечних явищ, викликаних повенями та паводками, розглянуто у багатьох наукових працях [2, 10, 18–20]. У цих публікаціях висвітлені визначні повені та паводки в окремих регіонах України, у тому числі і в басейні Дністра. Стосовно процесів зсувоутворення існують моделі і розрахунки стійкості схилів в залежності від зволоженості і водонасиченості ґрунту [5, 6].

Матеріали і методика дослідження

Автори пропонують досліджувати зсувонебезпечний процес з використанням даних цифрової моделі рельєфу та кліматичних факторів [11,12]. На картографічній основі (рис. 1) побудовано карту

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



Рис. 1. Картосхема розподілу станцій Гідрометеослужби фрагменту верхньої течії р. Дністер

розподілу індексу інтенсивності зсувонебезпечності рельєфу (ER) та виділено потенційно небезпечні зсувні ділянки.

Для розрахунку інтенсивності зсувонебезпечного розчленування території було використано підхід описаний в роботі [9]. За [9] інтенсивність зсувонебезпечного розчленування рельєфу доцільно розрахувати за формулою

$$Q = \frac{\Delta H \cdot L}{P^2}, \quad (1)$$

де, $\Delta H / P$ — вертикальне розчленування рельєфу, ΔH — (амплітуда висот) відносне перевищення висоти в ковзному вікні, P — площа ковзного вікна; $\Delta L / P$ — горизонтальне розчленування рельєфу, L — сумарна довжина річної мережі у ковзному вікні.

Було запропоновано, замість довжини річної мережі використовувати показник — довжина ізоліній в ковзному вікні. Таким чином, формула для розрахунку інтенсивності зсувонебезпечності розчленування території набуває наступного вигляду:

$$ER = \frac{\Delta H \cdot (N \cdot l)}{P^2}, \quad (2)$$

де, $(N \cdot l) / P$ — горизонтальне розчленування рельєфу, N — кількість пікселів ізоліній в ковзному вікні, l — довжина пікселя.

Для досліджень було отримано цифрову модель рельєфу на територію України зроблену космічним кораблем багаторазового використання *Shuttle* з просторовою роздільною здатністю 90 м. Для зробленої методики така просторова роздільна здатність занадто мала, тому за допомогою програмного продукту по обробці космічних знімків *Erdas Imagine* було застосовано процедуру *Bilinear Interpolation* згідно якої зміна висот земної поверхні між сусідніми пікселями була прийнята лінійною зі ступенем змін 30 м. Оскільки на отриманій DEM були пікселі з від'ємними значеннями, вони були замінені на додатні значення, які були взяті з GTOPO 30, з просторовою роздільною здатністю 900 м.

Розрахунок вертикального розчленування рельєфу проводився за допомогою модуля *Spatial Modeler* програми *Erdas Imagine* за наступною формулою:

$$\frac{\Delta H}{P} = (H_{\max} - H_{\min}) / P, \quad (3)$$

де, $H_{\min}$, $H_{\max}$ — мінімальне та максимальне значення висот у ковзному вікні.

Для розрахунку горизонтального розчленування рельєфу, спочатку за допомогою модуля *Interpreter* програми *Erdas Imagine*, було побудовано ізолінії на всю територію України з висотою перерізу рельєфу 5 м.

Наступний крок, розрахунок в ковзному вікні горизонтального розчленування рельєфу, за формулою:

$$(N \cdot l) / P. \quad (4)$$

Таким чином, інтенсивність зсувонебезпечності розчленування території було розраховано за допомогою формули (2), в програмі *Erdas Imagine*.

Оскільки значення індексу ER залежать від висоти, для порівняння різних територій було запропоновано масштабувати значення індексу за формулою:

$$ER_{\text{new}} = 100 \cdot \left(\frac{ER - ER_{\min}}{ER_{\max} - ER_{\min}} \right). \quad (5)$$

Для уточнення зсувонебезпеки даного регіону додатково було залучено показник кількості опадів (R) за 40 років по гідрометеорологічним станціям і постанам, які розташовані в межах досліджуваної території. Приклад розміщення наземних станцій див. рис.1.

Виклад матеріалу

Саме про зсуви згадують у зв'язку з повеннями, землетрусами або циклами років з підвищеними опадами, хоча втрати від зсувних руйнувань можуть перевищувати всі інші збитки від загальної катастрофи. За обсягом завданих збитків зсувні процеси посідають в Україні перше місце. Загалом в Україні станом на 01.12.2011 виявлено понад 23 100 зсувів; 17 400 зсувів — станом на 01.12.1997. Таким чином, за 15 років відбулося збільшення кількості зсувів в 1.3 рази, а за 30 років — приблизно у 3 рази. Активізація сейсмічної активності в зоні Вранча призвела до підвищення рівня інженерно-сейсмологічної небезпеки на всій території України так і в досліджуваному регіоні, та, у кінцевому підсумку, зростання відповідного зсувоактивізуючого фактора.

Масова активізація зсувоутворення іноді відбувається в певний період, який залежить від гідролого-метеорологічного чинника і стає основною руйнівною силою навіть на тимчасово стабілізованих

схилах. Якщо опади будуть перевищувати певний поріг, то неодмінно ґрунт перенасититься вологою, рівень при поверхневих водоносних горизонтах підніметься і маси породи схилу почнуть сповзати, опливати, зсуватися. Така активізація починається коли місячна норма опадів перевищує середньомісячну у 2–3 рази. Особливо коли швидко накопичення вологи, насичення і перезволоження ґрунтів відбувається під час інтенсивних зливових дощів протягом тривалого часу, великого і швидкоплинного танення снігу у великих об'ємах, підвищення рівня ґрунтових вод.

На рис. 2 кольоровими градаціями від червоного до світло-зеленого кольору показано рівні небезпеки зсувонебезпечного розчленування рельєфу за індексом *ER*. За значеннями індексу від 0 до 2 (від світло- до темно-зеленого кольору) рівень небезпеки відсутній; від 2 до 7 (гірчичний та жовтий кольори) рівень слабкий; від 7 до 10 (світло-помаранчевий) рівень істотний; від 10 до 13 (темно-помаранчевий) рівень сильний; від 13 до 17 (темно-рожевий) рівень дуже сильний; >17 (темно-коричневий та червоний кольори) рівень катастрофічний.

Отримані результати індексу зсувонебезпечного розчленування індексу *ER* для території, що досліджується показали, що це найбільш зсувонебезпечна ділянка за даними висот.

Така територія буде миттєво реагувати на екстремальні значення метеорологічних показників, одним із провідних чинників є опади. Зсувоутворення переважає восени і весною, коли випадає найбільша кількість атмосферних опадів та рівень ґрунтових вод високий. За характером впливу клімату на розвиток зсувних процесів досліджуваній регіон відноситься до зон з помірною глибиною сезонного промерзання ґрунту. Тому головну роль в дестабілізації схилів відіграють атмосферні опади, які інфільтруються. Мінімальна стійкість схилів відзначається весною чи восени, максимальна — взимку (за відсутності аномального снігового покриву) чи влітку (за відсутності зливових опадів).

Утворення і випадання опадів в Україні є наслідком складних макроциркуляційних процесів, що визначають тепло- і вологообмін в атмосфері. Суть цих процесів полягає у перенесенні на значну відстань тепла і вологи з Атлантичного океану і Середземного моря, а також розвитку під впливом циклонічної діяльності великомасштабних вертикальних рухів, що призводять до процесу опадоутворення [13].

В умовах сучасного клімату в Україні суттєвих змін опадів відносно кліматологічної норми не відбулося. Зміни кількості опадів на території України за 116-річний період (1901–2016 рр.) ілюструє рис. 3, де наведені середні значення суми опадів по десятиріччям за холодний, теплий періоди та рік.

Графічне зображення показує, що кількість опадів

практично не змінилася. Відбувся їх перерозподіл, деяке збільшення кількості опадів у теплий період в останні три десятиріччя.

Особливості географічного положення досліджуваного регіону зумовлюють різноманітність опадоутворення. В таблиці 1 наведена середньомісячна кількість опадів за період 1976–2015 рр. (за даними Центральної геофізичної обсерваторії), де жовтим кольором помічена норма, а зеленим кольором помічено перевищення норми (вологі роки). Із сорока років 8 років були в межах норми, а 18 років перевищували норму.

Як видно з таблиці 2 — 148% — це середній відсоток перевищення опадів від норми.

На рис. 4 представлений хід кількості опадів за період 2001–2015 рр. Майже у більшості років ХХІ ст. було перевищення норми опадів. Найбільш вологими на досліджуваній території були 2001, 2008 та 2010 роки.

З побудованих графіків, що представлені на рис. 5 наведено відсоток середньомісячної кількості опадів від норми (1961–1990 рр.) по вологих роках. Значні відхилення від норми спостерігалися в весняно-літній сезон 2001 та 2008 рр., у 2010 році у літні місяці, саме тут опади носили зливовий характер.

Саме перевищення норми у 2–2.5 рази, які надходять у ґрунт та гідромережу, спричиняють підвищення рівня води і перенасичення ґрунту. Приклади активізації зсувів після катастрофічних злив в липні 2008 та червні 2010 років на території Чернівецької області відзначено більше ніж в 40 населених пунктах. При потужності зсувів 8–20 м на схилах висить орієнтовно 10 куб. зсувних мас, які надзвичайно чутливі до кліматичних чинників [14]. Тому після зливових опадів значна кількість зсувних ділянок знаходиться в стадії підготовки до сповзання, а їх активізацію, при умовах теплої і вологої зими можна очікувати в кінці лютого початку березня, а при холодній зимі в середині та кінці квітня.

Слід зазначити, що у зв'язку зі зміною клімату у рядах опадів виявлено не стільки детерміновані зміни, скільки коливання з різними періодами часу. Основні з них 11-, 12-річні і кратні йому 22, 24. Тобто режим зволоження знаходиться в межах кліматичної норми. Водночас у середині місяця мінливість опадів залишається значною, з високою ймовірністю випадання сильних дощів протягом доби, особливо в теплий період року, це стосується і дослідженої території [7, 8, 16].

Ще одним фактором виникнення небезпечних ситуацій у зв'язку з можливим зсувоутворенням є паводок.

Паводки — це потоки, які швидко формуються після зливого дощу або швидкого танення снігу. Вони заповнюють водою западини у рельєфі в долині Дністра і його приток і можуть формуватися не посезонно, як повені, а в будь-яку пору року — на-

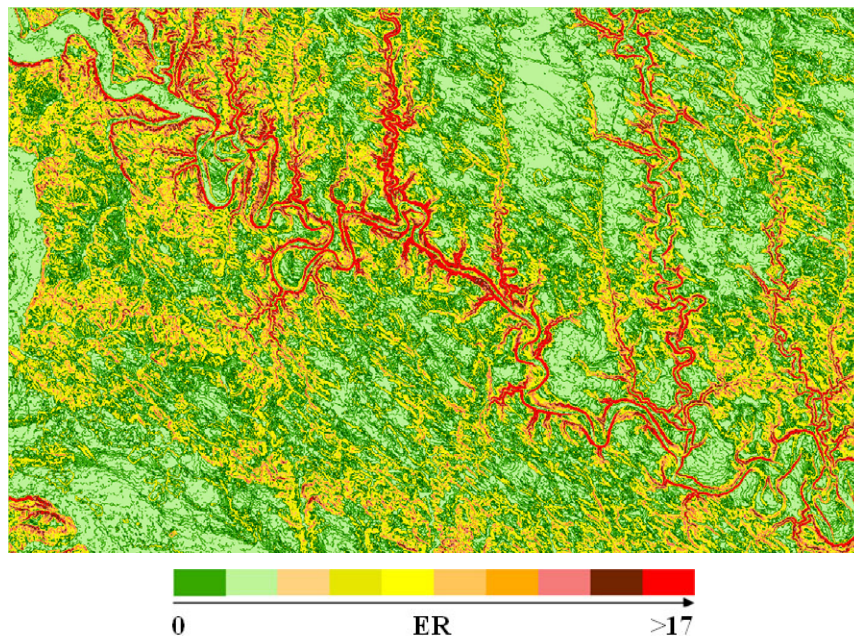


Рис. 2. Значення індексу інтенсивності зсувонебезпечного розчленування рельєфу (ER) для фрагменту верхньої течії р. Дністер за даними DEM з супутника Shuttle

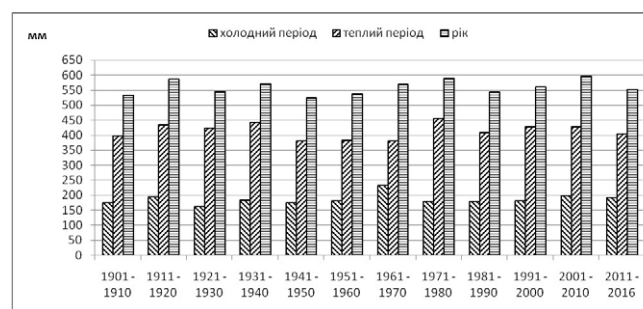


Рис. 3. Середнє значення суми опадів по десятиріччям (1901–2016 рр.)

весні, влітку, восени, як це було, наприклад, у період останнього катастрофічного паводка 23–26 липня 2008 року [1]. Паводкові потоки руйнують будинки, промислові споруди, мости і шляхи сполучення, переформовують русло водотоку, активізують карстоутворення, зсувні та селюві процеси на схилах річкових долин.

Зазвичай паводки формуються під впливом природних чинників. Однак антропогенний (техногенний) вплив, пов'язаний з заселенням людиною заплавних земель, масовою забудовою та розорюванням заплав, вирубуванням лісів та несанкціонованим відбором піску і гравію з русел рік, трансформацією природних ландшафтів, гідротехнічними заходами в руслах і на берегах рік, а також на вододілах, змінив природний хід сезонних повеней та екстремальних паводків. І це є головні чинники постійного зростання загроз від катастрофічних затоплень долини Дністра та його притоків. В умовах глобальних кліматичних змін такі процеси у майбутньому будуть повторюватися все частіше і частіше, тому потрібно навчитися

захищатися від екстремальних затоплень великих територій.

Територія басейну Дністра відноситься до найбільш паводконебезпечного регіону України та Європи [21]. Формування паводків відбувається тут під впливом фізико-географічних чинників, основними з яких є гідрометеорологічні та орографічні. Не виключаються також антропогенні втручання, направленість яких не завжди відповідає вимогам щодо запобігання паводконебезпечних процесів та стримування їх розвитку. Система гірських хребтів Карпат знаходиться на шляху переміщення вологих повітряних мас з Атлантики, що призводить до безпосереднього динамічного впливу схилів гір на повітряні потоки, гальмування панівного їх західно-східного переносу та орографічної еволюції баричних утворень. Внаслідок відбувається інтенсифікація зливових дощів, які охоплюють за таких ситуацій одночасно значну територію — часто-густо — 10–30 тис. км². Кількості опадів за 24 години можуть досягати 2–3 місячні норми — 150–250 мм [21].

Таблиця 1. Середньомісячна кількість опадів на території верхньої течії р. Дністер за період 1976–2015 рр.

Місяці Роки	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	РІК
норма	38	39	40	58	85	111	114	81	59	40	44	46	755
1976	90	4	53	85	65	77	87	80	161	42	32	42	816
1977	20	56	37	100	75	121	109	96	73	11	67	25	789
1978	21	54	32	79	131	104	106	56	172	18	25	68	866
1979	80	19	51	73	42	97	81	104	15	48	34	32	676
1980	51	21	69	88	88	160	156	93	59	75	69	61	992
1981	45	41	54	25	96	92	164	61	52	84	69	65	849
1982	28	34	18	82	38	117	128	68	24	19	15	36	607
1983	36	22	49	65	118	104	106	110	39	36	17	15	719
1984	36	64	41	25	141	78	107	37	63	33	29	40	695
1985	35	51	13	65	77	154	72	67	51	26	68	48	727
1986	37	29	14	52	39	110	122	101	17	27	23	25	595
1987	50	16	41	27	100	67	81	86	62	43	54	59	683
1988	52	22	60	51	84	167	113	68	71	19	42	50	798
1989	13	16	19	74	119	173	48	126	61	46	38	30	762
1990	16	34	23	64	47	83	65	42	56	26	53	56	565
1991	19	27	12	46	148	87	173	101	47	86	23	32	801
1992	21	28	28	58	66	93	63	59	116	74	64	23	692
1993	25	38	46	51	71	80	157	54	95	28	34	44	725
1994	24	29	43	27	81	92	37	80	50	44	34	51	593
1995	32	42	57	55	85	106	37	91	109	12	65	56	747
1996	41	37	29	71	65	78	73	72	138	44	35	60	743
1997	12	22	20	66	78	83	156	94	68	55	41	57	752
1998	27	23	54	69	87	175	159	74	78	85	74	23	927
1999	31	96	22	69	44	86	94	105	63	43	46	59	757
2000	37	25	69	48	47	62	172	38	58	6	22	35	620
2001	36	40	93	60	50	186	148	70	131	24	75	38	953
2002	21	36	53	44	78	105	89	75	98	68	30	22	719
2003	36	37	31	22	42	50	164	30	44	87	27	29	601
2004	47	54	28	28	72	57	137	105	56	33	61	27	705
2005	48	55	42	68	67	83	68	193	19	52	32	48	776
2006	18	34	95	52	110	131	66	173	22	36	35	13	786
2007	53	51	38	28	89	71	121	108	104	61	60	26	809
2008	32	18	69	126	90	69	256	58	125	65	22	44	973
2009	36	40	65	23	67	122	62	45	23	105	38	55	681
2010	49	48	39	47	138	193	150	81	85	43	36	83	991
2011	30	33	20	41	44	123	103	50	23	28	4	44	542
2012	41	51	35	81	74	103	82	88	48	58	34	76	769
2013	57	50	104	47	85	141	59	57	92	15	56	13	776
2014	47	26	36	50	123	48	131	91	27	55	23	42	699
2015	38	22	55	52	72	73	43	24	68	36	75	17	573

Таблиця 2. Відсоток середньомісячної кількості опадів від норми (1961–1990 рр.) за період 2001–2015 рр. на території верхньої течії р. Дністер.

Місяці Роки	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
норма	38	39	40	58	85	111	114	81	59	40	44	46
2001	96	103	232	104	59	168	130	87	220	61	170	82
2002	54	93	133	76	91	94	78	94	165	171	68	48
2003	95	97	78	39	49	45	145	37	75	218	60	63
2004	125	139	71	49	85	51	120	130	95	82	137	58
2005	127	142	105	118	79	75	60	239	31	130	72	104
2006	48	87	237	90	129	118	58	215	37	91	80	29
2007	141	131	94	49	104	64	106	134	175	153	134	56
2008	83	47	172	219	105	62	225	71	210	163	50	95
2009	96	102	163	40	79	109	54	56	39	263	86	119
2010	129	122	98	82	162	174	131	100	144	106	82	179
2011	78	85	50	71	51	111	91	63	39	69	8	95
2012	107	132	87	141	86	93	72	109	81	141	76	164
2013	150	130	260	82	100	127	52	70	156	37	126	28
2014	125	68	91	87	144	43	115	112	45	137	52	92
2015	100	57	138	90	84	65	38	30	115	89	170	36

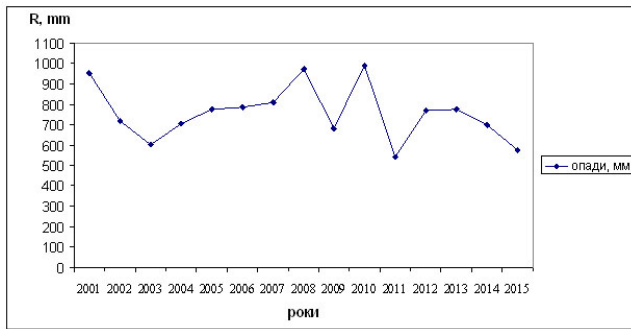


Рис. 4. Кількість опадів за 2001–2015 рр. на території верхньої течії р. Дністер при середній нормі 755 за рік

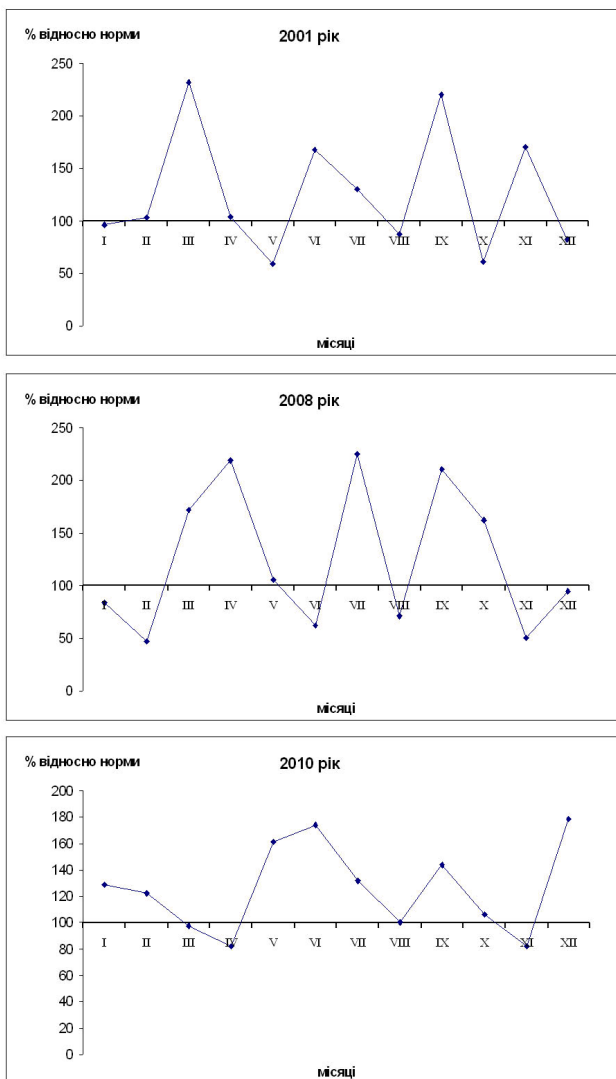


Рис. 5. Графіки розподілу відхилень від норми за місяцями за 2001, 2008 та 2010 вологих років на території верхньої течії р. Дністер

Характерною особливістю режиму р. Дністер є наявність великої кількості паводків протягом усього року, а також таненням снігу у весняний період і частими відлигами. За матеріалами [17] середньосезонні витрати води на ділянці верхнього Дністра у п. Заліщики складають: весна — $380 \text{ м}^3/\text{с}$, літо-

осінь — $216 \text{ м}^3/\text{с}$, зима — $116 \text{ м}^3/\text{с}$, а середньобагаторічна витрата — $225 \text{ м}^3/\text{с}$. Максимальні і середні паводкові витрати за фактичні роки спостережень у п. Заліщики становлять: від сніготанення $2\,900$ і $1\,059 \text{ м}^3/\text{с}$, зливи — $7\,080$ і $1\,605 \text{ м}^3/\text{с}$. У весняний період при пропуску паводкових витрат виникають часті затори і зажори, які тримаються тривалий час, викликаючи великий підйом рівня води. Так, затор у п. Заліщики в зимовий період 1949 р. викликав підйом рівня на 4 м . Мінімальні витрати спостерігаються в літній та зимовий періоди у п. Заліщики та складають у літній період $20.9 \text{ м}^3/\text{с}$. Максимальна товщина льоду у п. Заліщики рівняється 0.36 м . Твердий стік р. Дністер порівняно невеликий і характеризується середньою мутністю 420 г на $\text{м}^3/\text{с}$ води.

Згідно [3, 15] паводковий процес досить складне гідрологічне явище, в якому роль паводкоутворюючих опадів поки що вивчена недостатньо.

Проаналізувавши дані метеорологічних спостережень 2001–2013 років, можна побачити, що розподіл опадів на території дослідження упродовж року по сезонах нерівномірний. Найбільше їх випадає у вигляді зливових дощів у теплий період року (рис. 6), на даній території $60\text{--}80\%$ від річної кількості опадів випадає у вигляді дощу. Випадання значних опадів у літній сезон спричиняється переміщенням атмосферних фронтів із заходу і північного заходу, а також південно-західних циклонів, в улоговинах яких під впливом орографії утворюються хвильові збурення, що сприяють збільшенню опадів. У цей час інтенсивно розвивається місцева конвекція, яка посилюється гірсько-долинною циркуляцією [1].

В окремі роки кількість опадів в окремі місяці і за рік може істотно відрізнятися від середніх значень. На рис. 7 для прикладу наведено річний розподіл опадів для вологих років, графічне зображення підтверджує переважання опадів влітку за рахунок зливових (рис. 7).

Як зазначалось вище саме сильні дощі і зливи викликають паводки, які можуть супроводжуватися зносом розмитих гірських порід, при сильних зливах може стікати не сама вода, а її суміш з землею і камінням, змиваючи родючий шар ґрунту та ін. частіше всього сильні дощі і зливи спостерігаються в межах однієї доби і тільки зимою можливі протягом декількох днів [4].

За даними Центральної геофізичної обсерваторії за останні 40 років побудований графік кількості днів з дуже сильним дощем (30 мм і більше за 12 годин та менше) (рис. 8). Аналіз показав, що на даній території сильний дощ випадав кожного року. За весь період в середньому спостерігалось в середньому 115 днів. За кожен окремий рік приблизно мінімальна кількість днів 86 спостерігалась у 1986 році, максимальна 145 дні у 2008 році. За останні 15 років XXI ст. (2001–2015 рр.) середня кількість зростала майже на 9 днів і становила 124 дні. За 15 років

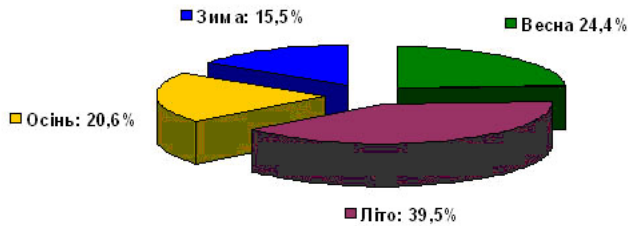


Рис. 6. Розподіл опадів по сезонах за період 2001–2015 рр. на території верхньої течії р. Дністер

максимальна кількість днів із сильним дощем була 2008 році — 145, мінімальна у 2012 році — 103 дні.

На рисунку 9 наведена тривалість (год.) дуже сильного дощу (30 мм і більше за 12 годин та менше) на даній території за період 1976–2014 рр. за весь період середнє значення 369 годин, мінімальні значення 230 годин у 1979 році, максимальні значення 545 годин у 2008 році. Для періоду 2001–2014 рр. мінімальні значення 289 годин у 2011 році, максимальні значення 545 годин у 2008 році. Середня тривалість за цей період 403 години збільшилася у останні роки на 34 години майже на 1.5 дні.

Отже паводкоутворюючі опади, особливо у теплий період мають тенденцію до збільшення. Саме у періоди випадання сильних опадів будуть формуватися паводки на території верхньої течії р. Дністер і це потрібно брати до уваги.

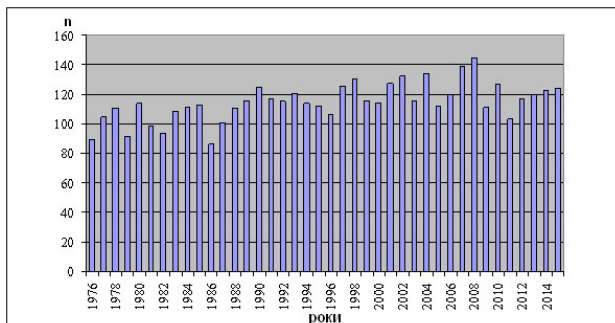


Рис. 8. Кількість днів дуже сильного дощу (30 мм і більше за 12 годин та менше) на території верхньої течії р. Дністер за період 1976–2015 рр.

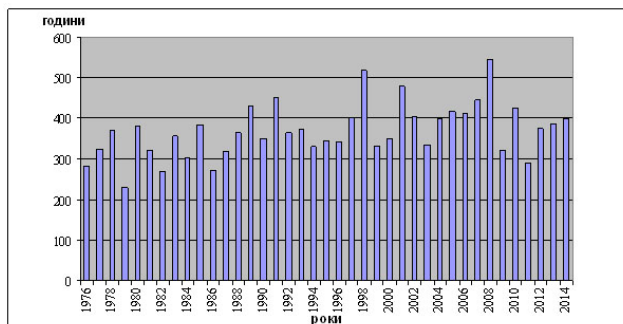


Рис. 9. Тривалість (год.) дуже сильного дощу (30 мм і більше за 12 годин та менше) на території верхньої течії р. Дністер за період 1976–2014 рр.

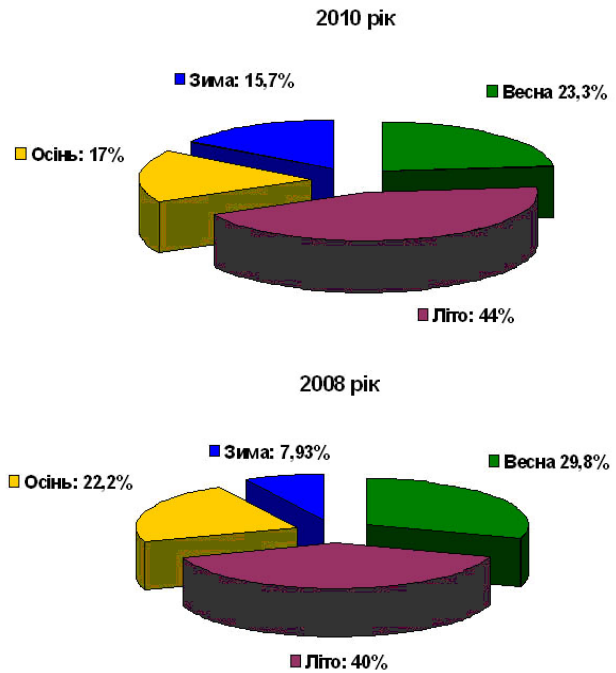


Рис. 7. Річний розподіл опадів за 2008 та 2010 рр. на території верхньої течії р. Дністер

Зимою паводки відбуваються в результаті сніготоплення, яке як правило супроводжується випаданням дощів. Відлиги істотно впливають на режим снігового покриву. Чим більша повторюваність відлиг, тим менша ймовірність утворення стійкого снігового покриву. Роки з частими і тривалими відлигами характеризуються незначним числом днів із сніговим покривом та його малою висотою, а іноді навіть повною відсутністю снігового покриву. Відлига тривалістю понад 10 днів майже завжди призводить до сходження снігового покриву будь-якої висоти. Саме це може призводити до утворення паводків.

У таблиці 3 наведена тривалість і повторюваність відлиг на даній території.

Отже, за ступенем гідрологічної небезпеки, зумовленої паводками території можна віднести до найбільш небезпечної.

Висновки

1. Сучасна активізація зсувних процесів є наслідком багатьох чинників, головним з яких є геолого-геоморфологічна будова, гідрометеорологічний вплив та техногенне навантаження. Значну роль в дестабілізації схилів відіграють атмосферні опади, які інфільтруються і перенасичують водонасичуючі шари при поверхневих відкладів в певні метеорологічно несприятливі роки. Розрахунки результатів індексу *ER* показали, що територія є потенційно найбільш зсувонебезпечна. Отже, ділянки ризиків зсувоутворення можуть стати активними зсувами, за певних умов як природного так і техногенного походження: перебільшення норми опадів

більш ніж у 2.5 рази; та інтенсифікація землетрусів; підрізання схилів та підвищення рівня ґрунтових вод. Для зменшення негативного впливу цих техногенних факторів слід виконати крупно масштабні дослідження геологічного середовища з метою розробки низки ефективних і економічних заходів по мінімізації геоекологічних ризиків, залучивши для цього сучасні космічні і комп'ютерні технології.

2. Основними причинами утворення паводків на території є гідрометеорологічні та орографічні чинники (випадання великої кількості опадів за малий проміжок часу, значна розчленованість рельєфу, крутизна і величина схилів, геологічна будова, тип ґрунту, лісорослинні умови). Також важливим чинником формування паводків є й антропогенна діяльність, яка не завжди спрямована на їхнє запобігання. Для зменшення негативного впливу цих факторів слід проводити подальші дослідження, які полегатимуть у вивченні впливу властивостей природних територіальних комплексів на перебіг паводків.

Література

- Адаменко О. Про причини та наслідки паводків у долині Дністра / О. Адаменко // Вісник Львівського університету. Серія географічна. — 2014. — Випуск 48. — С. 141–149.
- Бойко В. М. Визначний дощовий паводок на річках Закарпаття в листопаді 1998 р. / В. М. Бойко, М. І. Кульбіда, М. М. Сусідко // Наукові праці УкрНДГМІ. — 1999. — Вип. 247. — С. 91–101.
- Гопченко, Є. Д. Гідрологічні розрахунки: підручник / Є. Д. Гопченко, Н. С. Лобода, В. А. Овчарук. — Одеса: ТЕС, 2014. — 484 с.
- Гостюк З. В. Особливості проходження і наслідки катастрофічних паводків на території Косівського району в 2008 і 2010 роках / З. В. Гостюк // Проблеми гірського ландшафтознавства. — 2014. — Випуск 1. — С. 35–40.
- Інженерний захист територій, будинків і споруд від зсувів та обвалів. Основні положення: ДБН В.1.1-3-97 [Чинний від 1997-01-07]. — К.: Держбуд України, 2010. — 41 с. (Національний стандарт України).
- Інженерний захист територій, будинків, будівель та споруд від зсувів та обвалів. ДСТУ-Н Б В.1.1-XX:201X [Проект, перша редакція], ДП НДІБК [Електронний ресурс] — Режим доступу: <http://www.niisk.com/images/5689.pdf.pdf>. — Назва з екрану.
- Клімат України / Бабіченко В. М., Дячук В. А. (ред.) [Електронний ресурс] — Режим доступу: <http://www.twirpx.com/file/505868>. — Назва з екрану.
- Клімат України: у минулому... і майбутньому? / М. І. Кульбіда, М. Б. Барабаш, Л. О. Єлістратова, Т. І. Адаменко, Н. П. Гребенюк, О. Г. Татарчук, Т. В. Корж; за ред. М. І. Кульбіди, М. Б. Барабаш. — К.: Сталь, 2009. — 234 с.
- Комплексная аппаратурно-автоматизированная обработка аэрокосмической информации для решения геологических задач. Методические рекомендации / Зяткова Л. К., Дементьев В. Н., Пяткин В. П. и др. Отв. редактор д. г.-м. н. В. Н. Шарапов. — Новосибирск. — Издание ИГиГ СО АН СССР, 1986. — 152 с.
- Лук'янець О. І. Річки Правобережжя Прип'яті в періоди високої водності: повторюваність дощових паводків та особливості гідрологічного режиму / О. І. Лук'янець, М. М. Сусідко М. М. // Наук. праці УкрНДГМІ. — 1999. — Вип. 247. — С. 136–143.
- Лялько В. І. Експрес-оцінка ерозійно-небезпечних ділянок ґрунтового покриву на території України з використанням даних дистанційного зондування Землі з врахуванням кліматичних факторів та рослинності / В. І. Лялько, Л. О. Єлістратова, О. А. Апостолов, А. Я. Ходоровський, В. М. Чехній // Доповіді НАН України (у друці).
- Лялько В. І. Аналіз ґрунтово-ерозійних процесів в Україні на основі застосування даних дистанційного зондування Землі / В. І. Лялько, Л. О. Єлістратова, О. А. Апостолов, В. М. Чехній В. М. // — Вісн. НАН України, 2017, № 10. — С. 34–41.
- Мартазинова В. Ф. Изменение крупномасштабной атмосферной циркуляции на протяжении XX века и ее влияние на погодные условия и региональную циркуляцию воздуха в Украине / В. Ф. Мартазинова, Е. К. Иванова, Д. Ю. Чайка // Геофит. журн. — 2006. — № 1. Т. 28. — С. 51–60.
- Національна доповідь про стан техногенної та природної безпеки в Україні у 2012 році [Електронний ресурс] //— Режим доступу: <http://undicz.dsns.gov.ua/files/2012.pdf>. — 23 с. — Назва з екрану.
- Овчарук В. А. Особенности формирования паводков теплого периода на реках горного Крыма / В. А. Овчарук, О. М. Прокофьев, Е. И. Тодорова // Вісник Харківського національного університету, № 1157, серія “Геологія. Географія. Екологія”, випуск 42, С. 99–106.
- Парниковий ефект і зміни клімату в Україні / за ред. акад. В. І. Лялька. — К.: “Наукова думка”, 2015. — С. 79–160.
- Попередні напрацювання по гідроенергетичному та водогосподарському використанню верхньої частини ріки Дністер [Електронний ресурс] // Товариство з обмеженою відповідальністю “ГІДРОТЕХПРОЕКТ”. 2014—50 с. — Режим доступу: <http://www.bukoda.gov.ua/news/v-oblasnii-derzhavnii-administratsii-prezentovano-poperedni-proektni-napratsyuvannya-po-gidroen>. — Назва з екрану.
- Ромашенко М. Водні стихії. Карпатські повені / М. Ромашенко, Д. Савчук. — К.: Аграрна наука, 2002. — 304 с.
- Сусідко М. М. Карпати — найбільш паводко-небезпечний регіон України / М. М. Сусідко // Матеріали міжнародної конференції “Тори та люди”. — Рахів. — 2002. — Том 2. — С. 158–161.
- Сусідко М. М. Паводки в Карпатах — причини їх виникнення та повторюваність / М. М. Сусідко, О. І. Лук'янець // Матеріали міжнародної конференції “Стихійні явища у Карпатах”. — Рахів. — 1999. — С. 316–320.
- Сусідко М. М. Районування території України за ступенем гідрологічної небезпеки / М. М. Сусідко, О. І. Лук'янець // Наук. праці УкрНДГМІ, 2004. — Вип. 253. — С. 196–204.

ВЛИЯНИЕ ПРИРОДНЫХ И АНТРОПОГЕННЫХ ФАКТОРОВ НА ФОРМИРОВАНИЕ ОПАСНЫХ СИТУАЦИЙ: ОПОЛЗНЕЙ, ПАВОДКОВ (НА ПРИМЕРЕ ВЕРХНЕГО ТЕЧЕНИЯ РЕКИ ДНЕСТР)

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

Описаны и проанализированы основные природные гидролого-метеорологические и геоморфологические факторы и влияние антропогенной деятельности человека на компоненты окружающей среды, которые в совокупности являются определяющими факторами формирования опасных ситуаций: оползней, паводков (на примере верхнего течения реки Днестр).

Ключевые слова: оползни, паводки, осадки, дистанционные методы исследования Земли, цифровая модель рельефа DEM, SRTM, р. Днестр

INFLUENCE OF NATURAL AND ANTHROPOGENIC FACTORS ON THE FORMATION OF DANGEROUS SITUATIONS: LANDSLIDES, FLOODS (ON THE EXAMPLE OF THE UPPER COURSE OF THE DNIESTER RIVER)

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

The main natural hydrological and meteorological and geomorphological factors and the influence of human anthropogenic activity on the components of the environment are described and analyzed. In the aggregate, the formation of dangerous situations: landslides, floods (on the example of the upper course of the Dniester River are the determining factors).

Keywords: landslides, floods, sediments, remote earth exploration methods, digital relief model DEM, SRTM, Dniester

УДК 629.7.021:528.831.1:519.652

Підвищення просторової розрізненності аерознімання з квадрокоптеру на основі субпіксельної обробки зображень

С. А. Станкевич¹, М. С. Лубський¹, А. Р. Лисенко^{2*}¹ ДУ “Науковий центр аерокосмічних досліджень Землі ІГН НАН України”, Київ, Україна² Національний технічний університет України “Київський політехнічний інститут”, факультет інформатики та обчислювальної техніки, Київ, Україна

Недостатність просторової розрізненності одержуваних аерознімків — поширена проблема. Запропоновано підхід до підвищення просторової розрізненності шляхом поєднання декількох зображень зміщених одне відносно одного, та відновлення нового зображення підвищеної розрізненності. Подано демонстраційний приклад підвищення просторової розрізненності тестових аерозображень цифрової камери 4К, встановленої на борту квадрокоптера DJI Phantom 4.

Ключові слова: аерознімання, субпіксельна обробка, підвищення просторової розрізненності

© С. А. Станкевич, М. С. Лубський, А. Р. Лисенко. 2017

Вступ

На сьогодні аерозйомка є надзвичайно поширеною: її використовують у будівництві, військовій галузі, картографії, у рекламних цілях, екології, а також як хоббі. Для задоволення будь-якої з перелічених вище потреб використовують різні технічні засоби, в тому числі і квадрокоптери, які набули великої популярності завдяки їхнім можливостям та відносної дешевизні.

Однією з головних характеристик будь-якого зображення є його просторова розрізненність, підвищення якої вимагає потужної апаратури. У зв'язку з розмірами квадрокоптера постає проблема підвищення просторової розрізненності зображення, яка полягає, крім підвищення вартості квадрокоптеру при встановленні додаткових фотоеlementів, так і в фізичних обмеженнях носія оптичної системи [6].

Вирішенням даної проблеми може бути субпіксельна обробка послідовності зображень, одержуваних з квадрокоптера [1].

Попередні дослідження

Головна ідея полягає в отриманні кількох послідовних зображень, геометрично зміщених одне відносно одного на певну частку пікселя по рядках та стовпцях, після чого за допомогою їх спільної обробки відновлюється єдине результуюче зображення підвищеної розрізненності. Це досягається завдяки переходу від індивідуальної піксельної сітки кожного окремого зображення, до спільної субпіксельної сітки, яка їх поєднує [5].

Відновлення зображень

Нехай модель зображення має наступний вигляд:

$$g(x, y) = b(x, y) \otimes f(x, y) + n(x, y),$$

де $b(x, y)$ — це функція розподілу точок, $f(x, y)$ — вхідне зображення, $g(x, y)$ — вихідне зображення та $n(x, y)$ — шум.

Перетворенням Фур'є даної моделі є:

$$G(u, v) = H(u, v) \cdot F(u, v) + N(u, v).$$

Задача відновлення розрізняювальної здатності полягає в аналітичному подовженні сигналу до $F(u, v)$ за допомогою попередньої інформації про об'єкт і певної технології пост-обробки та отриманні нової функції розподілу точок $H'(u, v)$.

Отже, треба здійснити розрахунок субпіксельних значень x_{ij} , $i = \overline{1, n_x + p - 1}$, $j = \overline{1, n_y + q - 1}$, де n_x — кількість пікселів осі x , n_y — кількість пікселів по осі y , p — субпіксельне зміщення по осі x , а q — субпіксельне зміщення по осі y відповідно.

Значення пікселів виражаються через таку систему рівнянь:

$$y_{ij} = \sum_{k=1}^{i+p-1} \sum_{l=1}^{j+q-1} x_{kl}, \quad i = \overline{1, n_x}, \quad j = \overline{1, n_y}. \quad (1)$$

Маємо систему з $n_x \times n_y$ рівнянь та $(n_x + p - 1) \times (n_y + q - 1)$ невідомими. Розв'язком системи (1) є рекурентна формула:

$$x_{ij} = y_{(i-p+1)(j-q+1)} - \sum_{k=i-p+1}^{i-1} \sum_{l=j-q+1}^{j-1} x_{kl} - \sum_{k=i-p+1}^{i-1} x_{kj} - \sum_{l=j-q+1}^{j-1} x_{il},$$

$$i = \overline{p, n_x + p - 1}, \quad j = \overline{q, n_y + q - 1}.$$

* E-mail: mercennarius94@gmail.com

Систему (1) можна переписати у матричну форму:

$$T_1 \times X \times T_2 = Y, \quad (2)$$

де $X = \{x_{ij}\}$ — матриця невідомих розмірності, $(n_x + p - 1) \times (n_y + q - 1)$, $Y = \{y_{ij}\}$ — матриця вхідних зображень розмірності $n_x \times n_y$, T_1 — p -діагональна матриця розмірності з одиницями на діагоналях, T_2 — q -діагональна матриця розмірності $n_y \times (n_y + q - 1)$ з одиницями на діагоналях.

Якщо $n_x + p - 1$ є кратним p , а $n_y + q - 1$ є кратним q , тоді розв'язком системи (2) з найменшою вибірковою дисперсією матриці X є:

$$X = \text{pinv}T_1 \times Y \times \text{pinv}T_2,$$

де $\text{pinv}()$ є псевдооберненням матриці T [7].

Модель з шумом, в даному випадку, має наступний вигляд:

$$X = R \times Y + \varepsilon,$$

де X — зображення підвищеної розрізненності у векторній формі, Y — кортеж зображень низької розрізненності у векторних формах, R — матриця перемілювання, ε — вектор похибок.

Найкраща лінійна оцінка зображення підвищеної розрізненності X за Y має вигляд:

$$X = \text{cov}X \times R^T \times (R \times \text{cov}X \times R^T + \text{cov}\varepsilon)^{-1} \times (Y - \bar{Y}) + \bar{X}, \quad (3)$$

де $\text{cov}X$ та $\text{cov}\varepsilon$ — апіорні коваріаційні матриці зображення підвищеної розрізненності та похибок, $\bar{X}$ та $\bar{Y} = R \times \bar{X}$ — математичні очікування зображення підвищеної розрізненності та вхідних зображень [3]. Для того, щоб розв'язок (3) відповідав максимуму апостеріорної імовірності необхідно, щоб розподіли X та ε були гаусівськими.

Якщо зображення підвищеної розрізненності та похибки є стаціонарними у широкому розумінні, то матриці $\text{cov}X$ та $\text{cov}\varepsilon$ визначаються належними автоковаріаційними функціями, до того ж матриця є блоково-діагональною, так як похибки різних зображень низької розрізненності є некорельованими. Тоді розв'язок може бути отримано за допомогою гаусівської регуляризації [4].

Результати

Даний метод відновлення субпіксельно реєстрованих зображень досліджувався на реальних аерознімках (рис. 2), одержаних за допомогою камери 4К, встановленої на квадрокоптер *DJI Phantom 4* (рис. 1).

За допомогою функцій передачі модуляції (ФПМ) була отримана оцінка просторової розрізненності вхідних та відновленого зображень. Функції були експериментально визначені за допомогою



Рис. 1. Квадрокоптер *DJI Phantom 4* з камерою 4К

спеціального програмного забезпечення [2]. Результати оцінок ФПМ наведено на рис. 3.

Як видно з графіків, значення ФПМ на рівні 0.3 відповідають розрізненності 32 мм-1 для першого зображення (рис. 3 а), 31 мм-1 для другого зображення (рис. 3 б) та 54 мм-1 для відновленого зображення, що є близьким до теоретичної 60 мм-1. Отже, просторова розрізненність відновленого зображення краща приблизно на 70% за вхідні зображення.

Висновок

З допомогою даного методу було продемонстровано можливість підвищення просторової розрізненності зображень, але він, все ж таки, має недоліки.

По-перше, великі обчислювальні затрати, які залежать від розмірів вхідних зображень, ускладнюють роботу даного алгоритму в режимі реального часу. Тому варто розглянути більш економічні та ефективні методи відновлення.

По-друге, через стохастичні збурення неможливо досягнути строго лінійного субпіксельного зміщення зображень. Тому потрібно вживати певні заходи для просторової і кутової стабілізації зображень, одержаних квадрокоптерами. Разом з тим, даний підхід до підвищення просторової розрізненності є досить перспективним та вартим подальших досліджень та експериментів.

Література

1. Станкевич С.А. Підвищення просторової розрізненності аерознімання на основі субпіксельної реєстрації зображень / С. А. Станкевич, С. В. Шкляр, М. С. Лубський // Збірник наукових праць Державного науково-дослідного інституту авіації. — 2013. — Вип. 16. — С. 110–117.
2. 3-DAS-1 Digital Camera Geometry Calibration / Technical Report No.3. — Kiev: Scientific and Research Institute of Geodesy and Cartography, 2007. — 11 p.
3. Generalized Inverses: Theory and Applications / A. Ben



Рис. 2. Тестові аерозображення:

а, б – вхідні аерозображення низької розрізненості, в – відновлене аерозображення підвищеної розрізненості

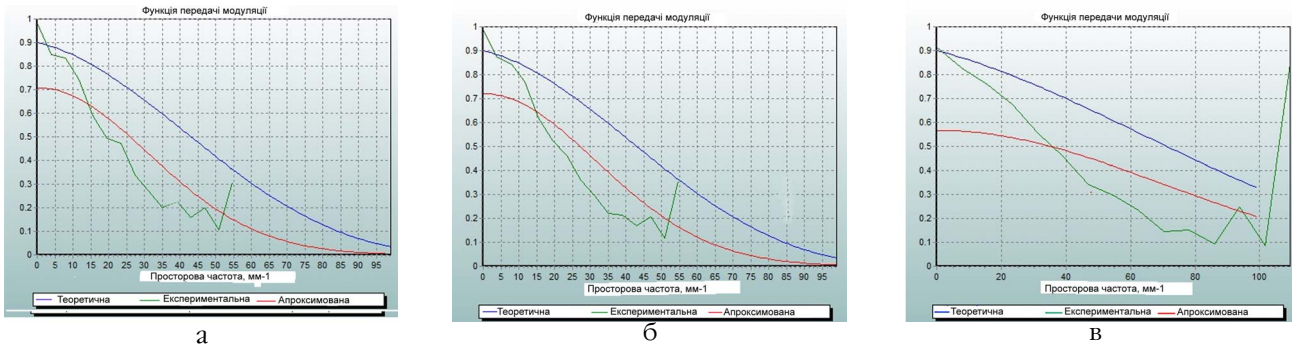


Рис. 3. Функції передачі модуляції тестових аерозображень: а, б – вхідних зональних зображень низької розрізненості, в – відновленого аерозображення підвищеної розрізненості

Israel, T.N.E. Greville // New York: Springer, Verlag, 2003. — 420 p.

4. Linear Statistical Inference and Its Application / C. R. Rao / New York: John Wiley, 2002. — 656 p.

5. Liu H. Y. Study on the methods of super-resolution image reconstruction / H. Y. Liu, Y. S. Zhang, S. Ji // The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. — 2008. — Vol. XXXVII. — Part B2. — P. 461–466.

6. Neumann K. J. Trends for digital aerial mapping cameras / K. J. Neumann // The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. — 2008. — Vol. XXXVII. — Part B 1. — P. 551–554.

7. Stankevich S. A. Subpixel resolution satellite imaging technique / S. A. Stankevich, S. V. Shklyar, V. M. Tyagur // Proceedings of the 9th International Conference on Digital Technologies (DT²⁰¹³). — Žilina: University of Žilina. — 2013. — P. 81–84.

ПОВЫШЕНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАЗРЕШЕНИЯ АЭРОСЪЕМКИ С КВАДРОКОПТЕРА НА ОСНОВЕ СУБПИКСЕЛЬНОЙ ОБРАБОТКИ ИЗОБРАЖЕНИЙ

С. А. Станкевич, М. С. Лубский, А. Р. Лысенко

Недостаточность пространственного разрешения получаемых аэроснимков – распространенная проблема. Предложен подход к повышению пространственного разрешения путем объединения нескольких изображений совмещенных одно относительно другого, и восстановление нового изображения повышенного разрешения. Дан демонстративный пример повышения пространственного разрешения тестовых аэроснимков цифровой камеры 4K, установленной на борту квадрокоптера *DJI Phantom 4*.

Ключевые слова: аэросъемка, субпиксельная обработка, повышения пространственного разрешения

AERIAL IMAGING SUPERRESOLUTION BASED ON SUBPIXEL PROCESSING OF IMAGES ACQUIRED BY QUADCOPTER

S. A. Stankevich, M. S. Lubskyi, A. R. Lysenko

Insufficient spatial resolution is a common problem in aerial imaging. An approach for spatial resolution enhancement using several images of low spatial resolution with relative subpixel displacement for the super-resolution is proposed. Demo example of superresolution of test aerial image acquired by 4K camera onboard *DJI Phantom 4* quadcopter is described.

Key words: aerial imagery, subpixel processing, spatial resolution enhancement

ПРАВИЛА ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ ДЛЯ АВТОРІВ

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

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

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

Оформлення рукопису. Формат документу — Word 97–2003. Текст форматують *без переносів, абзацних відступів та інтервалів до та після рядка*. Формат графічних додатків — TIFF, розрізнення (фактичне!) 300 dpi/inch у форматі документа. Формат документу — A4.

Структура рукопису:

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

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

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

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

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

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

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

Список літератури складають за абеткою (алфавітом).

ДОДАТОК

Авторська згода

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

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

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

Дата, підпис

ПРАВИЛА И РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ АВТОРОВ

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

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

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

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

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

Оформление рукописи. Формат документа — Word-97–2003. Формат графических приложений — TIFF, разрешение — 300 dpi/inch. Размер страницы — 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

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

2.8. Прогнозування перспективності території ДДЗ та Тарханкутського півострову Криму на пошуки покладів вуглеводнів з використанням лінеamentного аналізу

2.8.1. Прогнозування покладів вуглеводнів у межах ДДЗ

На території ДДЗ прогнольні дослідження були проведені у межах центральної частини північного борту та північної прибортової зони, від міста Ромни на північному заході до міста Сватове на південному сході. Загальна площа робіт складає 20 370 км².

ДДЗ — це складно побудований внутрішньоплатформений рифт, який є ланкою гетерогенного трансконтинентального Сарматсько-Туранського глибинного розлому. Западаина відзначається складною геологічною будовою, швидкою зміною складу та потужності відкладів, що її складають. Структурами першого порядку ДДЗ є північний та південний борти та Дніпровський грабен.

Для бортів характерна невелика потужність осадових товщ та пологі їх залягання. Осадовий чохол порушено розгалуженою сіткою малоамплітудних розломів. У тектонічному відношенні це найменш активні структури регіону [150].

В Дніпровському грабені зафіксовані максимальні потужності і найбільша стратиграфічна повнота відкладів всього фанерозою. Його висока тектонічна активність обумовила формування структур різного порядку переважно північно-західного простягання. Значно поширені структури пов'язані з галокінезом. Будова осадового чохла грабена характеризується поздовжньою та поперечною зональністю.

Вздовж грабена виділяються північна та південна прибортові, а між ними — приосьова зони, які відносяться до структур другого порядку. Прибортові зони відзначаються максимальною тектонічною активністю на протязі всієї історії формування регіону. У напрямку приосьової зони в них відбувається стрімке збільшення потужності відкладів. Докембрійський фундамент прибортових зон суттєво порушено розривами різної амплітуди [150].

На території ДДЗ розташована однойменна нафтогазова область у межах якої відкрито більше 205 родовищ нафти та газу [150]. Більшість родовищ ВВ невеликі за розмірами, а тому для їх ефективного пошуку необхідна прогнозна оцінка перспективності території з врахуванням усіх факторів, які мали суттєвий вплив на локалізацію родовищ.

Відомо, що суттєвий вплив на розміщення покладів ВВ мали структурні фактори — антиклінальні складки та розломи. Однак, роль розломів в процесі пошуку та прогнозу родовищ враховується недостатньо. Це пов'язано, на наш погляд, перш за все з якісним характером методів дослідження розломів ДДЗ. Для оцінки ролі розломів в розміщенні покладів

ВВ з метою прогносної оцінки перспективності території на їх пошуки було використано, наведені вище методики лінеamentного аналізу та просторово-вірогідного прогнозування.

На території дослідження, на площі північного борту розміщується однойменний нафтогазоносний район, розташований за межами ДДЗ. Для нього характерна відсутність хемогенних і галогенних утворень нижньої пермі, а також добре виражених складок північно-західного простягання. Потужність осадового чохла не перевищує 3.5–4.0 км. У межах району відомо 14 родовищ нафти та газоконденсату, частина з яких пов'язана з породами кристалічного фундаменту. Ступінь розвіданості початкових ресурсів 17.7% [150].

У межах північної прибортової зони виділяються два райони — Талалаївсько-Рибальський нафтогазоносний, у межах якого відомо 26 родовищ нафтогазоконденсату, газоконденсату та нафти та Рябухінсько-Північно-Голубівський газонасний, у його межах розміщується 13 родовищ газоконденсату [150].

Талалаївсько-Рибальський нафтогазоносний район має високу щільність нерозвіданих ресурсів. Довказана промислова нафтогазоносність відкладів від юри до девону. Поклади ВВ відкрито на глибинах більше 5 км. Значна кількість піднятих пов'язана з соляним тектогенезом. Ступінь розвіданості ресурсів 57.6% [150].

Рябухінсько-Північно-Голубівський газонасний район: в його межах встановлена продуктивність середньокам'яновугільних, серпуховських та верхньовізейських відкладів. Район відзначається обмеженою кількістю антиклінальних піднятих, нерозвідані ресурси пов'язуються з похованими складками або неантиклінальними пастками. Ступінь розвіданості 7.9% [150].

Вихідними матеріалами для прогнозних досліджень була карта лінеamentів (рис. 2.37), побудована за результатами візуального структурного дешифрування космічних знімків з супутника Landsat, а також результати дешифрування топографічних карт масштабу 1:100000 та цифрової моделі рельєфу (DEM) за даними з KA Shuttle та ASTER.

Аналіз закономірностей орієнтації лінеamentів проводився спочатку окремо для кожного з трьох районів розміщення родовищ ВВ. Було встановлено, що розподіл орієнтації лінеamentів в різних районах має аналогічний характер і тому матеріали були узагальнені. На підставі аналізу узагальненого матеріалу було виділено 8 систем лінеamentів, спільні для всього району робіт (табл. 2.6).

Ці системи близькі до систем розломів та тріщин, встановлених геолого-геофізичними методами як на Україні, так і за її межами [131–133]. Цей факт є по-

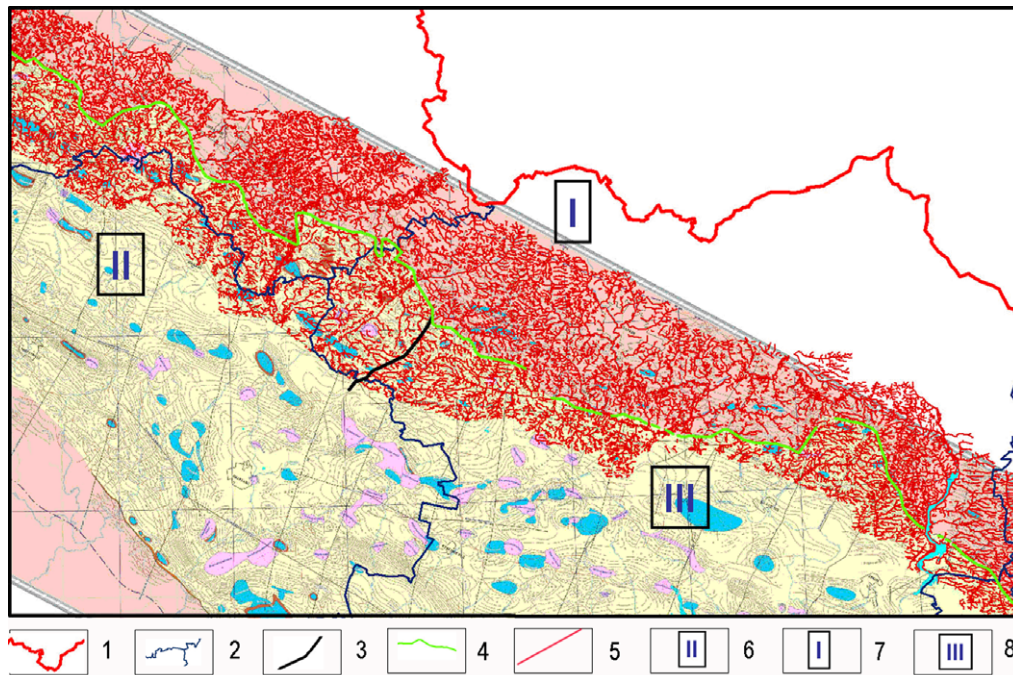


Рис. 2.37. Карта лінементів на територію дослідження в межах ДДЗ, створена за результатами дешифрування космічних знімків суміщена зі структурно-тектонічної картою ДДЗ [149]. Автори: А. Я. Ходоровський, О. А. Апостолов.

1 — державний кордон України; 2 — межі областей України; 3 — межі нафтогазоносних районів північної прибортової зони ДДЗ; 4 — північний борт ДДЗ; 5 — віддешифровані лінементи; 6 — Талалаєвсько-Рибальський нафтогазоносний район північної прибортової зони ДДЗ; 7 — Нафтогазоносний район північного борту ДДЗ; 8 — Рябухінсько-Північно-Голубівський нафтогазоносний район північної прибортової зони ДДЗ

бічним підтвердженням зв'язку виявлених лінементів з розломами літосфери, іншими словами підтверджує достовірність результатів дешифрування.

По кожній з 8-ми систем лінементів були побудовані карти їх щільності з використанням прямокутного вікна, яке зміщувалося на 50% його розміру (рис. 2.38).

На побудованих картах виділяються лінійні аномалії підвищених та знижених значень поля щільності лінементів. Більшість полів підвищених значень щільності лінементів витягнута згідно з модальним значенням азимутів відповідної системи. Як і передбачалось, відомим розломам, виділе-

ним за даними геолого-геофізичних досліджень, завжди відповідають поля підвищених значень щільності лінементів. Цей факт підтверджує достовірність як побудови карт щільності лінементів, так і принципів їх інтерпретації.

Аналіз карт щільності лінементів з використанням встановленої залежності дозволив виділити значну кількість розломів різного масштабного рівня. На відміну від традиційного відображення розломів у вигляді лінії, на картах щільності лінементів розломам відповідають аномалії щільності лінементів, тобто вони відображені у вигляді зон певної протяжності та ширини, як це і спостерігається в природі.

Таблиця 2.6.

Кількість, межі та модальні значення систем лінементів на територію дослідження

Номер системи	Опис системи	Межі системи	Модальне значення системи
1	Захід-Північний Захід (ЗПЗ)	280–300°	295°
2	Північний Захід (ПЗ)	301–320°	310°
3	Північний Захід (ПЗ)	321–340°	325°
4	Субмеридіональна	341–10°	355°
5	Північ-Північний Схід (ППС)	11–35°	30°
6	Північний Схід (ПС)	36–0°	50°
7	Північний Схід (ПС)	61–75°	65°
8	Субширотна	76–279°	85°

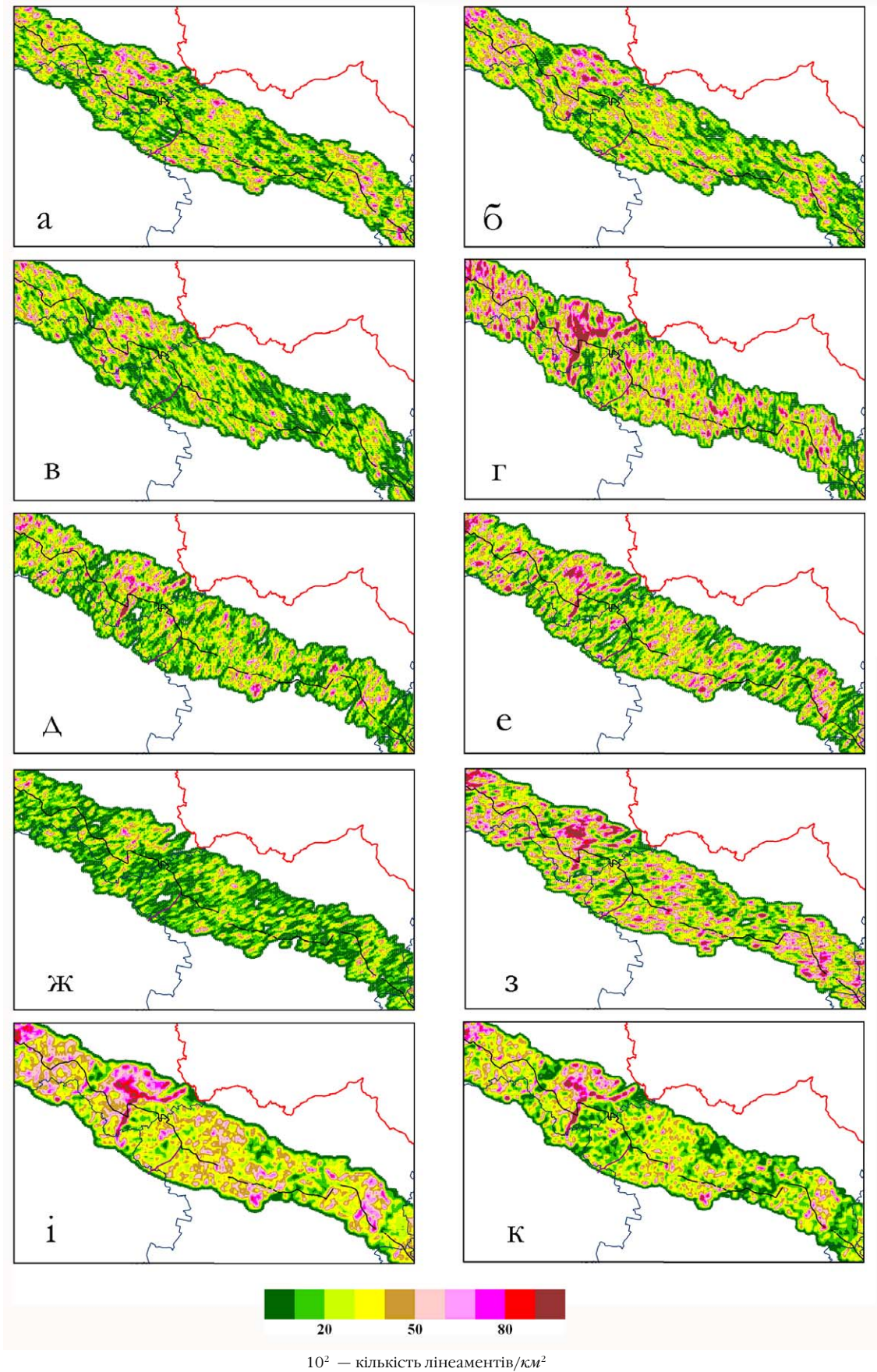


Рис. 2.38. Карти щільності лінеamentів всіх систем та карта щільності вузлів перетину лінеamentів, побудовані на підставі карти лінеamentів. а-і) карти щільності, побудовані за допомогою програми Surfer з використанням ізоліній: а) система 1: 280–300°; б) система 2: 301–320°; в) система 3: 321–340°; г) система 4: 341–10°; д) система 5: 11–35°; е) система 6: 36–60°; ж) система 7: 61–75°; з) система 8: 76–279°, и) щільність лінеamentів усіх систем, к) щільність вузлів перетину лінеamentів

Особливості взаємного просторового розподілу окремих аномалій щільності лінеаментів відображають характер будови розломів. На картах щільності лінеаментів видно, як змінюється ширина зон розломів та інтенсивність їх відображення по простяганню розлому. Встановлюються ділянки з лінійним або кулісоподібним розміщенням локальних розломів. В місцях поступового затухання протяжних аномалій щільності лінеаментів спостерігається розміщенням на їх продовженні локальних аномалій щільності. Розміщуються локальні аномалії аналогічно розміщенню локальних розломів в місцях затухання крупного розлому з формуванням структур типу “кінського хвоста” або “риб'ячого хвоста”. Зіставлення карт щільності лінеаментів різних систем дозволяє оцінити інтенсивність їх виявлення і дослідити взаємовідношення структур різних систем.

Виконаний аналіз побудованих карт щільності лінеаментів усіх 8 систем засвідчив, що вони дійсно відображають особливості розподілу тектонічних тріщин в літосфері і тому можуть бути використані для оцінки тріщиної проникності порід з метою прогнозної оцінки перспективності території на пошуки покладів ВВ.

Прогнозна оцінка перспективності території виконувалася окремо для кожного з трьох досліджуваних нафтогазоносних районів. Це пов'язано з різницею в їх геологічній будові та переважному складі родовищ ВВ. Так, якщо родовища північного борту переважно нафтові, а район відзначається відносно невеликою глибиною (3–4 км) залягання кристалічного фундаменту, то у межах північної прибортової зони глибина залягання фундаменту значно більша і його не розкрито більшістю свердловин глибиною 5–6 км. Змінюється і склад покладів, якщо в Талалаївсько-Рибальському районі поклади переважно нафтогазоконденсатні та газоконденсатні, то в Рябухінсько-Північно-Голубівському районі — газоконденсатні та газові. Тому, в процесі прогнозних досліджень для оцінки перспективності кожного з районів використовувались лише родовища, які розташовані у межах цього району.

Проведені дослідження, з використанням функцій відношення правдоподібності показали, що в межах кожного з районів родовища ВВ пов'язані зі значеннями щільності лінеаментів кожній з восьми систем, а також зі значеннями щільності вузлів перетину лінеаментів. Тому всі ці матеріали були використані для прогнозної оцінки перспективності території.

Встановлено, що переважна більшість відомих родовищ кожного нафтогазоносного району розташована в полях з проміжними значеннями щільності лінеаментів кожної системи та щільності вузлів їх перетину. Інтервали проміжних значень щільності лінеаментів, до якого приурочені родови-

ща, для кожної системи різні. Поля з максимальними та мінімальними значеннями щільності лінеаментів усіх систем та вузлів їх перетину не сприятливі для розміщення родовищ. Також аналітично, з застосуванням програми просторово-вірогідного прогнозування, було оцінено спільний вплив на розміщення родовищ значень щільності лінеаментів по усім 8 системам, а також карти щільності вузлів перетину лінеаментів. Отримані дані були використані для побудови карт прогнозної оцінки перспективності території на пошуки родовищ ВВ по кожному з трьох нафтогазоносних районів (рис. 2.39).

Аналіз побудованих карт прогнозу показав, що більше 90% відомих родовищ ВВ кожного з нафтогазоносних районів розташовано в полях з підвищеними значеннями перспективності, які характеризуються значеннями функції відношення правдоподібності більшими 1. Родовища, які розташовані в полях з низькими значеннями перспективності, це переважно дрібні, у ряді випадках виключені з балансу. Найбільш високими значеннями перспективності охарактеризовані родовища, які мають найбільші запаси ВВ. Звичайно, це багатопластові родовища, з високими значеннями ефективної товщини колектора.

Таким чином, прогнозна оцінка перспективності території за матеріалами лінеаментного аналізу дозволяє не тільки виділяти площі, перспективні на пошуки нових родовищ ВВ, але приблизно оцінити перспективність родовищ, які можливо розташовані на цих площах. Крім того, побудовані карти прогнозу дозволяють дати попередню оцінку перспективності відомих структур, які не мають достовірної оцінки їх перспективності бурінням.

На картах прогнозу кожного з районів поля підвищених значень перспективності займають від 10 до 30% досліджуваної території. Найбільшу площу вони займають у межах північного борту ДДЗ, який поки що менш досліджений, чим інші території. Найменша площа перспективних територій у межах Рябухінсько-Північно-Голубівського району. Встановлені на цій території перспективні площі невеликі за розмірами та відзначаються відносно невисокими значеннями перспективності.

Використання даних про умови локалізації покладів одного нафтогазоносного району з метою прогнозу оцінки території за його межами показало, що на встановлених таким шляхом перспективних полях практично повсюдно відсутні відомі родовища і лише зрідка зустрічаються антиклінальні структури. Це свідчить про різницю в умовах їх локалізації. Як і слід було очікувати, найбільші розбіжності в умовах локалізації між родовищами північного борту та північної прибортової зони.

Між родовищами Талалаївсько-Рибальського та Рябухінсько-Північно-Голубівського районів північної прибортової зони різниця в умовах лока-

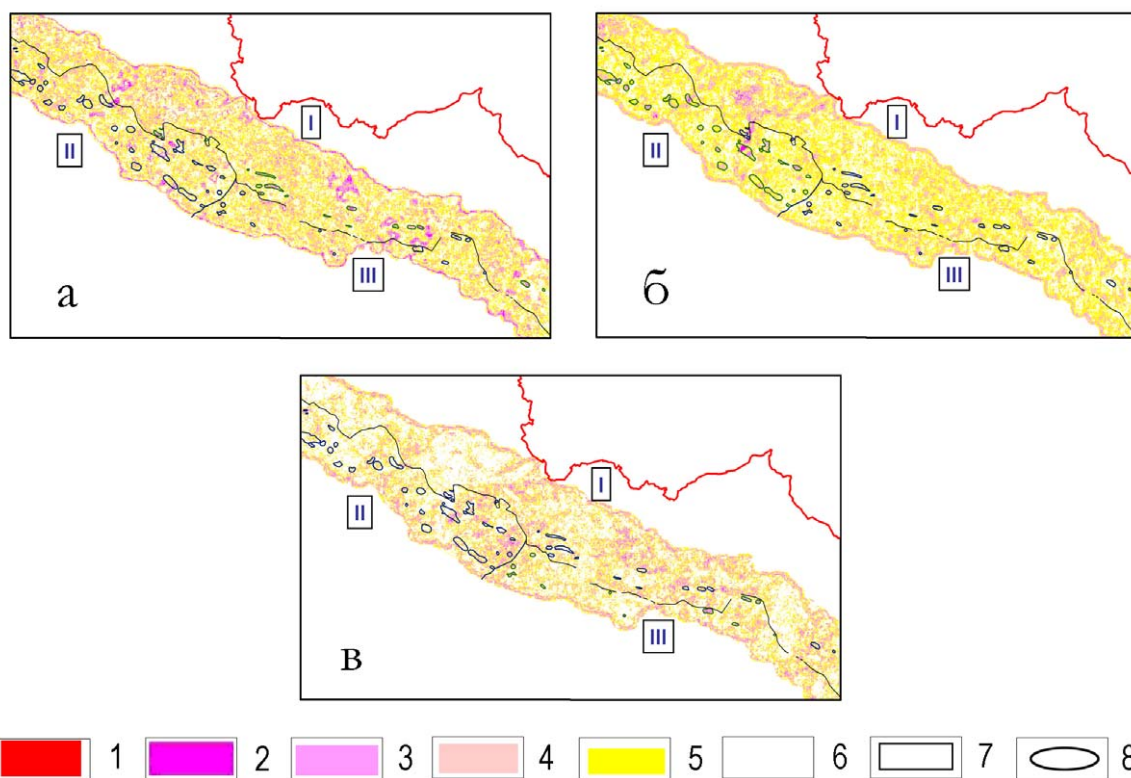


Рис. 2.39. Карти прогнозової оцінки перспективності території на пошук покладів ВВ:

а) Нафтогазоносний район північного борту ДДЗ (I), б) Талалаєвсько-Рибальський нафтогазоносний район північної прибортової зони ДДЗ (II), в) Рябухінсько-Північно-Голубівський нафтогазоносний район північної прибортової зони ДДЗ (III). 1 — максимальна перспективність; 2 — висока перспективність; 3 — середня перспективність; 4 — низька перспективність; 5 — невизначена перспективність; 6 — безперспективна площа; 7 — контур площі робіт; 8 — контури відомих родовищ ВВ

лізації родовищ менша. Як наслідок, частина родовищ Талалаївсько-Рибальського району попадає в перспективні поля, встановлені за даними о родовищах Рябушинсько-Північно-Голубівського району. Це спостерігається на території, розташованій поблизу межі цих двох районів.

Розподіл значень перспективності у межах контурів відомих родовищ ВВ, у більшості випадках, неоднорідний. Найбільш високі значення перспективності, частіше всього, розташовуються над склепінням складок. Ці дані в подальшому можливо використати для попередньої оцінки перспективності площ, що виділяються на картах прогнозу.

Отримані дані прогнозової оцінки перспективності території ДДЗ на пошуки покладів ВВ засвідчили, що лінеamentний аналіз доцільно використовувати з метою прогнозової оцінки перспективності територій. Матеріали лінеamentного аналізу, які надаються у числовій формі, можливо використовувати у комплексі з даними геофізичних та іншими кількісними методами досліджень в процесі кількісних прогнозних досліджень за комплексом ознак. Для опрацювання результатів лінеamentного аналізу може бути корисним увесь комплекс методів, який застосовується в геофізиці при обробленні фізичних полів.

2.8.2. Прогнозування покладів вуглеводнів у межах Тарханкутського півострова Криму

Згідно з нафтогазоносним районування півдня України, територія Тарханкутського півострова розташована у межах Чорноморсько-Північно-Кримського нафтогазоносного району Причорноморсько-Кримської нафтогазоносної області Балтійсько-Переддобруджінської нафтогазоносної провінції [107]. На цій території, починаючи з 1944 року, було відкрито 13 родовищ газу, газоконденсату та нафти.

Прогноз покладів нафти та газу було проведено на суходолі, на площі біля 11000 км². Для цього виконано дешифрування матеріалів космічної зйомки на територію загальною площею біля 13000 км². Зменшення площі прогнозних досліджень у порівнянні з площею дешифрування обумовлено необхідністю виключити вплив так званого “крайового ефекту” в процесі кількісної обробки результатів дешифрування.

За даними [6], Чорноморсько-Північно-Кримський район розташовано у межах Каркінітсько-Північно-Кримського прогину. На південному борту прогину виділяється Тарханкутсько-Джанкойська зона газонафтонагромадження. Стратиграфічний діапазон нафтогазоносності від нижньої крейди до міоцену, в районі виділяється 5 нафтогазоносних комплексів: нижньокрейдний, верхньокрейдний,

палеоценово-еоценовий та олігоценово-нижньоміоценовий (майкопський).

Нижньокрейдний нафтогазоносний комплекс досліджено недостатньо. Неокомсько-аптські породи-колектори представлені пачками пісковиків і алевролітів. Альбська глиниста товща, складена переважно аргілітами, зрідка глинистими мергелями, виконує роль субрегіональної неоднорідної покришки. У межах комплексу відкрито 3 невеликих родовища: Західно-Октябрське і Тетянівське газоконденсатні та Октябрське нафтогазове. Крім того, припливи газу з конденсатом отримані в окремих свердловинах на Серебрянській, Північно-Серебрянській і Карловській площах.

Верхньокрейдний нафтогазоносний комплекс повсюдно складений переважно карбонатними, рідше глинисто-карбонатними породами. Породи-колектори, як правило, порово-тріщинного типу, зустрічаються по всьому розрізу комплексу. В верхньокрейдній товщі встановлені 2 невеликих нафтових родовища: Серебрянське та Октябрське. Непромислові скупчення нафти відкриті на Бакальській площі, а газу з конденсатом в Карловській, Родниківській та Міжводненській складках.

В палеогеновому (палеоценово-еоценовому) нафтогазоносному комплексі колекторами були тріщинуваті органогенно-детритові вапняки та високопорові пісковики нижнього та низів верхнього палеоцену, а покришкою — нижньоеоценові глини. З комплексом пов'язана більшість газових та газоконденсатних родовищ району: Карловське, Глібівське, Задорненське, Оленівське, Кіровське, Краснополянське та Чорноморське.

Олігоценово-нижньоміоценовий (майкопський) нафтогазоносний комплекс являє собою потужну регіонально поширену екрануючу товщу. Пісковики і алевроліти залягають переважно на двох стратиграфічних рівнях — у підшві (базальні верстви) і у верхньокерлеутському горизонті, де вони об'єднуються в декілька пачок, потужність яких змінюється в широкому діапазоні. Породи комплексу характеризуються незначною дислокованістю порід, порівняно невеликою щільністю структур та розвитком пологих брахіантиклінальних складок невеликих розмірів. В породах комплексу залягають Джанкойське і Ярилгацьке родовища газу.

В цілому, район досліджень відзначається значною дислокованістю порід більшості нафтогазоносних комплексів, окрім майкопського і переважно добре вираженими антиклінальними складками. Літолого-фаціальна мінливість порід і значна кількість розривних порушень сприяють широкому розвитку літологічно обмежених і тектонічно екранованих пасток, особливо у нижньокрейдних породах. В породах майкопського комплексу поклади пластово-склепінного типу.

Усі відкриті родовища району невеликі за розмірами. З них розробляються (або розроблялись)

лише Джанкойське, Серебрянське, Задорненське та Глібівське родовища. Були прийняті на Державний баланс, але не розроблялися Ярилгацьке, Тетянівське і Західно-Октябрське родовища. Всі інші родовища віднесені до категорії забалансових [149].

Зважаючи на досить значні об'єми геологічних, геофізичних та бурових робіт, що були виконані у межах Тарханкутського півострову та складні умови формування і розміщення покладів ВВ важливо значення має обґрунтоване визначення напрямку подальших нафтогазопошукових досліджень. Для цього доцільно провести прогнозну оцінку перспективності району з використанням широкого комплексу пошукових ознак. Це дозволить визначити площі, де формування покладів ВВ найбільш вірогідне, а проведення на цих площах пошукових робіт може бути найбільш ефективним.

Однією з важливих пошукових ознак для покладів району є тріщина проникність порід. Виконана нами прогнозна оцінка перспективності району на підставі аналізу тріщиної проникності порід базувалася на матеріалах лінеamentного аналізу з використанням методики просторово-вірогідного прогнозування. Методика цих робіт була описана вище.

Можливість використання запропонованої методики лінеamentного аналізу в умовах Криму обумовлена тим, що основні морфоструктури рельєфу району є прямим відображенням його геоструктурних елементів і генетично пов'язані з найновішою активізацією древніх структур [151, 152].

Вихідними матеріалами для подальших досліджень послужили дані структурного дешифрування багатоспектральних космічних знімків Тарханкутського півострова, зроблених супутниками Landsat, починаючи з 1975 по 2000 роки, і результати дешифрування топографічних карт. Також використовувались космічні знімки TerraLook ASTER, з яких утворена мозаїка на територію дослідження. Структурне дешифрування знімків виконувалося візуальним методом [127–129].

Зважаючи на те, що природні умови півострову не повсюдно задовільні для проведення дешифрування, з метою підвищення кількості лінеamentів, які встановлюються в процесі дешифрування, поряд з первинними знімками були використані і трансформовані знімки. Крім того, в процесі дешифрування змінювались комбінації спектральних каналів синтезованих знімків, виконувалася еквілізація, контрастування та ще деякі перетворення, які входять до меню програмного продукту ERDAS Imagine. Для більш досконалого вивчення території дослідження виконувалося дешифрування 2D та 3D моделей рельєфу.

Приймаючи до уваги високу ступінь освоєння території робіт, найважливішою задачею заключного етапу структурного дешифрування було відбракувати лінеamenti не пов'язані з розривами та тріщинами, тобто лінеamenti антропогенного по-

ходження. Для цього проводилося співставлення кожного виділеного лінеамента з елементами земної поверхні, що відображені на топографічних картах масштабу 1:50 000 та 1:100 000.

За результатами дешифрування було виділено більше 17000 лінеamentів, що значно перевершує кількість розривів, які встановлено в районі на підставі геофізичних та інших методів досліджень. На підставі результатів дешифрування була складена зведена карта лінеamentів (рис. 2.40), яка слугувала джерелом інформації для подальших досліджень.

З метою виділення систем лінеamentів використовувались дані вимірів їх азимутів простягання у межах 12 окремих ділянок, які розташовувалися відносно рівномірно по усій карті лінеamentів. Графіки розподілів азимутів простягання лінеamentів були побудовані за допомогою вікна, що ковзає без перекриття завширшки 5°, що теоретично дозволяє виділити до 12 систем лінеamentів. Графіки будувались з різним розташуванням точки початку відліку. У подальшому кожний з таких графіків аналізувався окремо. На підставі аналізу отриманих даних з

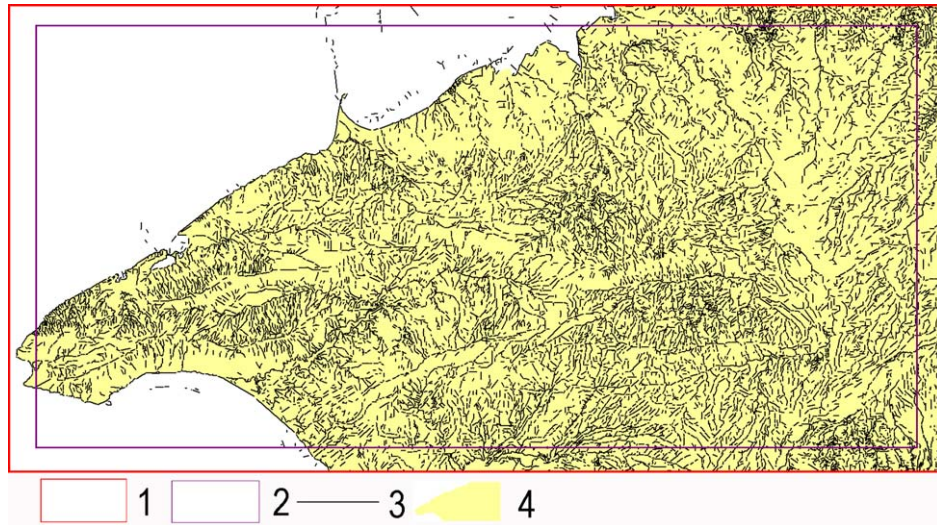


Рис. 2.40. Карта лінеamentів на Тарханкутський півострів Криму, створена за результатами дешифрування космічних знімків. Автори: А. Я. Ходоровський і О. А. Апостолов.

1 — контур площі, що дешифрувався за космічними даними; 2 — контур площі, на якій було дано прогноз нафтогазоносності; 3 — лінеament; 4 — суходіл

Аналіз лінійних структур Тарханкутського півострова, які були виділені за результатами структурного дешифрування матеріалів космічної зйомки засвідчив, що в районі широко розвинуті чисельні прямолінійні лінеamenti різної орієнтації, які співпадають з відомими розломами регіону, встановленими за даними геолого-геофізичних досліджень. Але за результатами дешифрування виділяється значно більше лінійних структур, ніж встановлено геолого-геофізичними методами. До аналогічних висновків прийшли також інші спеціалісти, що проводили дослідження Криму за матеріалами ДЗЗ [127, 129, 130, 154].

Лінеamenti дугової форми, які генетично пов'язані з насувами, в районі не були зустрінуті. Це підтверджує точку зору тих дослідників району, які вважають, що в будові району на регіональному та на локальному рівнях визначальну роль відігравали субвертикальні зсувні тектонічні розриви. Їх виникнення та активізація обумовлені впливом тангенціальних закономірно орієнтованих систем нормальних напруг. При цьому насуви відіграють другорядну роль [155].

використанням запропонованої методики були виділені 8 систем лінеamentів, загальні для всього району, встановлені їх межі і визначені модальні значення кожної системи (табл. 2.7).

Таблиця 2.7.

Кількість, межі та модальні значення систем лінеamentів на території дослідження (Тарханкутський півострів Криму)

Номер системи	Опис системи	Межі системи	Модальне значення системи
1	Захід-Північний Захід (ЗПЗ)	282–307°	305°
2	Північний Захід (ПЗ)	308–327°	316°
3	Північний Захід (ПЗ)	328–343°	332°
4	Субмеридіональна	344–10°	350°
5	Північ-Північний Схід (ППС)	11–27°	25°
6	Північний Схід (ПС)	28–40°	37°
7	Північний Схід (ПС)	41–74°	44°
8	Субширольна	75–281°	86°

Модальні значення встановлених систем лінеаментів добре збігаються з модальними значеннями систем розломів України та інших районів земної кулі, що наведені в роботах [129–132]. Такий збіг, з одного боку, засвідчує достовірність виділених систем лінеаментів, а з другого боку, є опосередкованим доказом того, що виділені лінеаменти відповідають розривам (тріщинам) кристалічних порід.

2.8.3. Аналіз карт щільності лінеаментів

Складання карт щільності лінеаментів відбувалось з використанням ковзаючого вікна. При визначенні розмірів ковзаючого вікна, що застосовувалося для складання карт щільності лінеаментів, була врахована глибина залягання покладів ВВ та кількість лінеаментів, що потрапляють у вікно того чи іншого розміру.

Відомо, що поклади ВВ розміщуються нерівномірно по глибині. Поклади нафти залягають на глибинах 1800–2700 м; газоконденсатні і газові поклади розміщуються на глибинах 2000–4500 м і 500–1100 м, а поклади газу — на глибинах 250–500 м [149]. Виходячи з глибини залягання покладів та кількості лінеаментів, що потрапляють до вікон різних розмірів, для складання карт були використані вікна розміром $1,5 \times 2$ км та 6×3 км. Використовуючи ці вікна, були побудовані карти щільності лінеаментів усіх 8-ма систем (рис 2.41).

Аналіз побудованих карт засвідчує, що всі вони подібні між собою. На картах виділяються чисельні локальні максимуми та мінімуми щільності лінеаментів різної інтенсивності та різної протяжності. Найбільш інтенсивно проявлені в районі лінеаменти трьох систем: субмеридіональної (система 4: $44-10^\circ$), субширотної (система 8: $75-281^\circ$) та північно-східної (система 7: $41-74^\circ$). На картах щільності цих систем чітко виділяються протяжні зони локальних максимумів, що простежуються через весь досліджуваний район. Встановлено, що усі відомі глибини розломи району, які були виділені за даними геолого-геофізичних досліджень, співпадають з зонами локальних максимумів щільності лінеаментів.

На карті щільності лінеаментів субмеридіональної системи зони максимумів відповідають таким відомим зонам глибинних розломів УЩ, як Західно-Інгулецька та Криворізьсько-Кременчуцька, чітко виділилася Центрально-Кримська зона розломів та Чонгарський розлом [154].

На карті щільності лінеаментів субширотної системи на півночі району виділяється фрагмент крупної глибинної зони розломів в наявності якої не сумнівається ніхто з дослідників. Різні автори по-різному називають цю зону — Північнокримська сутура за В. В. Юдіним [156], або Центрально-Причорноморська зона розломів за А. Я. Краснощек [157]. В центральній частині району розташована зона максимумів, яка співпадає з крупною зоною глибинних розломів, що

відігравала значну роль в будові району. Ця структура виділялася усіма дослідниками району, але під різними назвами: Тарханкут-Арабатський краєвий шов [158], Ярилгачський та Победінський [129] та ін. На самому півдні району знаходиться північна частина зони максимумів, що співпадає з відомою Новосілівською зоною розломів [129].

На карті щільності лінеаментів північно-східного простягання (система 7: $41-74^\circ$) одна з зон максимумів співпадає з Каркінітсько-Сивашським розломом, що відповідає флексурній зоні по поверхні фундаменту. Розлом контролює розподіл фацій у неогенових відкладах. Він відокремлює Тарханкутський вал від Каркінітської западини, що відзначається значною потужністю платформного чохла. Широкий зоні максимумів, що розміщується в центральній частині району, відповідає встановлений за геофізичними даними крупний Донузлавський розлом. За даними буріння, вздовж розлому на заході простежується вузький грабен, що виповнений товщами юрських та тріасових відкладів. Він розмежовує Тарханкутське та Новосілівське підняття [129]. Встановлено, що усім відомим розломам району відповідають зони максимумів щільності лінеаментів на картах відповідних систем. На цій підставі усі встановлені на картах щільності лінеаментів зони максимумів розглядаються у якості розломів. На користь цього вказує і схожість таких особливостей будови розломів та зон максимумів, як нечіткість меж цих обох структур. Відомо, що у більшості випадків крайові розриви зон розломів проявляються краще, ніж інші розриви. Крайові частини зон максимумів щільності лінеаментів відзначаються більш високими значеннями щільності ніж інші частини зон. Карти щільності лінеаментів дозволяють не тільки виділяти розломи району, але і досліджувати особливості їх будови, що вже є предметом структурного аналізу і тому більш детально нами не розглядається.

Для вирішення задачі прогнозування перспективності території важливо, що аналіз карт щільності лінеаментів усіх систем засвідчив — складені карти дійсно відображують розривні структури району, а тому ці карти можуть бути використані для прогнозовної оцінки перспективності району на пошуки покладів ВВ.

2.8.4. Результати прогнозного оцінювання перспективності території Тарханкутського півострову на пошуки покладів вуглеводнів

З метою прогнозовної оцінки перспективності території робіт на пошуки покладів ВВ було запропоновано використати наступні ознаки — значення полів щільності лінеаментів 8-ма систем, значення поля щільності вузлів перетину лінеаментів, а також значення гіпсометрії сучасного рельєфу. Як вказувалось вище, значення щільності лінеаментів різних

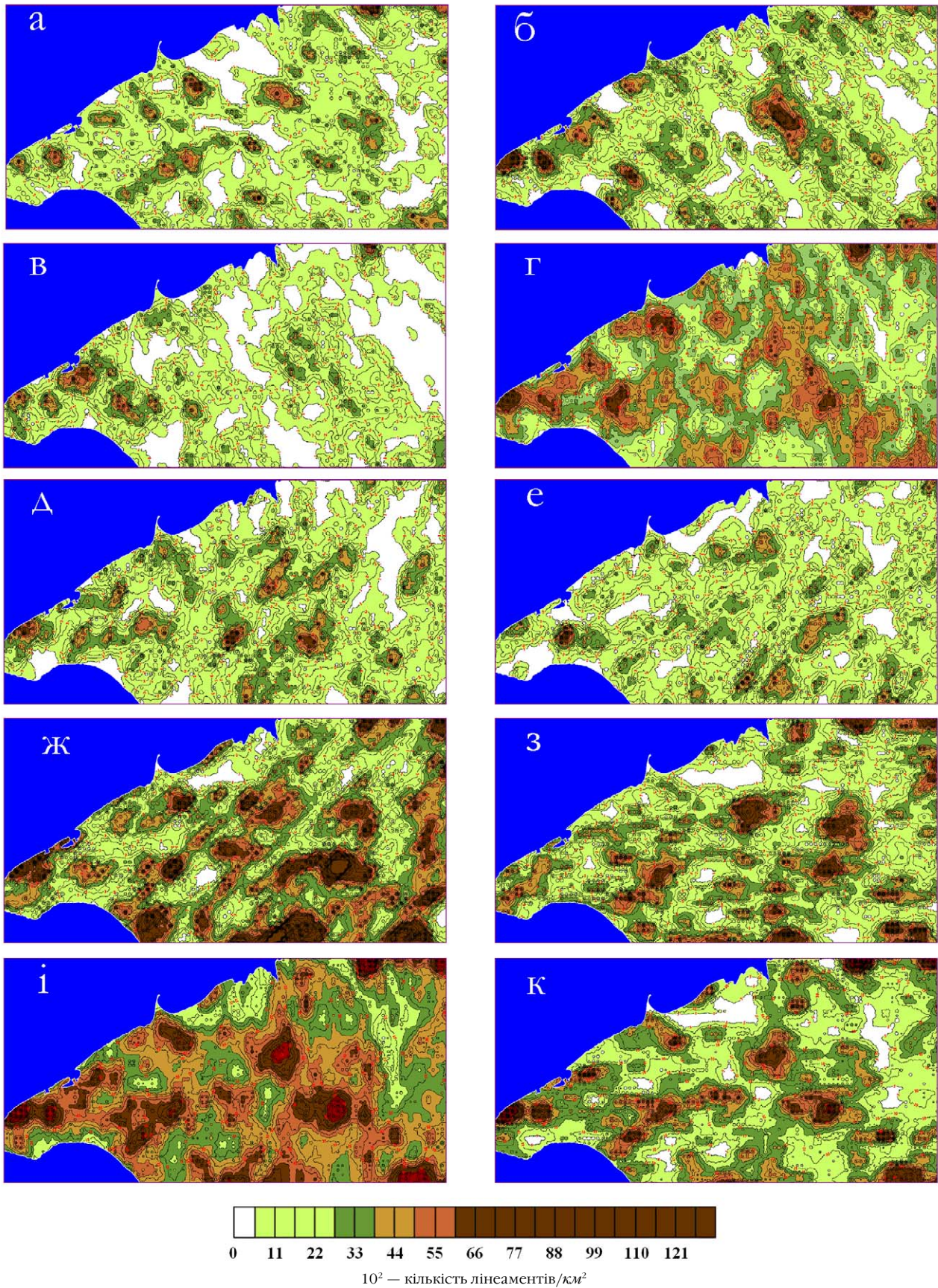


Рис. 2.41. Карти щільності лінементів всіх систем та карта щільності вузлів перетину лінементів, побудовані на підставі карти лінементів. А-І) карти щільності, побудовані за допомогою програми Surfer з використанням ізоліній: А) система 1: 282–307°, Б) система 2: 308–327°, В) система 3: 328–343°, Г) система 4: 344–10°, Д) система 5: 11–27°, Е) система 6: 28–40°, Ж) система 7: 41–74°, З) система 8: 75–281°, І) щільність лінементів усіх систем, К) щільність вузлів перетину лінементів

систем і щільність вузлів перетину лінеаментів оцінюють тріщину проникливість порід. Аналіз відміток сучасного рельєфу використовувався з метою врахувати відомий зв'язок покладів ВВ з антиклінальними структурами. Як показали спеціальні дослідження, геоструктури осадового чохла району мають пряме відображення в сучасному рельєфі і тому можливо допустити, що піднесені блоки та антикліналі будуть відображені в підвищених та максимальних значеннях висоти сучасного рельєфу [152, 151–159]. З метою вивчення гіпсометрії рельєфу була використана цифрова модель рельєфу, яка складена за даними, що отримані з KA Space Shuttle.

2.8.5. Формування комплексу пошукових ознак та аналіз їх впливу на розміщення покладів вуглеводнів

Згідно з методикою робіт, яка була використана для прогносної оцінки перспективності району, спочатку оцінювалась наявність зв'язку між кожною з запропонованих ознак та об'єктами прогнозу. У якості об'єктів прогнозу використовувалися поклади ВВ, що виявлені свердловинами або контури відомих родовищ. Як вказувалось вище, об'єкти прогнозу були поділені на 4 групи в залежності від складу ВВ та глибини їх залягання. До першої групи віднесені нафтові поклади, що розташовані на глибинах від 1.8 до 2.7 км; до другої групи — газові та газоконденсатні поклади що залягають на глибинах 2.0–4.5 км; до третьої групи — газові та газоконденсатні поклади на глибинах 0.5–1.1 км; до четвертої групи — газові поклади на глибинах 0.25–0.5 км.

В результаті розрахунків, виконаних окремо для кожної з чотирьох груп об'єктів встановлено, що всі проаналізовані ознаки пов'язані з об'єктами прогнозу і тому можуть вважатися пошуковими ознаками, які слід використати при прогнозній оцінці перспективності району. Зв'язок між покладами та значеннями ознак носить складний характер. Більшість покладів усіх типів розташовуються в двох, рідше в одному чи трьох інтервалах значень ознак. Найбільша кількість об'єктів усіх типів пов'язана з пониженими або проміжними значеннями щільності лінеаментів усіх систем та вузлів перетину лінеаментів. В полі максимальних значень щільності лінеаментів розташовуються одиничні об'єкти.

Об'єкти різних типів відрізняються між собою за особливостями зв'язку зі значеннями щільності лінеаментів окремих систем. Найбільша кількість покладів нафти пов'язана з проміжними та пониженими значеннями щільності лінеаментів. В полях з максимальними значеннями щільності лінеаментів поклади нафти зустрічаються рідко.

Поклади газу та газоконденсату, що знаходяться на глибинах 2.0–4.5 км, розташовані переважно в полях з пониженими та проміжними значеннями

щільності. В полях з максимальними значеннями щільності лінеаментів усіх систем зустрічаються поклади ВВ, але їх менше, ніж в полях з низькими та проміжними значеннями щільності лінеаментів. Тільки в полях з максимальною щільністю лінеаментів субширотних систем розташовано близько половини покладів газу. Вірогідно, це пов'язано з характером деформацій по тріщинах цих систем.

Поклади газу та газоконденсату, що розташовані на глибинах 0.5–1.1 км, за характером розміщення в полях щільності лінеаментів усіх систем близькі до аналогічних за складом покладів, що розміщені на глибинах 2.0–4.5 км.

Поклади газу на глибинах 0.25–0.5 км відрізняються від об'єктів інших типів тим, що вони розташовані у межах одного інтервалу значень поля щільності лінеаментів усіх систем. Це можуть бути мінімальні чи проміжні значення поля щільності лінеаментів, поля з максимальними значеннями щільності лінеаментів несприятливі для розміщення покладів цього типу. Це зрозуміло, поклади газу залягають на незначній глибині. В цих умовах підвищена щільність розломів сприятиме руйнуванню покладів газу.

Характер зв'язку покладів ВВ зі значеннями щільності вузлів перетину лінеаментів аналогічне їх зв'язку з полями щільності лінеаментів різних систем. Найбільша кількість покладів ВВ розміщується в полях з проміжними та пониженими значеннями щільності вузлів перетину лінеаментів. Території, що характеризуються максимальними значеннями щільності вузлів перетину лінеаментів, не сприятливі для розміщення покладів ВВ усіх типів.

Виконаний аналіз функцій відношення правдоподібності засвідчив про наявність розбіжностей у розміщенні об'єктів прогнозу кожної з груп в полях різної щільності лінеаментів окремих систем. Це вказує на доцільність поділу об'єктів прогнозу на чотири групи. Тому прогнозну оцінку перспективності району було проведено окремо для кожного типу об'єктів. Зважаючи на те, що на розміщення покладів усіх типів мали вплив відібрані ознаки, при проведенні прогносної оцінки перспективності району необхідно було врахувати вплив усіх цих ознак. Це, в першу чергу, підвищить достовірність результатів прогносної оцінки перспективності району.

2.8.6. Прогнозна оцінка перспективності території району на пошуки покладів вуглеводнів

З метою врахування впливу усіх вказаних ознак на розміщення покладів ВВ кожного з чотирьох типів були побудовані чотири комплексні функції відношення правдоподібності. За допомогою цих функцій була отримана оцінка перспективності території району на пошуки покладів ВВ кожного типу

і побудовані відповідно 4 карти прогнозу перспективності району, рис.2.42.

Аналіз побудованих карт прогнозової оцінки перспективності території показав:

1) на всіх складених картах прогнозу перспективності, окрім карти прогнозу покладів газу, поля підвищених значень перспективності відзначаються невеликими розмірами. При цьому, для усіх типів покладів характерно, що чим вище значення перспективності території, тим меншу площу вона займає. Найбільш малі за розмірами поля підвищених значень перспективності на карті прогнозу покладів нафти, дещо

но, це обумовлено різними умовами локалізації цих покладів. Як відомо, поклади газу приурочені до антиклінальних складок, тоді як поклади нафти, газу та газоконденсату переважно контролюються розривними порушеннями різної орієнтації.

3) Порівняльний аналіз просторового розміщення ділянок з підвищеними значеннями перспективності на пошуки покладів нафти та газу і газоконденсату засвідчив, що у більшості випадків ці ділянки не перетинаються між собою не зважаючи на те, що часто вони розташовуються поруч. В окремих випадках перспективні ділянки на різні типи покладів як би

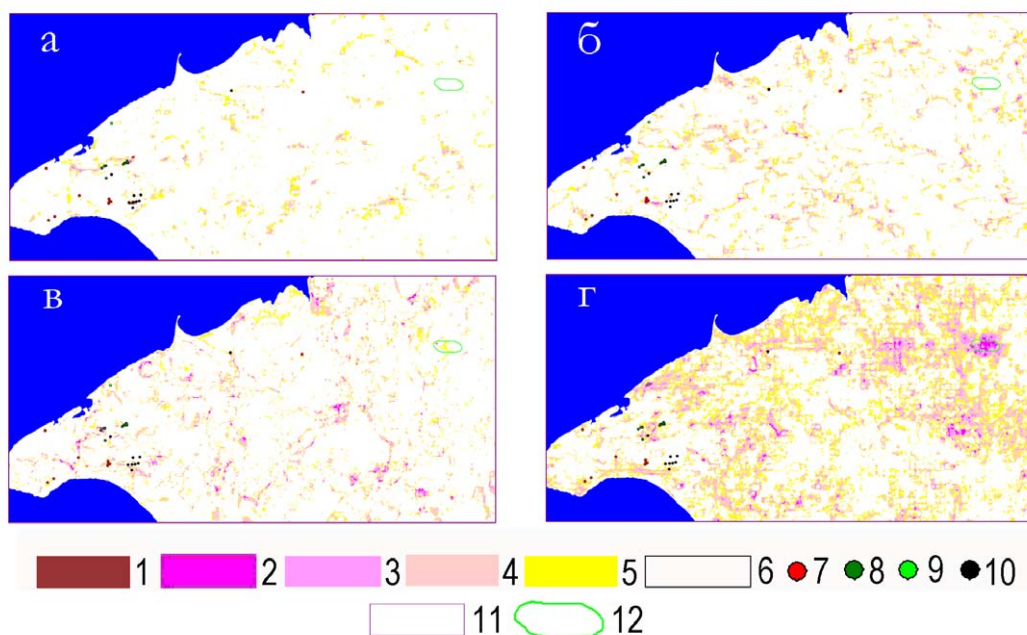


Рис. 2.42. Карты прогнозової оцінки перспективності території на пошук покладів: А) нафти; Б) газу та газоконденсату на глибинах 2.0–4.5 км.; В) газу та газоконденсату на глибинах 0.5–1.1 км.; Г) газу на глибинах 0.25–0.5 км.

1 — максимальна перспективність; 2 — висока перспективність; 3 — середня перспективність; 4 — низька перспективність; 5 — невизначена перспективність; 6 — безперспективна площа; 7 — свердловини, що виявили поклади газу та газоконденсату на глибинах 2.0–4.5 км; 8 — свердловини, що виявили поклади газу та газоконденсату на глибинах 0.5–1.1 км; 9 — свердловини, що виявили поклади газу та газоконденсату на глибинах 0.25–0.5 км; 10 — свердловини, що виявили поклади нафти; 11 — контур площі, на якій було дано прогноз нафтогазоносності; 12 — контур Джанкойського газового родовища

більші за розмірами вони на карті прогнозу перспективності району на поклади газу і газоконденсату, що залягають на глибинах 2.0–4.5 км. Ще більші за площею поля підвищених значень перспективності на карті прогнозу перспективності на пошуки покладів газу і газоконденсату, які розміщуються на глибині 0.5–1.1 км. На карті прогнозу покладів газу розміри полів підвищених значень перспективності значно більші, ніж на картах прогнозу інших типів покладів.

2) Поля підвищених значень перспективності відзначаються складною формою. Особливо складна вона на картах прогнозу покладів нафти та газу і газоконденсату. На цих картах поля підвищеної перспективності в цілому відзначаються витягнутою формою, але складаються вони з окремих фрагментів, що по різному орієнтовані. Дещо простіша форма перспективних полів на карті прогнозу покладів газу. Вірогід-

но, це обумовлено різними умовами локалізації цих покладів. Як відомо, поклади газу приурочені до антиклінальних складок, тоді як поклади нафти, газу та газоконденсату переважно контролюються розривними порушеннями різної орієнтації.

4) На користь різниці в умовах локалізації різних типів покладів засвідчив і факт, що коли на карту прогнозу покладів нафти були винесені точки навчання інших типів покладів, усі вони розташувалися в полях з безперспективними значеннями. Те саме відбулося в усіх інших випадках. В той час, як точки навчання на відповідних картах прогнозу характеризувалися підвищеними значеннями перспективності.

5) На усіх побудованих картах прогнозу розміщення локальних ділянок з підвищеними значення-

ми перспективності відзначається нерівномірним розподілом по площі робіт. Виділяються смуги з підвищеною кількістю таких ділянок, які мають різну ширину та протяжність. Найбільш чітко такі смуги виділяються на карті прогнозу покладів газу, а гірше всього на карті прогнозу покладів нафти.

Виділені смуги з підвищеною кількістю локальних перспективних ділянок не зустрічаються у місцях з максимальною або мінімальною щільністю лінементів, а розташовуються в місцях з проміжною щільністю лінементів. Тобто їх немає безпосередньо в зонах розломів, а також в місцях з низькою проникністю порід. Поклади ВВ розміщуються в умовах оптимальної тріщинної проникності порід.

б) На побудованій карті прогнозу перспективності території на пошуки покладів нафти, дивись рис. 2.42 А, виділились окремі, невеликі за розмірами локальні ділянки зі слабо підвищеними значеннями перспективності, які розміщуються по усій досліджуваній площі. Локальні ділянки складають дві слабо виражені смуги. Одна зі смуг північно-східного простягання розташована між Родніковським та Октябрьським родовищами на півдні та Північно-Серебрянською свердловиною №1 та Тетянівським родовищем на півночі. Друга смуга субширотного простягання вузька, коротка проходить через родовища Карловське та Глебовське. Обидві смуги розташовані в крайовій частині зон розломів відповідного простягання, що характеризуються проміжними значеннями щільності лінементів.

За даними проведених досліджень, в цілому район слід вважати мало перспективним на пошуки родовищ нафти. В подальшому, враховуючи незначні розміри площ виявлених родовищ нафти, доцільно повторно провести аналогічні дослідження з використанням космічних знімків більш високої просторової розрізненості.

7) Карта прогнозу перспективності території на пошуки покладів газу та газоконденсату на глибинах 2.0–4.5 км, дивись рис. 2.42 Б, відрізняється від карти прогнозу покладів нафти значно більшою кількістю невеликих за розмірами ділянок зі слабо підвищеними значеннями перспективності, які нерівномірно розташовані по всій території досліджуваного району. На карті виділяється три смуги розміщення підвищеної кількості перспективних ділянок. Перша смуга субширотного простягання розміщується на півночі району, безпосередньо на північ від Джанкойського та Тетянівського родовищ. Друга смуга північно-західного простягання знаходиться в районі свердловини №1 Північно-Серебрянська. Третя смуга субширотного простягання розміщується між двома родовищами: Ярилгацьким на півночі та Глібовським на півдні.

Враховуючи невеликі розміри площ з підвищеними значеннями перспективності та досить низькі значення їх перспективності ми не маємо підстав для виділення перспективних ділянок з метою по-

дальшого проведення робіт по пошуку покладів газу і газоконденсату на глибинах 2.0–4.5 км.

8) Карта прогнозу перспективності території на пошуки покладів газу та газоконденсату на глибинах 0.5–1.1 км, рис. 2.43, характеризується значно більшою кількістю локальних ділянок з підвищеною перспективністю та більш високими значеннями перспективності ніж карти прогнозу покладів нафти, газу та газоконденсату на глибинах 2.0–4.5 км. У межах району впевнено виділяється 3 ділянки, що характеризуються високими та максимальними значеннями перспективності та досить значними розмірами. Вони розташовані у центральній частині району. Одна з них розміщується на північ від Тетянівського газоконденсатного родовища, поблизу берега Каркінітської затоки — ділянка № 1, інші ділянки: № 2 та № 3 розташовані на південь та південний схід від Тетянівського газоконденсатного родовища.

На карті впевнено виділяються декілька смуг з підвищеною кількістю локальних перспективних ділянок різної орієнтації. Найбільш впевнено виділяється дві смуги субмеридіонального простягання. Одна зі смуг розташована в центральній частині досліджуваної території, в районі розміщення свердловини № 1 Північно-Серебрянська і перетинає територію всього району. Друга смуга розміщується на схід від свердловини №3 Тетянівського родовища. Ця смуга більш коротка ніж попередня, але відзначається більш високими значеннями перспективності, які досягають максимальних значень. У межах смуги розміщується найбільша за розмірами площа підвищених та максимальних значень перспективності. На південному заході району розташована смуга субширотного простягання, що включає Родніковське та Октябрьське родовища. В центральній частині південної половини району робіт розміщується смуга північно-східного простягання, вона відносно коротка, але в її межах значення перспективності досягають максимальних значень.

За результатами проведених прогнозних досліджень вказані вище 3 ділянки з високою перспективністю рекомендуються для проведення подальших досліджень. Перш за все доцільно було б продовжити прогнозні дослідження доповнивши дані лінементного аналізу матеріалами геофізичних робіт і тільки на підставі отриманих результатів вирішувати питання про проведення наземних досліджень.

9) Карта прогнозу перспективності території на пошуки покладів газу, що розташовані на глибинах 0.25–0.5 км, рис. 2.44, відрізняється від аналогічних карт інших типів покладів значно більшою площею локальних перспективних ділянок і більшою їх кількістю. Локальні перспективні ділянки характеризуються нерівномірним розміщенням по території району. Більше всього перспективних ділянок на півночі і північному сході території, а менш всього на півдні району.

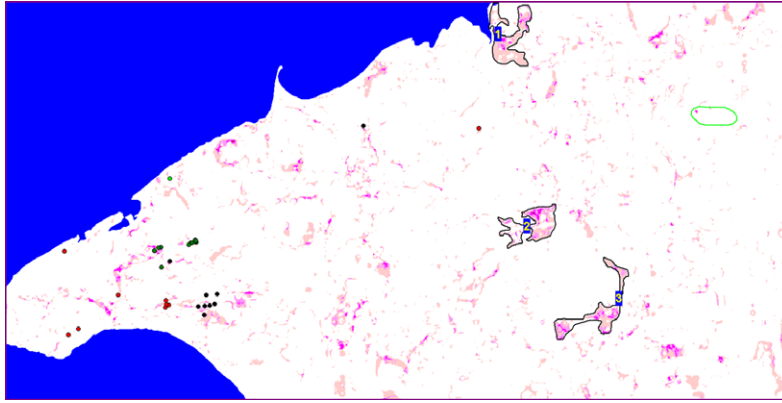


Рис. 2.43. Карта прогнозової оцінки перспективності території на пошук покладів газу та газоконденсату на глибинах 0,5–1,1 км

Найбільші за розмірами та значеннями перспективності локальні ділянки розміщуються на сході досліджуваної площі, у районі Джанкойського родовища — ділянка №1 та на захід і південь від нього ділянки № 2 та № 3. Ще одна перспективна ділянка № 4, але менша за розмірами, розташована на південь від Тетянівського родовища. На заході району розміщуються локальні ділянки переважно субширотного простягання, вони менші за розмірами та перспективністю ніж ділянки на сході району. Найбільша за розмірами на заході території перспективна ділянка № 5 розташована в районі свердловини № 1 Північно-Серебрянська. Менша за розмірами ділянка № 6 знаходиться в районі Ярилгацького родовища. Ще менші за площею та з більш низькими значеннями перспективності ділянки розміщуються в районі Карловсько-Глібовського родовищ ділянка № 7 та на південь від Родніковського та Октябрського родовищ — ділянка № 8. Ще одна перспективна ділянка № 9 розташована на південь від свердловини № 1 Північно-Серебрянська. Ця ділянка невелика за розмірами, має північно-західне простягання та відзначається відносно високими значеннями перспективності.

Як і на картах перспективності території на пошуки покладів інших типів ВВ, на аналізованій карті локальні ділянки підвищеної перспективності характеризуються розміщенням у вигляді смуг по різному орієнтованих у просторі, але вони виділяються більш впевнено. Найбільша за розмірами та за чіткістю проявлення є смуга субширотного простягання, що безперервно просліджується від Джанкойського родовища на сході до свердловини № 1 Північно-Серебрянська на заході. Крім того виділяється ще три смуги субширотного простягання, але вони мають меншу ширину, характеризуються більш низькими значеннями перспективності і просліджуються лише на західній половині району робіт. Одна з цих смуг проходить в районі розміщення Ярилгацького родовища, друга смуга проходить від Чорноморського родовища на заході далі на схід через райони Карловського та Глібовського родовищ. Ще одна вузька смуга розміщується на південь від Родніковського та Октябрського родовищ.

Окрім смуг субширотного простягання на сході району чітко видно субмеридіональну смугу, що розташована безпосередньо на захід від Джанкойського родовища. Смуга просліджується від північної до

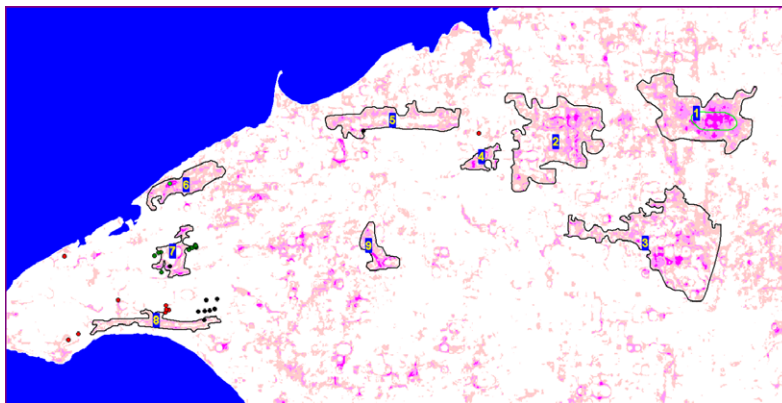


Рис. 2.44. Карта прогнозової оцінки перспективності території на пошук покладів газу на глибинах 0,25–0,5 км

південної межі району, але на півдні вона відзначається меншою шириною і більш низькими значеннями перспективності.

Крім описаних смуг в районі можливо виділити ще декілька смуг різного простягання, але всі вони мають меншу протяжність і характеризуються більш низькими значеннями перспективності.

На підставі аналізу складених карт прогнозу перспективності території у якості першочергових об'єктів для подальших досліджень рекомендовані 3 ділянки з підвищеними значеннями перспективності, які розташовані на сході району поблизу Джанкойського родовища, і дві ділянки на заході району — одна, що розташована в районі свердловини № 1 Північно-Серебрянська та невелика за розмірами ділянка північно-західного простягання. Усі інші перспективні ділянки слід розглядати у якості другорядних об'єктів проведення подальших досліджень.

Виходячи з аналізу складеної карти прогновної оцінки перспективності району на пошуки покладів газу, дивись рис. 2.44, район безперечно перспективний на пошуки нових покладів газу. З метою підвищення достовірності отриманих результатів прогнозу перспективності району доцільно продовжити прогнозні дослідження і провести комплексування даних дистанційних досліджень з результатами виконаних геофізичних робіт. Лише після цього, в залежності від отриманих результатів слід рекомендувати проведення подальших наземних досліджень.

Таким чином, отримані результати прогновної оцінки перспективності території Тарханкутського півострову на пошуки покладів ВВ за даними ДДЗ не суперечать наявній інформації про нафтогазонасність району. Район безумовно перспективний на пошуки покладів газу та газоконденсату. Підвищити надійність та достовірність отриманих результатів прогнозу дозволить їх комплексування з матеріалами геофізичних досліджень.

Висновки

Прогнозна оцінка перспективності території ДДЗ та Тарханкутського півострову Криму на пошуки покладів ВВ була виконана за матеріалами структурного дешифрування космічних знімків. Дослідження базувалися на використанні запропонованої методики лінеamentного аналізу та методики просторово-вірогідного прогнозу. В результаті проведених досліджень встановлено:

1) Усі ознаки, відібрані для прогновної оцінки перспективності території — поля щільності лінеamentів усіх восьми систем, поле щільності вузлів перетину лінеаметів і поле гіпсометрії сучасного рельєфу, виявилися інформативними для прогно-

зу покладів усіх типів, тобто усі вони є пошуковими ознаками.

2) Більшість об'єктів прогнозу пов'язано з проміжними значеннями пошукових ознак, а в полях з максимальними та мінімальними значеннями ознак не сприятливі для розміщення родовищ, в них виявлена незначна кількість об'єктів прогнозу. Інтервали проміжних значень щільності лінеamentів, до якого приурочені родовища, для кожної системи різні.

3) Карти прогновної оцінки перспективності території на пошуки покладів ВВ різного типу в ізолініях складені на підставі оцінки вірогідності їх зв'язку з усіма пошуковими ознаками за допомогою побудованих комплексних функцій відношення правдоподібності.

3) Більше 90% відомих родовищ ВВ на карт прогнозу ДДЗ і Криму розташовано в полях з підвищеними значеннями перспективності — значення функції відношення правдоподібності більшими 1.0. Родовища, які розташовані в полях з низькими значеннями перспективності, це переважно дрібні, у ряді випадках виключені з балансу. Найбільш високими значеннями перспективності охарактеризовані родовища, які мають найбільші запаси ВВ.

4) На картах прогнозу поля підвищених значень перспективності займають від 10 до 30% площі кожного з нафтогазонасних районів. Найбільшу площу вони займають у межах північного борту ДДЗ, який поки що найменш досліджений.

5) Розподіл значень перспективності у межах контурів відомих родовищ ВВ неоднорідний. Найбільш високі значення перспективності, у більшості випадках, розташовуються над склепінням складок. Ці дані доцільно використовувати для попередньої оцінки перспективності площ, рекомендованих для подальших досліджень та черговості їх проведення.

6) На складених картах прогнозу знайшли своє відображення особливості умов локалізації родовищ нафти, газу та газоконденсату в різних нафтогазонасних районах. За результатами проведених прогнозних досліджень виявлено ділянки для проведення пошукових робіт.

7) Отримані дані прогновної оцінки перспективності території ДДЗ та Тарханкутського півострова Криму на пошуки покладів ВВ засвідчили, що лінеamentний аналіз доцільно використовувати з метою прогновної оцінки перспективності території. Матеріали лінеamentного аналізу, згідно з запропонованою методикою, можливо використати у комплексі з даними геофізичних робіт в процесі кількісних прогнозних досліджень за комплексом ознак.