



УКРАЇНСЬКИЙ ЖУРНАЛ ДИСТАНЦІЙНОГО ЗОНДУВАННЯ ЗЕМЛІ

ONLINE
ISSN 2313-2132

9' 2016

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

УКРАЇНСЬКИЙ ЖУРНАЛ ДИСТАНЦІЙНОГО ЗОНДУВАННЯ ЗЕМЛІ

Ukrainian Journal of Remote Sensing

№ 9 • 2016

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

Головний редактор

академік НАН України В. І. Лялько



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

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

РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ

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

Секретар редакції О. В. Седлєрова / тел. + 380 44 484 04 85 / sedlerovaolga@gmail.com

Дизайн, верстка 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, 01601, м. Київ, МСП, вул. Олеся Гончара, 55-Б
тел. +380 44 486 94 05, 484 04 85; факс: +380 44 486 94 05, 486 14 30 / www.ujrs.org.ua

ЗМІСТ

Методи, засоби та технології обробки та інтерпретації аерокосмічної інформації

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЛИНЕАМЕНТНОГО АНАЛИЗА КОСМИЧЕСКИХ СНИМКОВ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ РУДНЫХ ОБЪЕКТОВ В ПРЕДЕЛАХ ВОСТОЧНО-АФРИКАНСКОГО РИФТА Б. С. Бусыгин, С. Л. Никулин	4
ЕВРИСТИЧНІ МЕТОДИ ОЦІНКИ ДІЛЯНОК НАФТОГАЗОПЕРСПЕКТИВНИХ ТЕРИТОРІЙ НА ОСНОВІ МІЖДИСЦИПЛІНАРНОЇ ІНТЕГРАЦІЇ АЕРОКОСМІЧНОЇ І НАЗЕМНОЇ ІНФОРМАЦІЇ (НА ПРИКЛАДІ ДНІПРОВСЬКО-ДОНЕЦЬКОЇ ЗАПАДИНИ) А. В. Хижняк, Т. А. Єфіменко, О. І. Архіпов, О. В. Томченко, К. Ю. Суханов, О. Д. Федоровський	12
AN APPROACH TO PREDICTION AND PROVIDING OF COMPRESSION RATIO FOR DCT-BASED CODER APPLIED TO REMOTE SENSING IMAGES R. A. Kozhemiakin, A. N. Zemliachenko, V. V. Lukin, S. K. Abramov, B. Vozel.	22

Використання інформації дистанційного дослідження Землі

ВИВЧЕННЯ ДИНАМІКИ СЕРЕДНЬОРІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ ВАЛОВОЇ ПЕРВИННОЇ ПРОДУКТИВНОСТІ ТЕРИТОРІЇ УКРАЇНИ ВПРОДОВЖ 2000–2010 РОКІВ В. І. Лялько, О. І. Сахацький, Г. М. Жолобак, О. А. Апостолов	30
ОЦІНКА ПРИРОДИ ТЕМПЕРАТУРНИХ АНОМАЛІЙ НА КОСМОЗНІМКАХ ЧОРНОГО МОРЯ О. О. Янцевич, А. І. Воробйов, А. М. Гейхман	36
Правила та рекомендації для авторів (ua, ru)	40

УДК 553.3/9 : 528.8

Использование линеаментного анализа космических снимков для прогнозирования рудных объектов в пределах Восточно-Африканского рифта

Б. С. Бусыгин*, С. Л. Никулин

Национальный горный университет (НГУ), Днепрпетровск, Украина

На примере части территории Восточно-Африканской рифтовой зоны выполнен прогноз рудных объектов на основе использования материалов линеаментного анализа космических снимков Landsat 8 и SRTM.

Установлено, что повышения качества прогнозирования можно добиться путём изучения не собственно линеаментов, а их деформаций — разрывов, резких перегибов, разворотов относительно типичных для всей земной поверхности направлений простирания (0, 45, 90, 135 градусов).

Показано, что карты, отражающие пространственную концентрацию деформаций линеаментов, могут успешно использоваться при геологическом прогнозировании методами Data Mining.

Ключевые слова: линеаментный анализ, космические снимки, геологическое прогнозирование, многомерное ранжирование, Восточно-Африканский рифт

© Б. С. Бусыгин, С. Л. Никулин. 2016

Введение

Активное развитие методов изучения геологического строения Земли из космоса открыло новые перспективы в области прогноза и поисков месторождений полезных ископаемых. Связаны они, в первую очередь, с возможностью оперативного изучения тектонического строения территорий и неотектонических движений по материалам спутниковых съемок, в предположении о влиянии глубинных процессов на компоненты ландшафта [9–10].

Одним из динамично развивающихся направлений исследований является анализ линейных элементов (линеаментов), выделяемых на космоснимках. Им соответствуют прямолинейные структуры рельефа, гидрографической сети и др., которые, в свою очередь, обычно связывают с особенностями строения земной коры — геологическими границами, разрывами и сетями трещиноватости. Практически всеми исследователями признано, что линеаменты существуют повсеместно на земной поверхности и образуют сети, укладываясь в некоторое количество (обычно 4, иногда больше) систем определённого азимута [1, 4, 6, 11 и др.]. В подавляющем большинстве случаев наиболее чётко проявляются линеаменты с азимутами 0, 45, 90, 135 градусов, которые формируют глобальную сеть [4].

Несмотря на то, что применению методов линеаментного анализа в задачах прогноза и поисков месторождений посвящено значительное количество работ, используемый в них методический подход сводится обычно к выявлению зон повышенной

концентрации линеаментов (всех, либо принадлежащих какой-либо системе), к которым, как полагается [3, 7, 12 и др.], приурочены залежи полезных ископаемых. В некоторых случаях это является справедливым, в особенности, когда рудные месторождения находятся геологически открытых районах и тесно связаны с активными разломами, чётко проявляемыми на снимках. В таких условиях повышенное количество выделяемых разломов действительно может рассматриваться как индикатор оруденения. Однако в целом данный подход представляется неверным. В литературе неоднократно подчёркивалось (и практический опыт авторов данной публикации это подтверждает), что линеаменты существуют повсеместно, а степень их проявления на снимках зависит от факторов, которые могут рассматриваться как помехи, — степень антропогенного воздействия, характер растительности и, в первую очередь, мощность осадочного чехла. В результате, строящиеся исследователями (обычно в автоматическом режиме) карты концентрации линеаментов, существенно коррелируют с мощностью осадочного чехла и зависят от других ландшафтных характеристик, слабо связанных с процессами образования месторождений полезных ископаемых.

Представляется, что теория и практика линеаментного анализа космических снимков в настоящее время продолжает пребывать в стадии становления, что, в совокупности с объективным характером их взаимосвязи с геологическим строением, открывает широкое поле для новых исследований. Описание одного из них приводится в данной работе.

* busygina@yandex.ru

Участок исследований и исходные данные

Целью проведенных работ было изучение характера пространственной взаимосвязи сети линеаментов и жильных рудных образований. При этом изучались и сравнивались разнообразные характеристики линеаментной сети с целью выделения таких, для которых указанная взаимосвязь была бы наиболее тесной. Для исследований использовались только материалы космических съемок, без привлечения данных геофизических съемок, материалы которых являются более дорогостоящими по сравнению с космическими снимками соответствующего масштаба и далеко не всегда доступны для изучения.

Исследования проведены на нескольких участках, в пределах которых установлены разнообразные проявления рудных ископаемых. Методика и результаты данных исследований базируются на примере участка площадью 2 500 км², находящегося на территории Демократической республики Конго, в районе озера Киву. Восточная и центральная часть участка расположена в пределах Восточно-Африканской рифтовой долины; западная — является окраиной впадины Конго. Исследуемая территория сложена геологическими образованиями палео- и мезопротерозойского возраста, с вкраплениями пород неопротерозоя и частично перекрыта неогеновыми отложениями. Здесь разведано несколько десятков месторождений олова, ниобия, тантала, вольфрама, золота, железа, а также залежи турмалина. Наибольшую промышленную ценность представляют залежи олова (касситерит), а также ниобий-танталовые (колтан) руды, которые обнаружены как в аллювиальных отложениях, так и в коренном залегании (жильных пегматитах протерозоя) [13].

Исследования проводились в среде геоинформационной системы РАПИД [5]. Исходными данными послужили мультиспектральные снимки Landsat 8 (рис. 1), а также материалы SRTM. Координаты известных месторождений приведены по данным Интернет-сервиса IPIS (<http://ipisresearch.be/mapping/webmapping/drcongo>).

Методика и результаты исследований

Вначале исходные снимки подвергали предварительной обработке — эквализации гистограмм, повышению контрастности и др. Далее на снимках в интерактивном режиме дешифрировали линеаменты и кольцевые структуры. Выделено 3 059 линеаментов и 502 кольцевых (дуговых) структур разного размера, степени сохранности и проявленности (рис. 2).

Далее, по результатам расчетов для всей совокупности линеаментов, а также для их отдельных систем строились карты, отражающие ряд характери-

стик: концентрацию (плотность) линеаментов в скользящих окнах разных размеров (300 × 300 м, 600 × 600 м, 900 × 900 м), количество встречающихся внутри окна азимутов линеаментов, различные соотношения между концентрациями линейных объектов разного азимута, концентрации точек пересечения разнонаправленных линеаментов и др. Для карты каждой из характеристик оценивался процент месторождений, попадающий в зоны её повышенных значений. Под повышенными значениями в данной работе понимаются превышающие 0, при условии, что все значения карты предварительно нормированы на удвоенный размах с последующим центрированием. Для этого каждое исходное значение X заменяется на

$$X' = 2 * (X - X_{\min}) / (X_{\max} - X_{\min}) - 1$$

где $X_{\min}$ и $X_{\max}$ — соответственно, минимальное и максимальное значения данной карты.

В при изучении карт линеаментной сети выявлен ряд закономерностей (которые справедливы и для ряда других участков земной коры, на которых авторами проводились соответствующие исследования). Как и на большей части земной поверхности, на изучаемом участке преобладают линеаменты двух ортогональных систем с азимутами 0/90 и 45/135 градусов. Так, из 3 059 линеаментов, выделенных в интерактивном режиме, 2 343 (77%) имеют азимуты в одном из диапазонов $0 \pm 11.25^\circ$, $90 \pm 11.25^\circ$, $45 \pm 11.25^\circ$ или $135 \pm 11.25^\circ$. Константа 11.25° вычисляется как отношения $180^\circ/16$ (рис. 3). Однако карта концентрации (плотности) 716-ти (23%) линеаментов, не попадающих в указанные диапазоны, за некоторыми исключениями, значительно лучше отражает пространственную взаимосвязь с известными месторождениями по сравнению с картой концентрации всех линеаментов (рис. 4). Так, на ней значительно меньше аномальных зон, которым не соответствуют известные месторождения, при том, что количество месторождений, приуроченных к положительным аномалиям, практически неизменно на обеих картах.

Вероятно, это связано с тем, что системы с азимутами 0, 45, 90 и 135 градусов формируют глобальную сеть, связанную с процессами планетарного масштаба [2, 4]. Образование же рудных залежей обусловлено локальными тектоническими процессами, проявляющимися на земной поверхности в виде линеаментов, которые имеют ориентировку отличную от глобальной.

Более того, принимая во внимание повсеместный характер линеаментной сети, несложно сделать вывод, что сама по себе её проявленность на изучаемом участке не может свидетельствовать о наличии или отсутствии месторождений. Более интересным представляется изучение деформаций “нормальной” сети, которые связаны с локальными процессами. “Развёрнутость” линеаментов по отно-

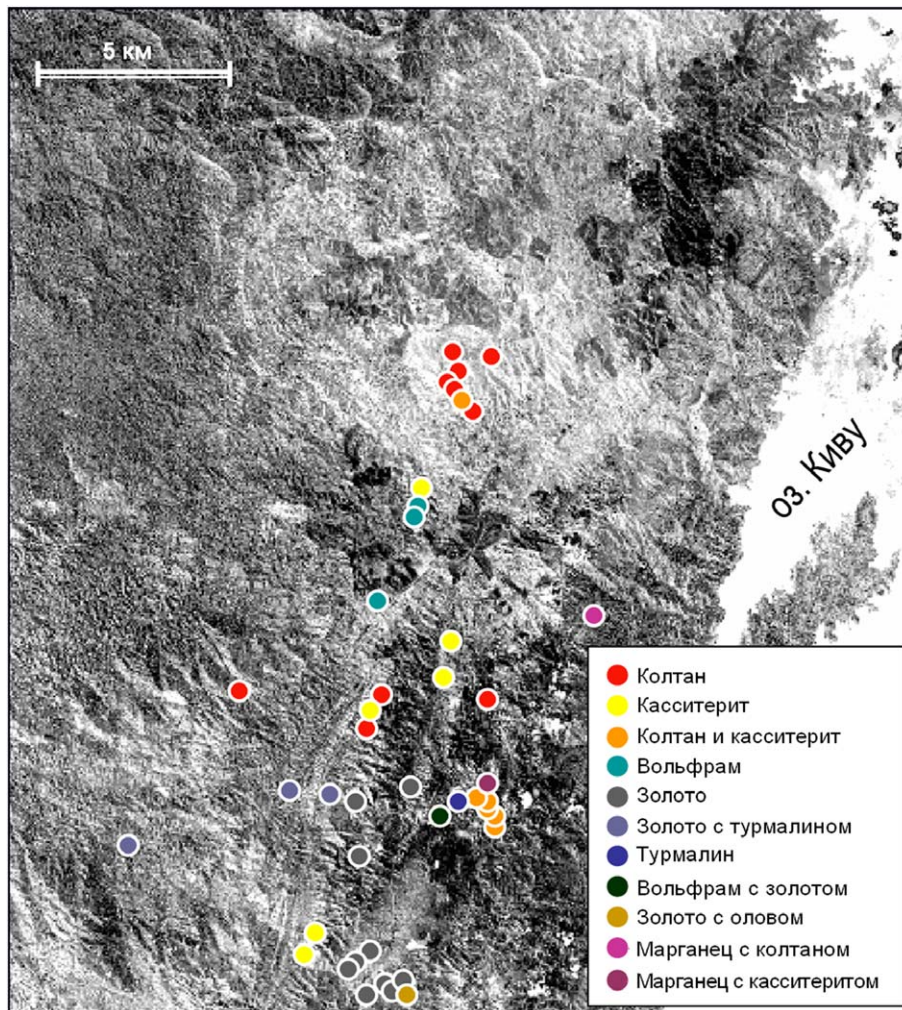


Рис. 1. Космический снимок исследуемой территории (Landsat 8, канал 5 с пространственным разрешением 30 м) и расположение известных месторождений



Рис. 2. Схема линейных (а) и кольцевых (дуговых) (б) структур

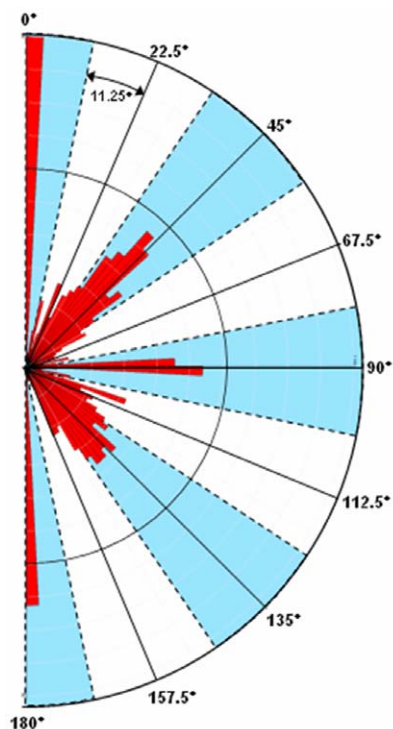


Рис. 3. Роза-диаграмма распределения азимутов линеаментов. Синим отмечены азимуты, характерные для глобальной сети линеаментов

шении к азимутам 0, 45, 90 и 135 градусов является одним из проявлений этих деформаций. Другим их проявлением следует считать наличие изломов и разрывов линеаментов. Исходя из этих соображений, была построена карта концентрации точек разрывов и резких изменений простирания линеаментов, не принадлежащих глобальной сети (рис. 5 а). На рисунке 5 б показана карта, представляющая сумму нормированных значений плотности линеаментов и скопления точек их изломов и разрывов. Как видно, месторождения тяготеют к участкам повышенных значений. Это не только подтверждает явную связь между установленными нами особенностями сети линеаментов и месторождениями, но и дает возможность использовать материалы линеаментного анализа для целей поисков и прогноза рудных месторождений. Так, приведенные на рис. 4 и 5 карты можно использовать как прогнозные; при этом зоны повышенных значений их характеристик можно оценивать как перспективные участки, подлежащие более детальному изучению. Однако при этом неизбежно возникает вопрос выбора какой-то одной из полученных карт (“наилучшей”), либо их “механического” объединения (что также порождает вопрос выбора “наилучшего” способа объединения).

В связи с этим более плодотворным представляется другой подход к применению полученных материалов, когда они совместно используются в качестве исходных данных при формировании мно-

гомерного пространства описанного в процедурах Data Mining — эталонной классификации, ранжирования, кластеризации и т. п. В этом случае территория разбивается на совокупность элементарных участков, соответствующих пикселям исходного снимка; каждому пикселу ставится в соответствие вектор значений, взятых с рассчитанных карт [8]. В рамках этого подхода построенные на предыдущих этапах карты использованы в процедуре ранжирования пикселей снимка по мере сходства с объектами эталонного класса. Последние представляли собой пиксели, пространственно совпадающие с проекциями части известных месторождений (31-го из 44-х) на горизонтальную плоскость. Пиксели, соответствующие остальным месторождениям, использовались как контрольные объекты, которые не участвовали в вычислениях, а применялись только для оценки качества результатов.

Для расчётов использованы следующие карты, полученные в результате применения методов линеаментного анализа:

- концентрации кольцевых структур (рис. 5 в);
- концентрации точек пересечения кольцевых и линейных структур;
- концентрации всех линеаментов;
- концентрации крупнейших линеаментов;
- концентрации линеаментов с азимутами, не характерными для глобальной сети;
- концентрации точек деформации всех линеаментов;
- концентрации точек деформации линеаментов с азимутами, не характерными для глобальной сети.

По результатам ранжирования получена карта, которая может рассматриваться как прогнозная, поскольку отражает перспективность обнаружения новых рудных объектов (рис. 6). Достоверность карты оценивалась с использованием 13-ти объектов контрольной выборки. Из них 12 попали в пределы участков, обладающих повышенными значениями сходства с эталонными, что позволяет оценить вероятность ошибки 2-го рода в 7.6%.

Ввиду отсутствия у авторов полевых материалов, позволяющих оценить вероятность ошибки 1-го рода, она оценивалась косвенно, путём изучения распределения значений получаемых прогнозных карт (рис. 7). Подробнее этот вопрос рассмотрен ниже.

Обсуждение результатов и выводы

1. При использовании для прогноза месторождений карты концентрации линеаментов весьма высока вероятность ошибки 1-го рода, поскольку площадь, занимаемая участками с высокими значениями концентрации, достаточно значительна (рис. 4 а). Ошибку можно значительно снизить, используя в качестве прогнозной карту концентрации линеаментов с азимутами, отличными от азимутов

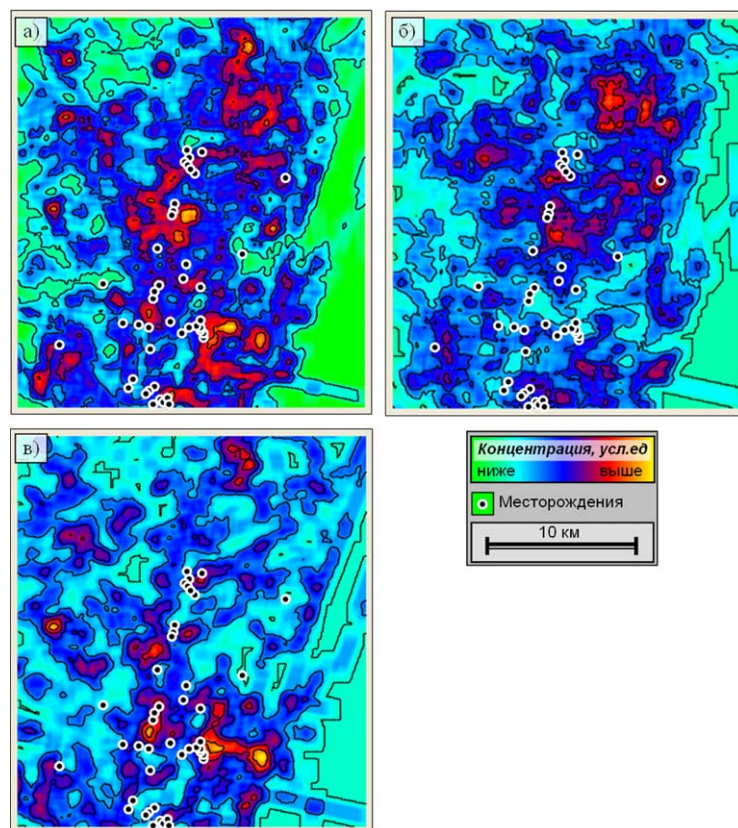


Рис. 4. Карты концентрации всех линейментов (а), линейментов глобальной сети с азимутами $0 \pm 11.25^\circ / 90 \pm 11.25^\circ$ и $45 \pm 11.25^\circ / 135 \pm 11.25^\circ$ (б) и линейментов прочих азимутов (в)

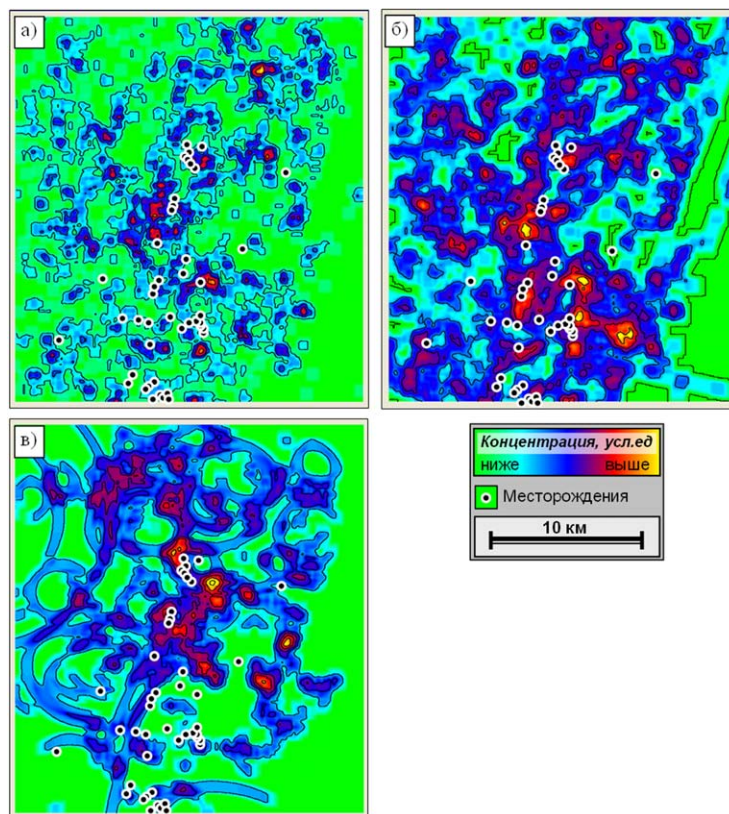


Рис. 5. Карта концентрации точек изломов и обрывов линейментов с азимутами, отличными от $0 \pm 11.25^\circ / 90 \pm 11.25^\circ$ и $45 \pm 11.25^\circ / 5 \pm 11.25^\circ$ (а), её объединение с картой 3 в (б) и карта концентрации кольцевых структур

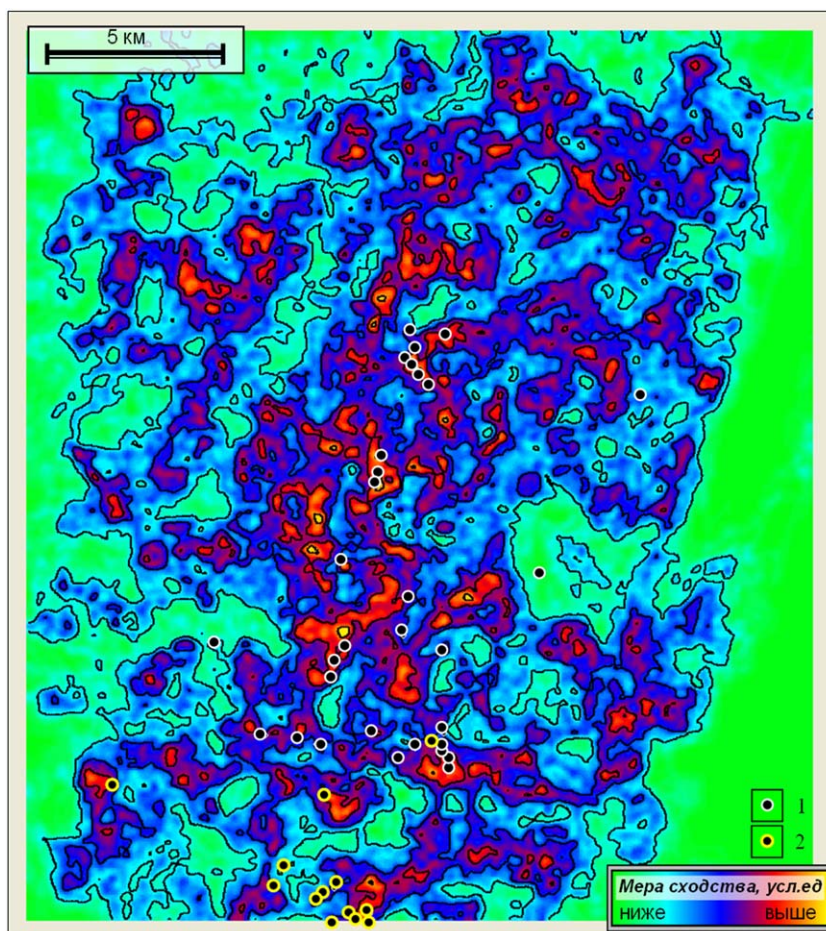


Рис. 6. Карта меры близости пикселей снимка по отношению к эталонным объектам (1 — центры объектов эталонной выборки; 2 — центры объектов контрольной выборки)

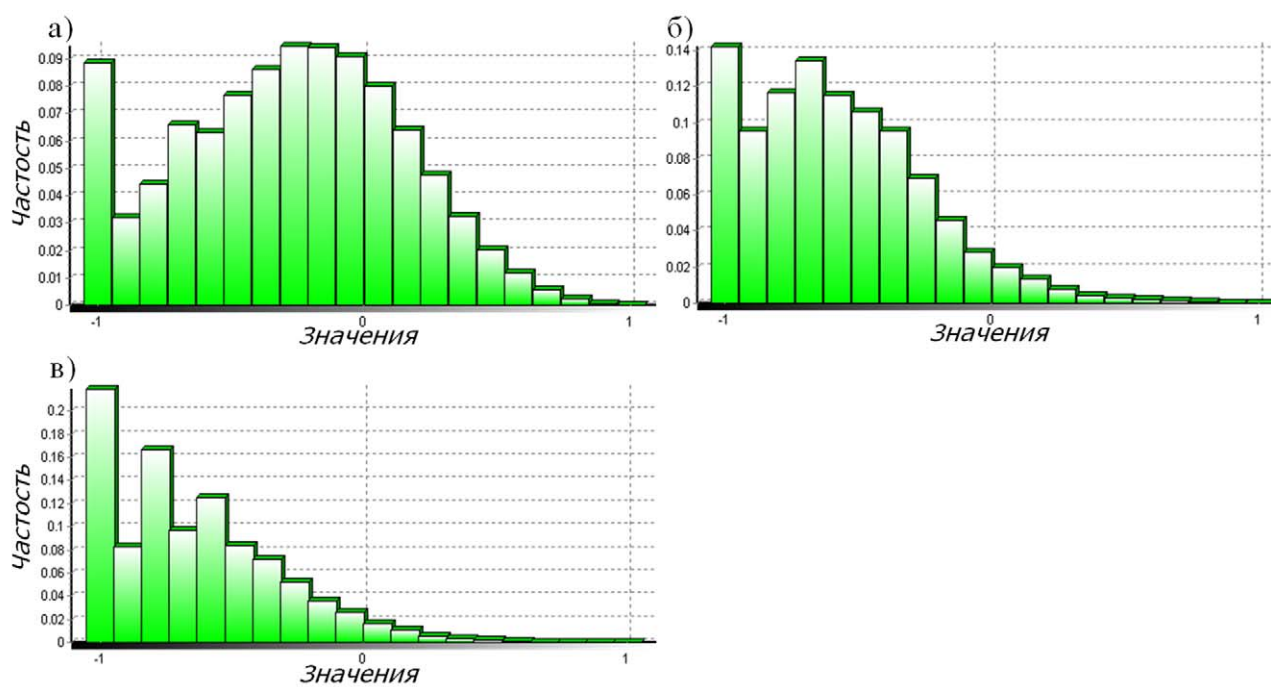


Рис. 7. Гистограммы нормированных значений карт концентрации: а) линеаментов всех азимутов; б) линеаментов с азимутами, не характерными для глобальной сети; в) деформаций линеаментов с азимутами, не характерными для глобальной сети

глобальної мережі (0, 45, 90 і 135°). Як следует из рис. 7, если условно пороговое значение, разделяющее перспективные и неперспективные пиксели, принять за 0, то при использовании карты концентрации всех линеаментов почти 30% территории следует признать перспективной. В случае же использования карты, представленной на рис. 4 в, перспективными будут считаться менее 10% территории. При этом вероятность ошибки 2-го рода, исходя из анализа карт 4 а и 4 в, изменяется несущественно и составляет, соответственно, 13,6 и 15,9%.

2. Лучших результатов можно добиться путём построения карт концентрации не самих линеаментов, а точек их деформаций (рис. 5 а). При её использовании процент площади, относимой к перспективной, снижается до 5% (рис. 7 в), а ошибка 2-го рода остаётся на уровне 15–16%.

3. Наименьших ошибок 2-го рода можно избежать в том случае, если созданные карты различных характеристик линеаментной сети используются совместно для формирования признакового пространства в процедурах Data Mining. Так, в результате ранжирования территории по мере её сходства с эталонными объектами-месторождениями, ошибка 2-го рода, оцененная по контрольной выборке, составила 7,6% (рис. 6).

В целом, анализ полученных результатов подтверждает принципиальную возможность достаточно достоверной оценки перспективности территорий на основе использования результатов линеаментного анализа космических снимков, даже без привлечения материалов геофизических съёмок.

Литература

1. Азімов О. Т. Дослідження диз'юнктивних дислокацій земної кори аерокосмічними методами (на прикладі регіонів України): автореф. дис... д-ра геол. наук / О. Т. Азімов. — К.: Ін-т геол. наук НАН України, 2008. — 37 с.
2. Анохин В. М. Опыт изучения закономерностей направленности и протяженности линеаментов и разломов в регионах / В. М. Анохин, Л. А. Маслов // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2015. — Вып. № 1 (25). — С. 7–18.
3. Анохин В. М. Связь локальных нефтегазоносных структур Баренцевого шельфа с разрывными нарушениями / В. М. Анохин // Доклады Академии наук. — 1999. — Т. 368. — № 6. — С. 790–793.
4. Анохин В. М. Строение и происхождение глобальной дизъюнктивной сети Земли: дисс. на соиск. научн. степ. д-р. геол.-мин. наук 25.00.01 / В. М. Анохин. — СПб. — 2007. — 206 с.
5. Бусыгин Б. С. Специализированная геоинформационная система РАПИД: структура, технология, задачи / Б. С. Бусыгин, С. Л. Никулин // "Геоинформатика", Киев. — 2016. — № 1 (57). — С. 22–37.
6. Верховцев В. Г. Новітні платформні геоструктури України та динаміка їх розвитку: автореф. дис. на здоб. наук. ступ. докт. геол. наук / В. Г. Верховцев. — К.: Інститут геологічних наук НАН України, 2008. — 36 с.
7. Корчуганова Н. И. Аэрокосмические методы в геологии / Н. И. Корчуганова / М.: Геокарт: ГЕОС, 2006. — 244 с.
8. Пивняк Г. Г. ГИС-технология интегрированного анализа разнородных и разноуровневых геоданных / Г. Г. Пивняк, Б. С. Бусыгин, С. Л. Никулин // Докл. НАН Украины. — 2007. — № 6. — С. 121–128.
9. Принципы геоинформационного обеспечения задач дистанционного поиска полезных ископаемых / М. А. Попов [и др.] // Ученые записки Таврического национального университета им. В. И. Вернадского, 2012. — Т. 25 (64). — № 1. — С. 77–190.
10. Спутниковые методы поиска полезных ископаемых / Под ред. акад. НАН Украины В. И. Лялько и докт. техн. наук М. А. Попова. Киев: Карбон-Лтд, 2012. — 436 с.
11. Ходоровский А. Я. Анализ зависимости количества выделяемых систем линеаментов от ширины интервала группирования / А. Я. Ходоровский, А. А. Апостолов // Доп. НАН України. — 2014. — № 9. — С. 79–85.
12. Crustal structures and mineral deposits: E.S.T. O'Driscoll's contribution to mineral exploration / Edited by J. A. Bourne & C.R.Twidale. — Australia: Rosenberg Publishing. — 2007. — 208 p.
13. de Wit, Maarten J. Geology and Resource Potential of the Congo Basin / Maarten J. de Wit, Francois. — Guillocheau. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. — 2015. — 445 c. — DOI 10.1007/978-3-642-29482-2

ВИКОРИСТАННЯ ЛІНЕАМЕНТНОГО АНАЛІЗУ КОСМІЧНИХ ЗНІМКІВ ДЛЯ ПРОГНОЗУВАННЯ РУДНИХ ОБ'ЄКТІВ У МЕЖАХ СХІДНО-АФРИКАНСЬКОГО РИФТУ

Б. С. Бусигін, С. Л. Нікулін

На прикладі частини території Східно-Африканської рифтової зони виконано прогноз рудних об'єктів на основі використання матеріалів лінеаментного аналізу космічних знімків Landsat 8 і SRTM.

Встановлено, що більш високої якості прогнозування можна домогтися шляхом вивчення не власне лінеаментів, а їхніх деформацій — розривів, різких перегинів, розворотів відносно до типових для всієї земної поверхні напрямків простягання (0, 45, 90, 135 градусів).

Показано, що карти, які відбивають просторову концентрацію деформацій лінеаментів, можуть успішно використовуватися при геологічному прогнозуванні методами Data Mining.

Ключові слова: лінеаментний аналіз, космічні знімки, геологічне прогнозування, багатомірне ранжирування, Східно-Африканський рифт

USING OF LINEAMENT ANALYSIS OF SATELLITE IMAGES FOR ORE OBJECTS FORECASTING WITHIN THE EAST AFRICAN RIFT

B. S. Busygin, S. L. Nikulin

In the work, on the example of the part of the East African Rift territory, the forecast of ore objects on the basis of lineament analysis of Landsat 8 and SRTM satellite images is executed.

It is identified that more quality prognoses can be achieve by studying not lineaments itself, but their deformations — gaps, intense bends, turns of the directions relatively 0, 45, 90, 135 degrees azimuths, which are typical for all terrestrial surface.

It is shown that maps reflecting spatial concentration of lineaments deformations can successfully be used for geological forecasting using Data mining methods.

Keywords: lineament analysis, satellite images, geological forecasting, multidimensional ranging, East African Rift

УДК 004.023:(553.98.041.003.1:528.8)(477)

Евристичні методи оцінки ділянок нафтогазоперспективних територій на основі міждисциплінарної інтеграції аерокосмічної і наземної інформації (на прикладі Дніпровсько-Донецької западини)

А. В. Хижняк *, Т. А. Єфіменко, О. І. Архіпов, О. В. Томченко, К. Ю. Суханов, О. Д. Федоровський
ДУ "Науковий центр аерокосмічних досліджень Землі Інституту геологічних наук НАН України", Київ, Україна

На основі генетичного алгоритму, аналітичних мереж та міждисциплінарної інтеграції аерокосмічної і наземної інформації різної фізичної природи і даних різної розмірності виконано оцінку нафтогазоперспективності ділянок Турутинсько-Рогінцівської зони структур Дніпровсько-Донецької западини для наступних нафтогазоперспективних робіт.

Ключові слова: нафтогазоперспективність, генетичні алгоритми, аналітичні мережі, лінементи; тектонічний розлом, неотектонічні блоки, морфометричні дослідження; структурне дешифрування, фотометрування, оптична аномалія

© А. В. Хижняк, Т. А. Єфіменко, О. І. Архіпов, О. В. Томченко, К. Ю. Суханов, О. Д. Федоровський. 2016

Вступ

Визначення перспективності територій в межах нафтогазоносних провінцій — складне завдання. Зараз пошуки покладів вуглеводнів (ВВ) виконують, інтегруючи інформацію, яку дають різноманітні методи дослідження глибинної геологічної будови. Такий науковий підхід називають мультидисциплінарним або міждисциплінарним [3]. При міждисциплінарному підході, крім використання різних дисциплін у рамках своєї професійної компетенції, можливо взаємопроникнення наук і взаємне їх збагачення теоріями і методами досліджень. При цьому можуть формуватися нові міждисциплінарні наукові області, наприклад, такі як синтез природних, соціально-гуманітарних та еколого-економічних наук; управління ризиками, сталий розвиток та ін. [2].

Особливості методології пошуку ВВ на основі дешифрування космічних знімків у комплексі з даними наземних спостережень полягає в тому, що аерокосмічне зображення є природним інтегратором інформації та відображає процеси, що відбуваються на поверхні, і в глибинних горизонтах. При цьому в методології пошуку вже присутній мультидисциплінарний підхід, так як рішення не може прийматися за однією ознакою, а вимагає багатокритеріальної оптимізації кількості показників, отриманих на основі інтеграції результатів багатьох досліджень [5].

Відомо, що над покладами ВВ утворюються осередки підвищених і понижених тектонічних напруг, які зумовлюють різкі коливання показників фізичних полів, інтенсивне перенесення тепла,

рідких і газоподібних флюїдів, а також окисно-відновні процеси в зонах аномально низьких значень механічних напруг, що ототожнюються з ділянками підвищених фільтраційних властивостей гірських порід. Окислення ВВ при міграції по таких ділянках супроводжує виділення енергії, зміна pH і Eh , що викликає перерозподіл хімічних елементів у системі вода–грунт, а також перехід реагуючих речовин (у тому числі ВВ, особливо ненасичених) з одного хімічного стану — у інший, з утворенням нових мінералів, зміна фізичних та мікробіологічних властивостей порід. Масштаби цих процесів визначають: структура полів напруги, характер геохімічних бар'єрів і мігруючих флюїдів, інтенсивність і тип міграції, темп тепломасообміну та інші особливості геологічної обстановки. Тому в зонах аномально низьких неотектонічних напруг формуються аномалії різних полів (табл. 1) [10].

Мета роботи — на прикладі нафтогазоперспективної території Дніпровсько-Донецької западини (ДДЗ) обґрунтувати можливість використання евристичних методів генетичного алгоритму та аналітичних мереж при оцінці і виборі ділянок території для наступних нафтогазоперспективних робіт на основі міждисциплінарної інтеграції аерокосмічної і наземної інформації.

Для цієї мети була вибрана Турутинсько-Рогінцівська зона структур, яка розташована у межах північної прибортової зони ДДЗ у Роменському районі Сумської області (рис. 1).

У тектонічному відношенні Турутинсько-Рогінцівська зона структур належить до Велико-Бубнівського структурного валу, що знаходиться в північно-західній частині північної прибортової зони Дніпровсько-Донецької западини, яка характе-

* E-mail: AVSokolovska@i.ua
тел.: 093 584 12 16

Таблиця 1.

Класифікація полів, які трансформуються у зонах мінеральних напруг земної кори (за Л. М. Зорькіним, О. Л. Кузнецовим, А. В. Петуховим, 1979 р.)

Клас полів	Група полів	Параметри (компоненти), які змінюються в зонах аномальних напруг
Фізичні	Електромагнітні	Швидкість електричних хвиль, напруженість поля, електричний опір, магнітна сприйнятливість, градієнти електромагнітних, електричних та магнітних полів
	Гравітаційні	Густина, локальний приріст сили тяжіння та їх градієнти
	Сейсмоакустичні	Швидкість повздовжніх та поперечних хвиль та їх коефіцієнти поглинання, інтенсивність акустичної емісії у гірських масив
	Радіаційні	Інтенсивність γ -випромінювань (α і β)
	Термобаричні	Тензори напруг, деформацій, орієнтовка та величина головних осей напруг, температура, тепловий потік, теплопровідність, теплоємність
Хімічні	Атомні	Концентрація ліофільних, нерадіоактивних та радіоактивних елементів
	Іонні	Концентрація аніонів та катіонів
	Молекулярні	Концентрації газів, неорганічних та органічних сполук, мінералів
Біохімічні	Мікрофлористичні	Специфічні бактеріальні популяції та сумчасті гриби, які окислюють ВВ
	Макрофлористичні	Зміщення періодів вегетації ряду вищих рослин, зміна забарвлення листків, квітів, стовбурів рослин, морфологічні зміни (гігантизм та ін.)
	Фітогеохімічні	Концентрації хімічних елементів та їх сполук у рослинах

ризується блоково-ступінчастою будовою фундаменту з поступовим зануренням блоків у бік осьо-вої частини западини [1].

Неотектонічна активність блоків фундаменту обумовила особливості формування рельєфу, про що свідчать сучасні інтенсивні гравітаційні процеси в межах цих блоків, та пряме відображення основних структурних елементів ДДЗ в рельєфі. Так, долина р. Ромен, яка простягнулася на ділянці Турутинсько-Рогінцівської зони структур з північного заходу на південний схід успадковує частину крайового розлому. Зони лінеamentів, які виділені за комплексом структурно-геоморфологічних ознак, та розділяють на блоки всю зону, можуть відповідати малоамплітудним розломам, або ж зонам підвищеної тріщинуватості в породах фундаменту і осадової товщі, також бути шляхами флюїдопровідності.

В рельєфі Турутинсько-Рогінцівська зона — це густо розчленоване ярами та балками лівобережжя та правобережжя р. Ромен в межах неогенової Новохарківської тераси з абсолютними відмітками від 160 до 187 м. Більш інтенсивне розчленування припадає на ділянки розташування родовищ. Це невеликі балки із значним розвитком бокових розгалужень, які ускладнюють схили ріки Ромен. Крупні, видовжені балки простягнулися майже паралельно напрямку долини р. Ромен. Сама долина уздовж свого простягання має майже однакову ширину та лише ускладнюється ділянками терасових рівнів, а у найбільш активних, з точки зору неотектоніки, місцях — досить значними конусами виносу.

Розмір площі, що досліджувалась — 540 км². Дослідження виконано у два етапи: на регіональному і детальному рівні. Спочатку територія була розділена на 139 елементарних ділянок розміром 2 × 2 км²

(рис. 2). Оскільки в межах Турутинсько-Рогінцівської зони структур існують родовища ВВ, є можливість на основі інформативних ознак їх ділянок сформувати компромісний склад ознак, значення яких максимально відповідають параметрам кожного з присутніх на території родовища ВВ.

Створення такого “узагальненого портрету” пов’язано з перебором усіх поєднань ознак, число яких в задачі синтезу компромісного варіанту (в залежності від кількості ознак і використаних ділянок родовищ) може досягати надзвичайно великих значень і при використанні методу прямого перебору стає громіздким завданням. Переконалися в цьому можна при аналізі рівняння:

$$N = \prod_{j=1}^m \sum_{r=bj \min(j)}^{bj \max(j)} b_{jr}^{(j)},$$

де b_{jr} — значення r -ого варіанту j -ї ознаки ділянки родовища ВВ; $b_{j \min(j)}$ і $b_{j \max(j)}$ — мінімальне і максимальне значення j -ї ознаки; $r = \min(j), 2, 3, \dots, \max(j)$; $j = 1, 2, \dots, m$; m — кількість ділянок родовищ (еталонних об’єктів).

У зв’язку з цим для скорочення процедури формування компромісного варіанту інформативних ознак наявності вуглеводнів і оцінки нафтогазоперспективності ділянок території скористаємося еволюційним принципом мікробіології, а саме *методом генетичних алгоритмів* (ГА).

Серед різних методів вирішення комбінаторних і оптимізаційних задач генетичні методи відносяться до класу евристичних методів пошуку квазіоптимальних рішень. За аналогією, механізм селекції переноситься на вирішення прикладних завдань у вигляді гіпотези, висунутої Холландом (Holland

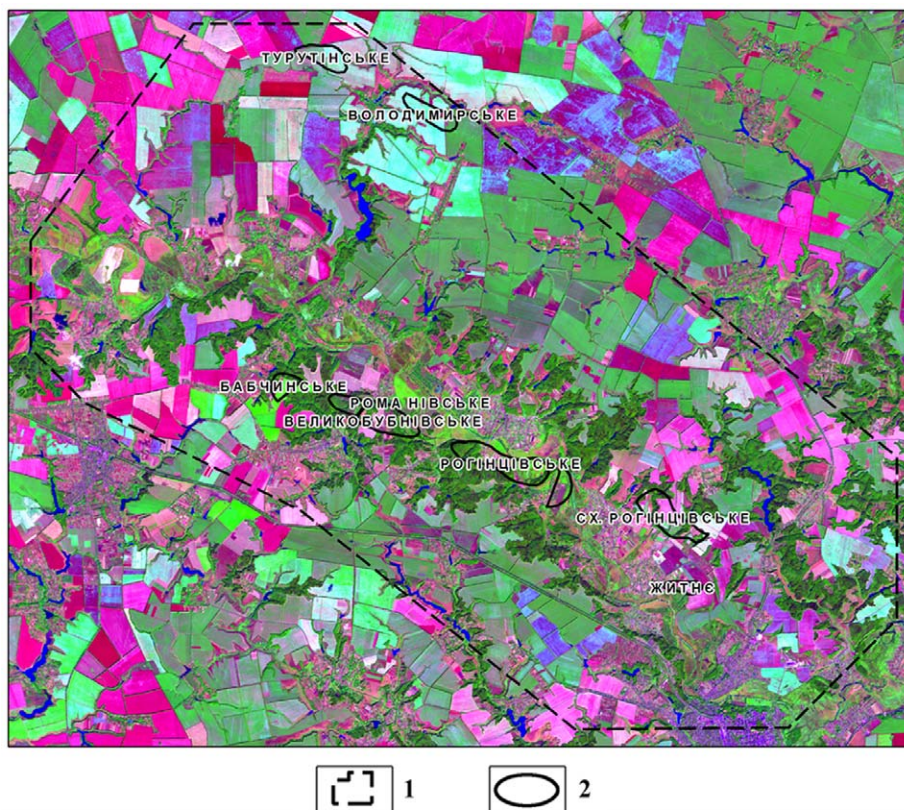


Рис. 1. Турутинсько-Рогінцівська зона структур. Фрагмент космічного знімку Landsat 8, 30.08.2015 р., (комбінація каналів 6, 5, 3).
1 — район дослідження, 2 — родовища вуглеводнів

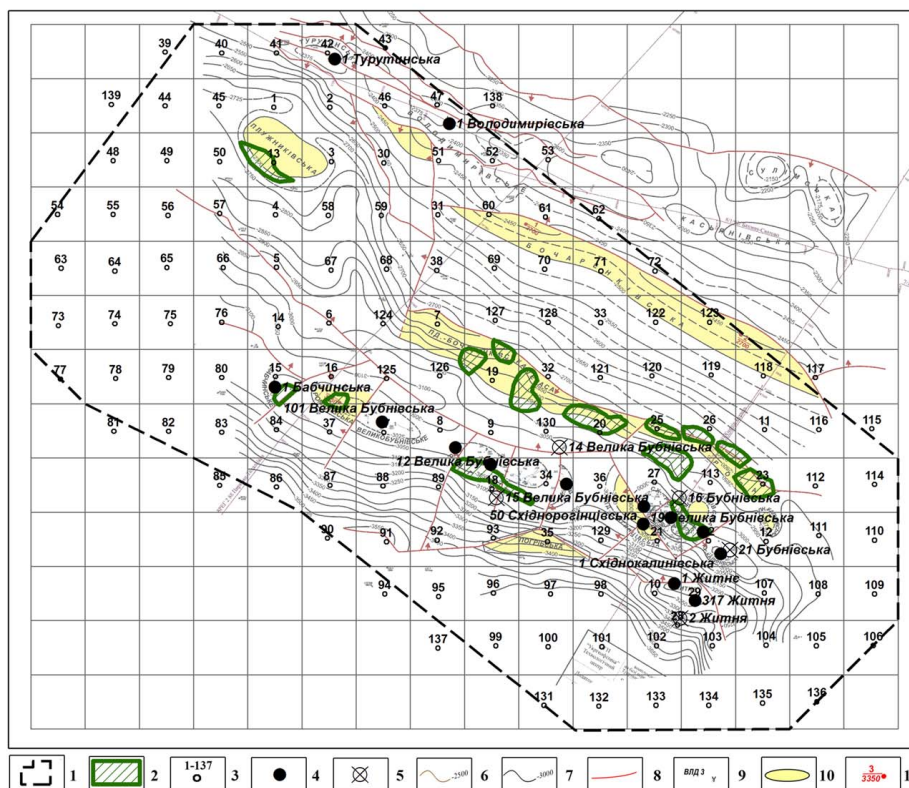


Рис. 2. Турутинсько-Рогінцівська зона структур. Структурна карта за горизонтами відбиття V_{2n} та V_3 з результатами попередніх аерокосмічних досліджень.
1 — район дослідження; 2 — оптичні аномалії; 3 — номер спостережень; 4 — продуктивні свердловини; 5 — непродуктивні свердловини; 6 — ізогіпси відбиваючого горизонту V_{2n} ; 7 — ізогіпси відбиваючого горизонту V_3 ; 8 — розривні порушення; 9 — свердловини глибокого буріння; 10 — перспективні об'єкти, що потребують подальшого вивчення; 11 — проектні свердловини

Jon H.) — хороші схеми рішень при схрещуванні народжують нові схеми більш високої якості [4]. У даному випадку запозичення з мікробіології еволюційних методів для математичного моделювання пошуку ВВ на основі генетичних алгоритмів є прикладом міждисциплінарного підходу у вирішенні технічних задач [11].

Завдання оцінки нафтогазоперспективності ділянок може бути сформульовано таким чином: наскільки об'єкт розпізнавання (ділянка досліджуваної території) схожий з узагальненим портретом родовища ВВ. Слід враховувати вплив різних процесів в нафтогазоносних комплексах, приповерхневих відкладах і в сучасних ландшафтах. Велику роль при цьому відіграють: глибина залягання і стратиграфічний рівень нафтогазоносності, гідрогеологічні особливості тощо.

При описі ГА прийнято використовувати термінологію, запозичену з молекулярної біології і генетики, що підкреслює аналогію з еволюційними процесами, які відбуваються у живій природі. Для вирішення різних прикладних задач вже створено велику кількість алгоритмів на основі моделювання властивостей генетичного апарату пристосування живих організмів до навколишнього середовища. У всіх ГА можна виділити основні етапи вирішення завдань. Методологічну основу ГА становить гіпотеза селекції, яка полягає в тому, що чим вище пристосованість особи, тим вище ймовірність того, що деяка частина потомства цього індивіду буде містити більш високі характеристики ознак, що визначають пристосованість. Еволюційні фактори в ГА реалізу-

ються відповідними обчислювальними процедурами, які значно скорочують кількість обчислень за рахунок відсіву неперспективних варіантів.

Перше покоління складу ознак генерується випадковим чином. До нього застосовуються операції схрещування і мутації для формування нових наборів ознак, до яких застосовують операцію селекції — у другому поколінні відбирають тільки найкращі за заданим критерієм (2). Після схрещування і мутації народжується третє покоління і так еволюція відбувається від покоління до покоління поки не настане стагнація, тобто кількість ознак кращого складу в поколінні перестане поліпшуватися (рис. 3) [4]. Це дозволяє за прийнятний час з безлічі поєднань інформативних ознак продуктивних свердловин сформувати “узагальнений портрет” нафтогазоносної ділянки у вигляді набору певних ознак.

Функція фітнесу для кожної X_r хромосоми:

$$FF(X_r) = \min_{l=1}^k \{F_{rl}\}, \quad (1)$$

$$F_{rl} = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m p_j G(b_{jr}, a_{jl}), \quad (2)$$

де

$$G(b_{jr}, a_{jl}) = 1 - S(b_{jr}, a_{jl})$$

$$S(b_{jr}, a_{jl}) = \frac{|a_{jl} - b_{jr}|}{|a_{jl}|},$$

де: F — функція приналежності; G — функція відповідності; S — функція близькості; k — кількість ділянок родовищ ВВ; $l = 1, 2, \dots, k$; m — кількість

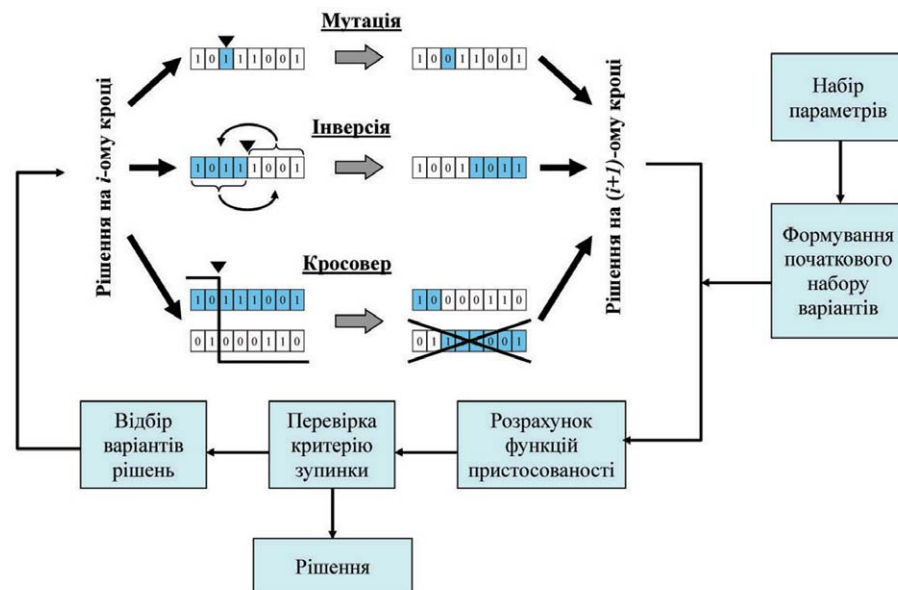


Рис. 3. Принцип роботи генетичних алгоритмів. Для всіх сформованих наборів (комплектів) значень ознак обчислюється функція фітнесу¹, за максимальним значенням якої вибирається компромісний варіант [9, 12]

¹ Функція фітнесу — функція пристосування, за допомогою якої оцінюється кожен із варіантів рішення поставленої задачі. В розглянутому в даній статті випадку для цієї цілі може бути застосовано вираз F (2)

інформативних ознак; a_{ji} — значення j -ї ознаки i -ї ділянки родовища ВВ; p_j — значення вагового коефіцієнта j -ї ознаки i -ї ділянки родовища ВВ, $j = 1, 2, \dots, m$; n — кількість сформульованих наборів (комплектів) значень ознак; b_{jr} — значення j -ї ознаки r -го варіанту набору значень ознак, $r = 1, 2, \dots, n$.

У межах Турутинсько-Рогінцівської зони структур було виявлено цілу низку родовищ вуглеводнів, які використані нами як базова інформація — еталонних об'єктів (ділянок родовищ ВВ): Бабчинське нафтогазоконденсатне, Великобубнівське та Володимирівське газоконденсатні, Східнорогінцівське, Житне та Турутинське нафтові родовища. Крім того у цій зоні розташовані структури, які, ймовірно, можуть бути продуктивними: Плужниківська, Пд. Бочаренківська, Горова, Пн. Рогінцівська, Пн. Калинівська, Погрібська, Романівсько-Бабчинська, Сх. Калинівська.

Для апробації зазначеної розробки були використані:

- топографічні карти масштабів 1:50000–1:100000;
- структурні карти масштабів 1:200000–1:25000 за різними відбивними горизонтами;
- матеріали багатозональних космічних зйомок;
- дані радарної топографічної зйомки (SRTM);
- основні відомості про нафтогазоносність еталонних родовищ та промислові дані щодо продуктивності свердловин, які пробурені в межах району досліджень (параметричні, пошукові, розвідувальні, експлуатаційні).

Для виявлення оптичних аномалій рослинності та ґрунтів (див. рис. 2) над прогнозними об'єктами, були використані матеріали багатозональної аерокосмічної зйомки. Час зйомки охоплював увесь період вегетації різних видів рослин і стан ґрунтів з метою встановлення періодів реєстрації оптичних аномалій, обумовлених покладами ВВ. Так, на Житній площі було використано результати космічної зйомки, що була проведена у травні, червні та наприкінці серпня. У цей період відбувається найбільш різка зміна фізіологічного стану рослинного покриву, і тому він може бути найінформативнішим (інтенсивність оптичних аномалій оцінена в відносних балах від 1 до 10).

Неотектонічно активні ділянки виділялися за наступними геоіндикаційними ознаками:

- аномально підвищені ділянки різних геоморфологічних рівнів;
- наявність аномально розташованих терасових рівнів у долині р. Ромен;
- аномальне зміщення русла р. Ромен;
- центробіжне розтікання яружно-балкової мережі;
- асиметрія схилів;
- розвиток донних врізів, молодих ярів та конусів виносу.

Вся територія Турутинсько-Рогінцівської зони структур за вище перерахованими ознаками була розбита на неотектонічні блоки, які були охарактеризовані в балах від 1 до 10 (рис. 4).

Крім того були використані тематичні схеми гравітаційного поля, залишкових аномалій гравітаційного поля, аномального магнітного поля, температур на зрізі –3500 та –5000 метрів, а також температур підшви свити C_{21} башкірського ярусу середнього карбону і підшви відкладів верхньовізейського підярусу нижнього карбону, геотермічної ступені, ізоспленд і палеотемператур верхньовізейсько-серпухівського нафтогазоносного комплексу. На рис. 5, як приклад, надані дві з них.

У результаті виконаного аналізу наявності у надрах ВВ для оцінки нафтогазоперспективності ділянок Турутинсько-Рогінцівської зони структур ДДЗ на регіональному рівні було вибрано наступні інформативні ознаки:

1. інтенсивність залишкових аномалій гравітаційного поля ($-16 \dots +4 \text{ мГал}$);
2. інтенсивність гравітаційного поля ($-5 \dots +2 \text{ мГал}$);
3. величина геотермічного ступеню ($20 \dots 40 \text{ м}^\circ\text{C}$);
4. інтенсивність магнітного поля ($-500 \dots 0 \text{ нТл}$);
5. температура на зрізі 3500 м ($140-180^\circ\text{C}$);
6. температура на зрізі 5000 м ($140-180^\circ\text{C}$);
7. температура підшви відкладів верхньовізейського підярусу нижнього карбону ($75-150^\circ\text{C}$);
8. неотектонічна активність блоків (1–10);
9. інтенсивність оптичних аномалій (1–10).

У табл. 2 надані інформативні ознаки окремих ділянок родовищ ВВ Турутинсько-Рогінцівської зони структур, а також результати обчислення значень функції приналежності F для цих ділянок.

На базі викладеного методу ГА була створена програма, за допомогою якої на основі характеристичних особливостей ландшафту над родовищами ВВ (табл. 2) отримано компромісний варіант комплексу інформативних ознак (по максимальному значенню функції $FF(X_r) = 0.865$) для оцінки нафтогазоперспективності ділянок Турутинсько-Рогінцівської зони структур ДДЗ на регіональному рівні (табл. 3).

Отримані інформативні ознаки порівнювали з характеристиками при класифікації кожної із 139 ділянок Турутинсько-Рогінцівської зони структур ДДЗ, шляхом послідовного обчислення функції приналежності F . На лінгвістичному рівні абстракції задача оцінки нафтогазоперспективності ділянки може бути сформульована таким чином: наскільки об'єкт розпізнавання відповідає компромісному набору ознак (в нашому випадку це ділянки досліджуваної території).

Для формалізації процесу автоматичного порівняння ділянок з компромісним комплектом ознак пропонується застосувати методологію класифікації дискретних об'єктів. Для цього були використані алгоритм і програма на основі *методу багатокритеріальної оптимізації* [8]. Для вирішення таких завдань використовуються алгоритми, які засновані на обчисленні оцінок, що складаються з наступних етапів: введення функції близькості порівнюваних вели-

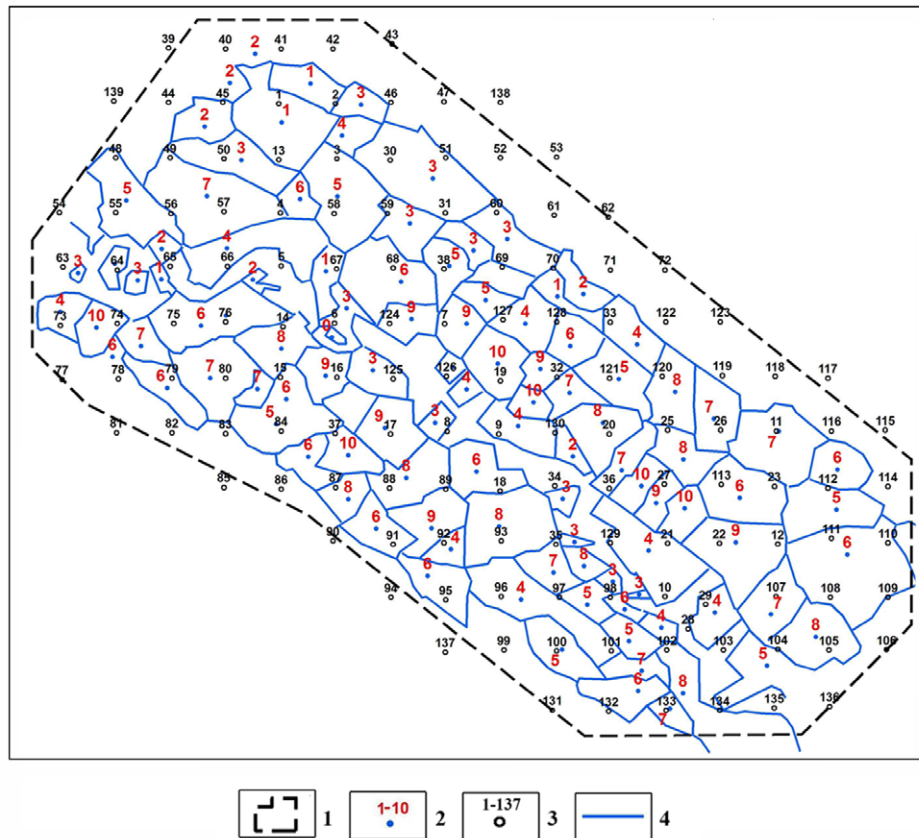


Рис. 4. Турутинсько-Рогінцівська зона структур. Схема відносної неотектонічної активності блоків у балах.
1 — район дослідження; 2 — ділянки спостережень; 3 — відносна неотектонічна активність в балах; 4 — контури неотектонічних блоків

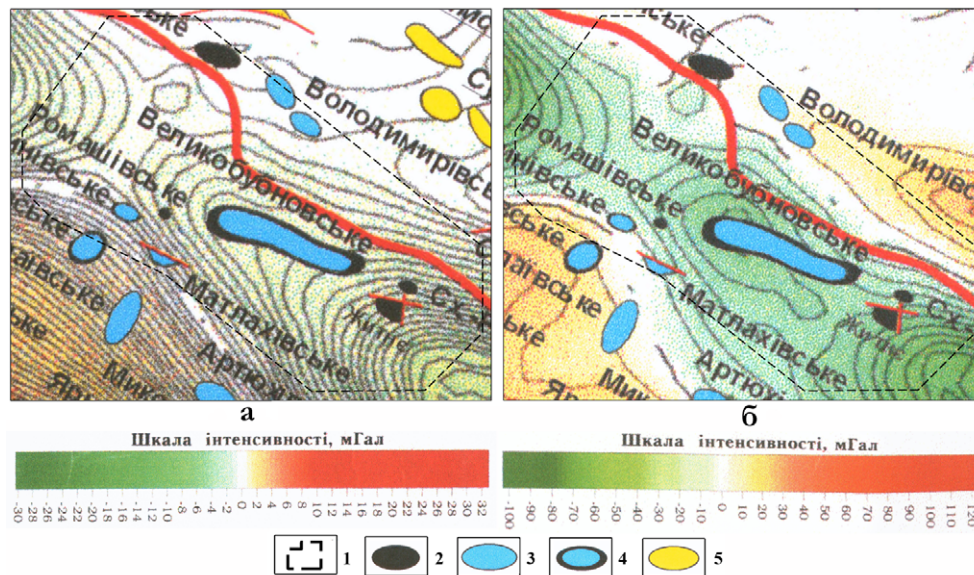


Рис. 5. а — фрагмент схеми гравітаційного поля; б — фрагмент схеми залишкових аномалій гравітаційного поля.
1 — територія дослідження; 2 — нафтові родовища; 3 — газоконденсатні родовища; 4 — нафтогазоконденсатні; 5 — структури, виведені з буріння з від'ємними результатами

чин — S , обчислення оцінки для функції близькості — функції відповідності — G , обчислення оцінок відповідності ознак досліджуваної ділянки території інформативним ознаками ділянки, прийнятого за еталон — функції приналежності F . Оцінка ступеня відповідності досліджуваної ділянки компромісному

комплекту ознак визначається автоматично за значенням функції приналежності.

Для позначення компромісних інформаційних ознак і досліджуваних ділянок використовується нумерація від 1 до m . Тоді $a = (a_1, a_2, \dots, a_j, \dots, a_m)$ — безліч компромісних інформаційних ознак, де a_j — j -та інфор-

Таблиця 2.

Інформативні ознаки ділянок родовищ ВВ

№ ділянок родовищ ВВ	Функція F (фітнес-функція)	Значення окремих ознак								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
21	0.81	-4	-10	45	-210	120	150	150	10	10
27	0.81	-2	-6	45	-215	100	145	80	8	9
22	0.83	-3	-9	45	-185	110	140	80	7	8
10	0.84	-5	-10	45	-200	100	145	100	5	6
16	0.82	-4	-3.5	40	-270	90	130	100	7	9
17	0.82	-5	-4	40	-275	150	140	110	7	9
18	0.82	-5	-5.5	40	-250	100	150	100	7	6
15	0.82	-3	-2	40	-260	100	130	95	6	9
29	0.81	-6	-12	40	-185	110	150	100	5	6
Вагові коефіцієнти		3	4	2	3	4	4	4	8	8

Таблиця 3.

Компромісні значення інформативних ознак оцінки нафтогазоперспективності ділянок

Ознаки*	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Значення ознак	-5	-9	40	-210	100	150	100	6	9

* номери ознак відповідають табл. 2.

мативна ознака ділянок родовищ ВВ, m — кількість інформативних ознак ділянок родовищ ВВ.

$Vc = (b_{c1}, b_{c2}, \dots, b_{cj}, \dots, b_{cn})$ — безліч характеристик досліджуваної ділянки, де b_{cj} — j -та інформативна ознака c -ї досліджуваної ділянки, n — кількість інформативних ознак досліджуваної ділянки, де $n = m$.

Тепер завдання класифікації ділянок за нафтогазоперспективністю може бути формалізовано як багатокритеріальна оптимізація m критеріїв, кожен з яких є функцією відповідності досліджуваної ділянки компромісному набору ознак.

На відміну від прямих методів, розрахованих на «однозначність» і «точність» відповідності різних за своєю природою аномалій покладів, які претендують на високу ефективність, даний підхід базується на сучасних уявленнях про нелінійний і нерівномірний характер процесів нафтогазонакопичення. Це обумовлює невизначеність локалізації покладів і математичну некоректність (в розумінні Ж. Адамара — А. Н. Тихонова) прямої та зворотної задач розвідувальної геофізики (пошукової геохімії) [8]. Отже, він може бути корисний, перш за все, при виборі перспективних ділянок для детальних геофізичних досліджень, ранжирування прогнозно-нафтогазонаосних площ при введенні їх у пошукове буріння, а також для екологічного моніторингу нафтогазовидобувних районів.

Результати оцінки нафтогазоперспективності ділянок Турутинсько-Рогінцівської зони структур ДДЗ на основі методу генетичних алгоритмів і міждисциплінарної інтеграції аерокосмічної і наземної інформації представлено на рис. 6. Відносна перспективність дослідних ділянок, представлена в градієнтних кольорах, значення яких пропорційно їх нафтогазоперспективності.

На другому етапі було виконано детальну оцін-

ку та вибір найбільш перспективної ділянки для подальших нафтогазоперспективних робіт на прикладі двох ділянок, які отримали на першому етапі найбільший бал за функцією приналежності F . Це здійснювали методом аналітичних мереж (МАН) [6, 7]. Вибір цього методу обумовлений тим, що МАН дозволяє обробляти більш різноманітні і складні структури з урахуванням залежності між рівнями і зворотними зв'язками між елементами рівнів, тим самим досягаючи більшої об'єктивності і достовірності в прийнятті рішень. МАН використовують для детального аналізу у випадках прийняття відповідальних рішень. У мережних задачах компоненти розглядаються як взаємодіючі об'єкти, які впливають один на одного щодо чітко сформульованого керуючого критерію. Будь-яке рішення в МАН представлене у вигляді орієнтованої мережі, на відміну від методу аналізу ієрархій (МАІ), де потоки спрямовані зверху-донизу.

Для визначення найбільш нафтогазоперспективних ділянок на основі МАН проводили структурування проблеми у вигляді мережевої моделі (рис. 7), на основі якої визначали взаємозв'язки між запропонованими альтернативами і узагальненими критеріями вибору.

Розглянемо більш детально процес оцінки і вибору території для нафтогазоперспективних робіт. В ході роботи ми використовували програмний продукт (ПП) Super Decision.

Розрахунок складався з трьох кроків.

Крок 1. У предметній області експерти визначали області пріоритетів за якими оцінюють кожну ділянку. Оцінку проводили за шкалою інтенсивності від 1 до 9, яка запропонована Т. Сааті [6].

Потім, в ПП Super Decision будували взаємозв'яз-

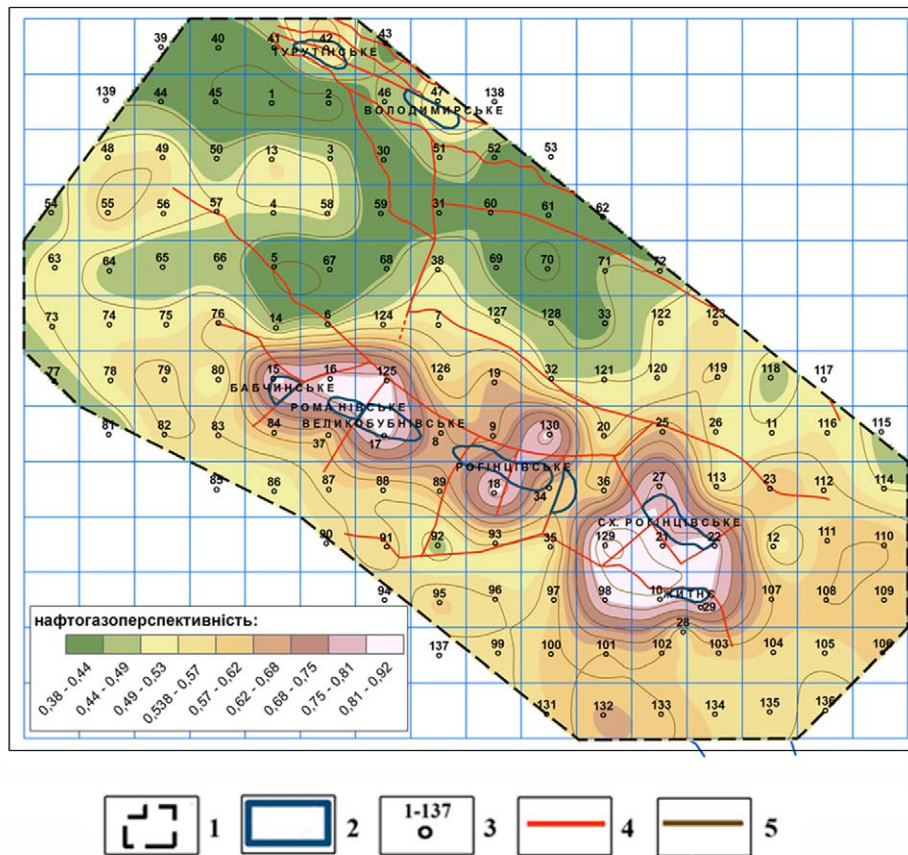


Рис. 6. Результат оцінки нафтогазоперспективності ділянок Турутинсько-Рогінцівської зони структур ДДЗ на основі метода генетичних алгоритмів і міждисциплінарної інтеграції аерокосмічної і наземної інформації.
1 — район дослідження; 2 — ділянки спостережень; 3 — родовища вуглеводнів; 4 — розривні порушення; 5 — ізолінії нафтогазоперспективності

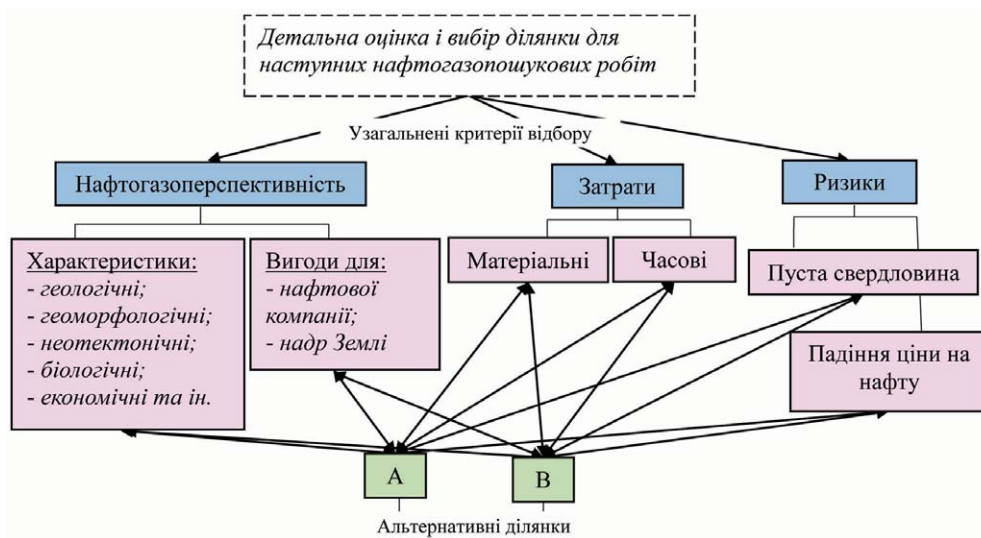


Рис. 7. Модель детальної оцінки і вибору ділянок території для нафтогазоперспективних робіт

ки між критеріями та альтернативами і по кожному вносили експертні оцінки (рис. 8).

Крок 2. Розраховували суперматриці і граничні матриці елементів взаємозв'язку. Визначали нафтогазоперспективність, затрати та ризики на кожній ділянці за окремими узагальненими критеріями (рис. 9).

Крок 3. Використовуючи стандартну адитивну (ймовірнісну) формулу (additive (probabilistic)) з урахуванням узагальнених критеріїв і експертних оцінок по пріоритетах вибраних критеріїв на основі кінцевого ранжування об'єктів отримали фінальні результати оцінки ділянок Турутинсько-Рогінцівської зони ДДЗ (рис. 10).

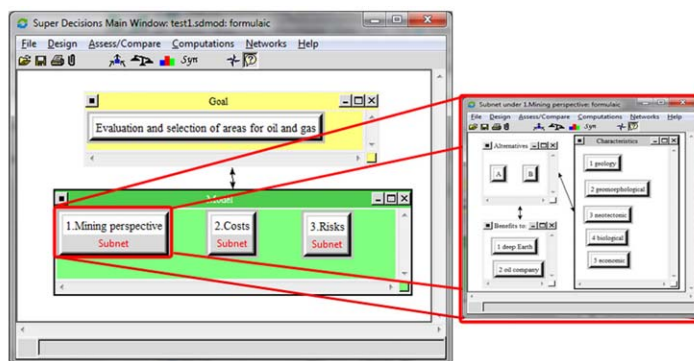


Рис. 8. Приклад побудови взаємозв'язків між критеріями та альтернативами в ПП Super Decision

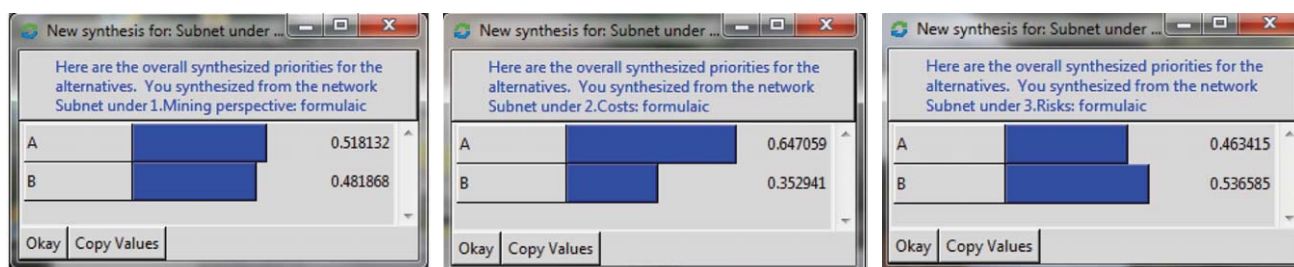


Рис. 9. Результати детального дослідження нафтогазоперспективних ділянок за окремими узагальненими критеріями: а — “Нафтогазоперспективність”; б — “Затрати”; с — “Ризики” в програмному вікні Super Decision

Висновки

На прикладі Турутинсько-Рогінцівської зони ДДЗ показано можливість використання евристичних методів генетичного алгоритму і аналітичних мереж для оцінки нафтогазоперспективності і вибору ділянок для наступних стадій розвідувальних робіт на основі міждисциплінарної інтеграції аерокосмічної і наземної інформації різної фізичної природи і даних різної розмірності.

На підставі отриманих значень фітнес-функцій для кожної з 139 ділянок із використанням програми ArcGIS 10.0 було побудовано схему нафтогазоперспективності ділянок Турутинсько-Рогінцівської зони структур ДДЗ (див. рис. 6). Так, Турутинсько-Рогінцівська зона структур ДДЗ в центральній своїй частині розділяється навпіл долиною р. Ромен з дещо аномально підвищеним лівим бортом, саме тут і розташовані найбільш неотектонічно активні блоки, які співпадають зі Сх. Рогінцівським родовищем (10 балів), Пн. Рогінцівською, Сх. Калинівською та Пд. Бочаренківською структурами (9–10 балів). У правобережній частині значення припадають на Великобубнівське родовище (9 балів). В неотектонічному плані досить значний інтерес представляє блок, розташований на південний захід від Великобубнівського родовища (10 балів).

На прикладі дослідження двох ділянок за максимальним значенням функції приналежності було показано можливість детальної оцінки нафтогазо-

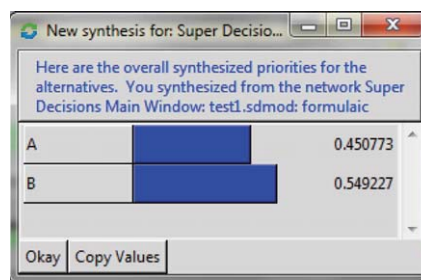


Рис. 10. Результати оцінки і вибору ділянок для подальших нафтопошукових робіт

перспективності території методом аналітичних мереж з врахуванням вигоди, затрат і ризику.

Отже: евристичні методи, генетичні алгоритми, аналітичні мережі, міждисциплінарна інтеграція аерокосмічної та наземної інформації дозволяє успішно оцінювати нафтогазоперспективність ділянок для наступних нафтогазопошукових робіт.

Література

1. Атлас родовищ нафти і газу України / За ред. М. М. Іванюти, В. О. Федішина, Б. І. Денегі, Ю. О. Арсірія, Я. Г. Лазарука. — Львів: УНГА, 1998. Т. 1–3. Східний нафтогазонасний район.
2. Козубцов И. Н. Междисциплинарная область знаний — как новая научная специальность / И. Н. Козубцов // Будущее технической науки: сборник материалов XI Междунар. молодеж. научно-техн. конф.;

- НГТУ им. Р. Е. Алексеева. — Нижний Новгород, 2012. — С. 409–410.
3. Междисциплинарные исследования в науке и образовании. Официальная страница электронного журнала “Междисциплинарные исследования в науке и образовании”. — [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://mino.esrae.ru/> — Дата обращения 08.04.2016. — Название с экрана.
 4. Норенков И. П. Генетические методы структурного синтеза проектных решений / И. П. Норенков // Информационные технологии. — 1998. — №1. — С. 9–13.
 5. Оцінка нафтогазоперспективності територій з використанням системного підходу та космічної інформації для наступної геофізичної розвідки / Т. О. Архіпова [та ін] // Геоінформ. — 2006. — № 3. — С. 40–45.
 6. Саати Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий / Т. Саати. — М.: Радио и связь, 1993. — 186 с.
 7. Саати Т. Принятие решений при зависимостях и обратных связях: аналитические сети / Т. Саати. — М.: Книжный дом “ЛИБРОКОМ”. — 2009. — 360 с.
 8. Федоровский А. Д. Параметрический синтез космических систем зондирования Земли на основе генетического метода / А. Д. Федоровский, М. В. Артюшенко, З. В. Козлов // Космічна наука і технологія. — 2004. — Т. 10. — № 1. — С. 54–60.
 9. Федоровский А. Д. Основные требования к параметрам космического аппаратного комплекса зондирования Земли / А. Д. Федоровский, С. А. Рябоконенко, З. В. Козлов З. В. // Доповіді НАНУ. — 2003. — № 7. — С. 118–122.
 10. Явление парагенезиса субвертикальных зонально-кольцеобразных геофизических, геохимических и биогеохимических полей в осадочном чехле diagenetic magnetite over oil fields // AAPG Bull. — 1979. — Vol. 6, № 2. — P. 236–254.
 11. Goldberg David E. Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning. USA: Addison — Wesley Publishing Company, Inc. 1989. — 315 p.
 12. Fang H. L. Genetic algorithms in timetabling and scheduling. A dissertation. Department of Artificial Intelligence University of Edinburg, Edinburg. 2000. — 153 p.

ЭВРИСТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ОЦЕНКИ УЧАСТКОВ НЕФТЕГАЗОПЕРСПЕКТИВНЫХ ТЕРРИТОРИЙ НА ОСНОВЕ МЕЖДИСЦИПЛИНАРНОЙ ИНТЕГРАЦИИ АЭРОКОСМИЧЕСКОЙ И НАЗЕМНОЙ ИНФОРМАЦИИ (НА ПРИМЕРЕ ДНЕПРОВСКО-ДОНЕЦКОЙ ВПАДИНЫ)

А. В. Хижняк, Т. А. Ефименко, А. И. Архипов, О. В. Томченко, К. Ю. Суханов, А. Д. Федоровский

На основе генетических алгоритмов и аналитических сетей, междисциплинарной интеграции аэрокосмической и наземной информации разной физической природы, а также данных разной размерности выполнена оценка нефтегазоперспективности участков Турутинско-Рогинцевской зоны структур Днепро-Донецкой впадины для будущих нефтегазоперспективных работ.

Ключевые слова: нефтегазоперспективность, генетические алгоритмы, аналитические сети, линеаменты; тектонический разлом, неотектонические блоки, морфометрические исследования; структурное дешифрирование, фотометрирование, оптическая аномалия

HEURISTIC METHODS OF ASSESSMENT OF SITES WITHIN OIL AND GAS PROSPECTIVE AREAS BASED ON INTERDISCIPLINARY INTEGRATION OF AEROSPACE AND SURFACE INFORMATION (AS EXEMPLIFIED BY THE DNIEPER-DONETSK BASIN)

A. V. Khyzhnyak, T. A. Efimenko, O. I. Arkhipov, O. V. Tomchenko, K. Y. Sukhanov, O. D. Fedorovsky

Based on genetic algorithms and analytical networks, interdisciplinary integration of aerospace and surface information of different physical nature and the data of various dimensions, the article provides estimation of oil and gas sites of the Turutinsko-Rogintsevska zone of the structures in the Dnieper-Donetsk Basin for future oil and gas exploration.

Keywords: oil and gas prospects, genetic algorithms, analytical networks, lineaments, tectonic fault, neotectonic blocks, morphometric study, structural interpretation, photometric measurements, optical anomaly

An approach to prediction and providing of compression ratio for DCT-based coder applied to remote sensing images

R. A. Kozhemiakin¹, A. N. Zemliachenko¹, V. V. Lukin^{1*}, S. K. Abramov¹, B. Vozel²

¹ National Aerospace University, Kharkov, Ukraine

² University of Rennes 1, Lannion, France

A novel compression ratio prediction and providing technique applicable to noisy and almost noise-free remote sensing images is proposed. It allows predicting and then providing a desired compression ratio for DCT-based coder in automatic manner. The proposed technique is algorithmically simple and has low computational complexity that allows using it onboard spaceborne or airborne carriers. The study is carried out for test and real-life Hyperion images. It is shown that the proposed technique has high accuracy and it is robust with respect to noise intensity and type. Relative error of prediction of providing compression ratio does not exceed 10%.

Keywords: remote sensing, DCT-based coders, compression ratio prediction, hyperspectral data

© R. A. Kozhemiakin, A. N. Zemliachenko, V. V. Lukin, S. K. Abramov, B. Vozel. 2016

Introduction

Nowadays, compression techniques become very important due to increasing amount of data acquired by new generations of remote sensing satellites, modern camcorders, cameras and other imaging processing systems [4, 7]. Wherein, acquired images typically contain spatial and spectral (for multichannel and hyperspectral images) redundancy [3, 21] and they should be transmitted via telecommunication channels and/or stored. Most lossless compression techniques cannot provide the compression ratio (CR) more than 3...5 times and even less if an image is highly textured and/or distorted by noise [19, 15].

Near-lossless or lossy compression techniques can provide a considerably higher CR (lossy techniques are able to produce CR values up to 100 or even higher) [14, 17] but the main question in compression of remote sensing data is how to provide a desired CR with acceptable image quality (according to standard criteria or visual quality metric)?

In the widespread JPEG image coder, there is a simple and not perfect option to control quality of a compressed image [16]. A low-quality image is associated with a smaller JPEG image size whilst for high-quality image a larger image size (smaller CR) is needed [11]. However, unfortunately, in the standard JPEG version, there is no possibility to provide a desired CR. A desired CR can be provided with the newer standard JPEG2000 or by the coder SPIHT [13] but the same bit rate for different images can result in different visual qualities. It is possible to use iterative procedures that presume image multiple compression/decompression with control of CR or other metric at each step [10]. An obvious disadvantage of such procedures is that they might require extensive computations.

Another way is to control CR or bit rate by some model parameter dependence of CR on quantization step or other model parameter [6, 5]. In this article, we focus on predicting CR and providing a desired CR for compressing noisy optical remote sensing images under assumption that lossy DCT-based coder AGU [12] is used.

General CR prediction technique

It is well known that a larger number of zeros in an image after applied orthogonal transform and coefficient quantization leads to a higher CR—this fact is met and used in many already designed lossy compression techniques [1].

The CR prediction technique proposed by us in [20] and modified below is based on this fact, too. We show that CR can be predicted based on input statistical parameter P_0 (percentage of zeros after DCT and quantization) computed in a set of 8×8 pixel blocks. In this way, it is possible to approximately estimate percentage of zeros in a transformed image that can be used as an input parameter of an analytical prediction curve. In other words, prediction implies that one estimates P_0 for a given image and then substitutes this parameter into already known dependence as argument. The output value is an estimate (prediction) of CR or bpp [20, 18].

Analytical prediction dependence can be obtained by curve fitting into a scatter-plot of pairs CR or bpp on P_0 computed for a large set of test images corrupted by noise for a used coder [18]. Examples of such scatter-plots and fitted curves for CR and bpp are given in Fig. 1 and 2.

A good prediction is possible if a scatter-plot is “compact” (its points are placed close to a fitting curve) and this curve is fitted properly. Then, fitting and prediction can be characterized by certain quantitative criteria (parameters) where goodness of fits R^2 [2] is, probably, one of the most often used ones. In the case

* E-mail: lukin@ai.kharkov.com

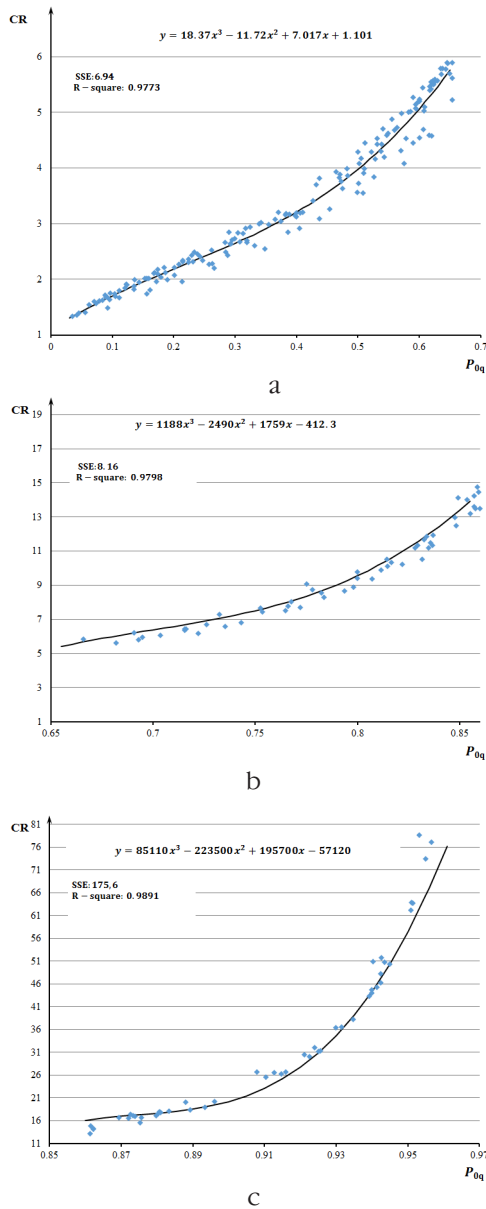


Fig.1. Scatter-plot of CR vs. P_0 for test images corrupted by AWGN with different values of noise variance with three variants of curve fitting for the coder AGU for the interval [0; 0.65] (a), for the interval (0.65; 0.85] (b), for the interval (0.85; 1] (c)

of compact scatter-plot and proper fitting R^2 tends to unity. In all the cases in Figures 1 and 2, R^2 exceeds 0.97. This means that fitting is good enough [2].

Note that prediction procedure should be accurate and fast enough. Accuracy is partly characterized by the aforementioned parameter R^2 and will be discussed below. In turn, computational load of prediction is low. One needs to have non-overlapping 8×8 pixel blocks with their total number about 500. If a given image size allows obtaining more non-overlapping blocks, 500 blocks can be chosen randomly. Then, availability of fast 2D DCT algorithms (implemented in software or hardware) allows prediction to be done considerably faster than compression (see additional details below).

There are certain assumptions and requirements

concerning formed scatter-plots and fitted curves. First of all, the arguments of a scatter-plot should cover entire range of possible variation of a considered input parameter. For the studied probability P_0 , this range is theoretically from 0 to 1. Second, this range should be covered quite densely and with approximately equal density in its subintervals to provide quite accurate fitting. These two requirements (recommendations) have been fulfilled by using a great number of test images of different complexity corrupted by additive white Gaussian noise (AWGN) of different intensity and compressed using a wide set of QS values.

Third, the fitted curve has to have reasonable (expected) behavior. In particular, from experience in [5, 20, 18, 9] one can expect that CR monotonically increases if P_0 becomes larger. Besides, CR should not be smaller than 1 for a prediction curve for P_0 approaching to 0.

These requirements have been taken into account in curve fitting into the scatter-plot CR vs P_0 . It occurred that fitting the only one (common) function for entire range of P_0 variation does not allow satisfying these requirements easily (exponential and polynomial functions have been tried). Therefore, we have divided the full range of P_0 variation into three intervals as shown in Fig. 1. This has allowed providing good fitting by quite simple third order polynomials with high values of R^2 for each interval.

Similar approach has been used for approximating the dependence of bpp on P_0 (Fig. 2). Clearly, bpp monotonically reduces if P_0 increases. Whilst the dependence for rather large P_0 is almost linear as in [5] for different orthogonal transform based compression techniques, the dependence is obviously nonlinear for P_0 smaller than 0.65. This has motivated us to use two intervals (see Fig. 2).

Consider now the parameter P_0 . Having Q analyzed 8×8 pixel blocks, the probability P_0 is determined as

$$P_0 = \frac{1}{63} \sum_{q=1}^Q \sum_{r=0}^7 \sum_{s=0}^7 \delta(q, r, s) \quad (1)$$

$$\delta(q, r, s) = \begin{cases} 1, & \text{if } |D(q, r, s)| < 2QS \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (2)$$

where $D(q, r, s)$, $r = 0, \dots, 7$; $s = 0, \dots, 7$; $q = 1, \dots, Q$; is rs -th DCT coefficient determined in q -th analyzed block of size 8×8 pixels.

Knowing P_0 for a given QS and an image to be compressed, one can predict CR or bpp quite accurately. However, often the task is not to predict CR or bpp but to solve slightly inverse task – to determine what QS to use in order to provide a desired CR or bpp.

Proposed methodology of providing a desired CR

In this research, we obtain and analyze data for the DCT-based coder AGU [12] that carries out image compression in non-overlapping 32×32 pixel blocks and

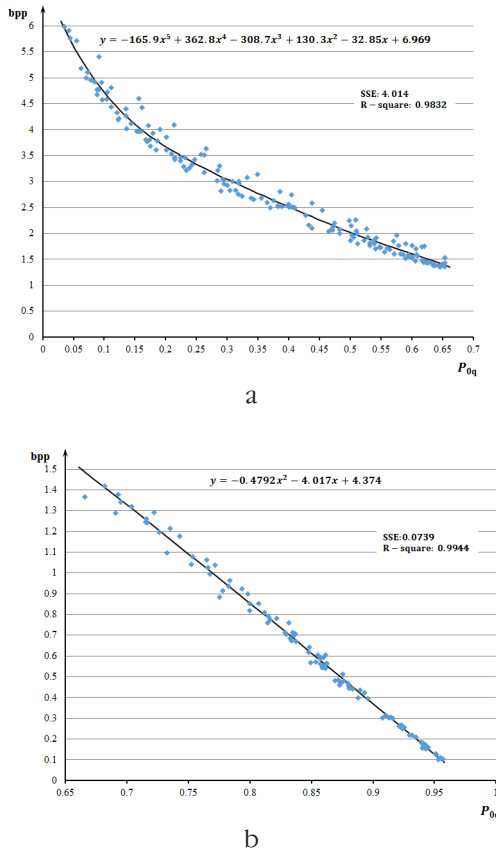


Fig.2. Scatter-plot of bpp vs. P_o for test images corrupted by AWGN with different values of noise variance with three variants of curve fitting for the coder AGU for the interval [0; 0.65] (a), for the interval (0.65; 1.0) (b)

deblocking after decompression. It performs better than JPEG and slightly better than JPEG2000 [12]. CR for AGU is controlled by QS – a larger QS results in a larger CR.

Below we describe the proposed methodology of providing a desired CR CR_{des} . It is the following (see the algorithm structure in Fig. 3 for the CR case). At the first step, DCT-coefficients are calculated for a chosen set of 8×8 pixel non-overlapping blocks (at least, 500).

At the second step, only the obtained positive DCT-coefficients are considered where block mean (DC) DCT coefficients (where $D(q, r, s)$, $q = 1, \dots, Q$) are excluded from analysis. Consideration of only positive DCT-coefficients takes into account the fact that AC DCT-spectrum is symmetrical (see examples of the histograms in Fig. 4) and then it becomes possible to work with its positive half for processing boosting. Thus, one constructs the positive AC DCT coefficient histogram and gets pairs V - F of DCT-coefficient values V ($V = 0, \dots, \max(V)$) and their frequencies F .

We have analyzed quite many test images, noise intensities, values of initial quantization step QS_o and ways to present histograms. Based on the obtained experience, we propose using histograms with integer values

for favoring the algorithm simplicity. For this purpose, the DCT-coefficients originally presented as floating point values are rounded to integers.

It should be noted that for providing the highest accuracy the rounding must be carried out to the nearest integer towards zero. After quantization, usual rounding to the nearest integer is performed. Next, quantize V with some QS_o and compute P_o (percentage of zeros) as

$$P_o = F(0) + 2 \sum_{V=1}^{V_{\max}} \frac{\text{if } \text{round}(F(V)/QS_o)=0}{63Q}, \quad (3)$$

where $F(0)$ denotes the first histogram row and contains number of zeros in all processing blocks; $F(V)$ denotes the number of other DCT-coefficients.

Then, compute (with a priori obtained prediction curve) a predicted CR using expressions (4), (5) and (6) (or bpp using expressions (7) and (8)) given below. For CR prediction, the dependence (for P_o range [0; 0.65]) is the following

$$CR_p(P_o) = 18.37 \cdot (P_o)^3 - 11.72 \cdot (P_o)^2 + 7.017 \cdot (P_o) + 1.1. \quad (4)$$

If $P_o \in (0.65; 0.85]$, then

$$CR_p(P_o) = 1188 \cdot (P_o)^3 - 2490 \cdot (P_o)^2 + 1759 \cdot (P_o) - 412.3. \quad (5)$$

And for $P_o \in (0.85; 1]$, the prediction curve is

$$CR_p(P_o) = 85110 \cdot (P_o)^3 - 223500 \cdot (P_o)^2 + 195700 \cdot (P_o) - 57120. \quad (6)$$

For the bpp case: if $P_o \in [0; 0.65]$, then

$$bpp_p = -165.9 \cdot (P_o)^5 + 362.8 \cdot (P_o)^4 - 308.7 \cdot (P_o)^3 + 130.3 \cdot (P_o)^2 - 32.85 \cdot (P_o) + 6.969, \quad (7)$$

and if $P_o \in (0.65; 1]$, then the approximation is

$$bpp = -0.4792 \cdot (P_o)^2 - 4.017 \cdot (P_o) + 4.374. \quad (8)$$

If the computed CR_p value is less than CR_{des} , then increase QS (decrease it vice versa) and compute P_o again. Operations are repeated until a desired value of CR is reached (see block-diagram in Fig. 3).

Accuracy of the described method and algorithm as well as its computational complexity depend upon several factors as how a histogram has been constructed, what is QS_o used, how QS is changed (what is its increment), what is a desired CR, what is complexity of an image to be compressed and noise intensity in it? Comparison of the DCT-coefficient histograms in Fig. 4 for two values of additive noise variance show that even for the same image (but different noise intensity) the distributions are quite different. Then, the

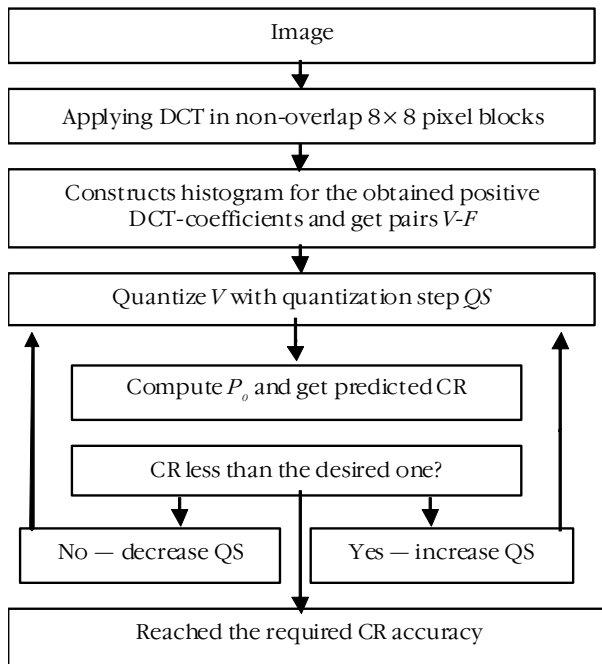


Fig.3. The proposed algorithm of desired CR providing

use of the same QS results in different P_o and, respectively, CR.

The peculiarity of the proposed methodology is that the described iterative procedure for CR providing does not require any compression/decompression of images and operates only with the histogram values V that have many times less size than the image size. In addition, the proposed methodology is very simple and has low computational complexity. Only arithmetic and logical operations are employed. The recommended start QS_o is equal to 20 for compressing images represented as 8-bit 2D data array.

Analysis of prediction accuracy for test images

Consider the situation for three standard test gray images typical for remote sensing (Fig. 5) distorted by AWGN with different noise variance values (they were in wide limits but below we study the results for variance values equal to 25 and 65). The obtained results for different QS are presented in Table 1.

Let us start from the simplest case of the simple structure test image Frisco (Fig. 5, c) corrupted by AWGN with variance 25. As it seen from analysis of the presented data, for all studied QS values the predicted value of CR is slightly less (by about 1.02 times or by 2%) than the practically attained CR. The situation is similar for bpp, predicted values are slightly larger than the corresponding actual ones. For the case variance = 65, the technique has provided accurate outputs for both CR and bpp and the largest relative estimation error is 13%.

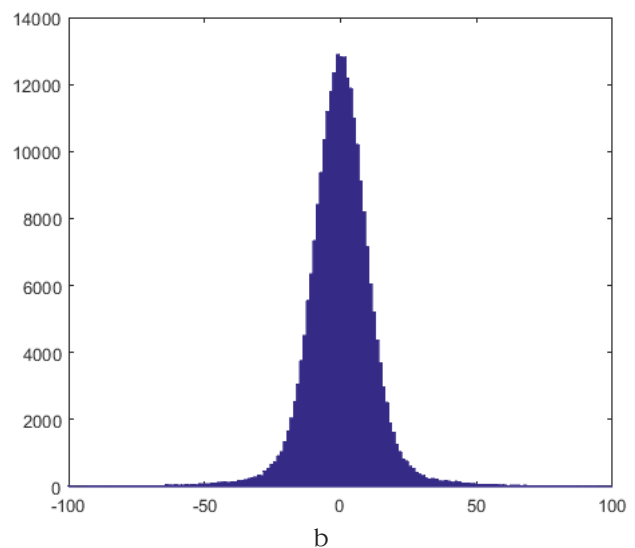
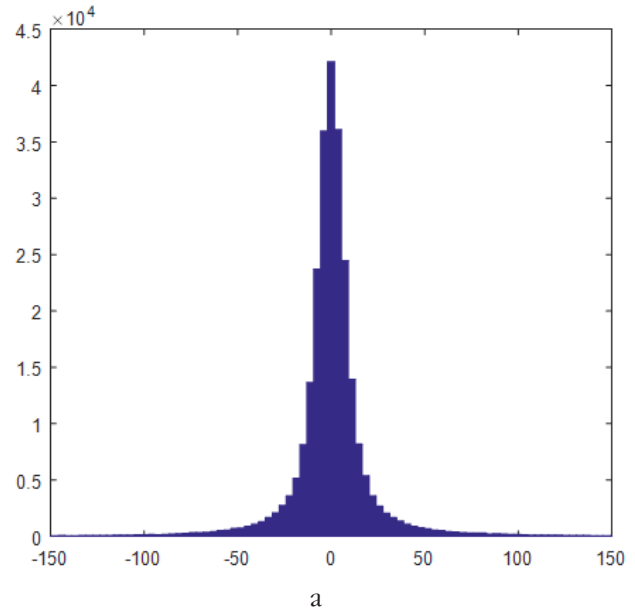


Fig. 4. Histogram of DCT-coefficients for image Aerial corrupted by AWGN with variance = 25 (a) and variance = 65 (b)

Consider now the case of more complex structure (textural) test images Aerial and Airfield (Fig. 5, a, b). For the test image Aerial (variance = 25), the predicted bpp value practically coincides with the values attained in practice. For the test image Airfield the largest difference is 6%. For CR case, the maximal relative error does not exceed 7%. For variance = 65 the obtained results are similar. It should be noted that the noise level does not affect the accuracy of predictions. It is confirmed by comparing the obtained results for two values of AWGN variance (Table 1). Meanwhile, the proposed approach is able to perform for other noise types as well (this has been checked by us). The reason is that the parameter P_o in no way takes noise type and variance into account and deals only with DCT coefficient statistics.



Fig.5. Test images (from left to right) Aerial (a), Airfield (b), Frisco (c)

Table 1

Obtained CR and predicted CR values for the considered test images

Image	QS	P_0	CR _{predicted}	CR _{real}	bpp _{predicted}	bpp _{real}
Variance = 25						
Aerial	10	0.40	3.21	3.18	2.50	2.52
	20	0.65	5.27	5.10	1.56	1.57
	30	0.76	7.95	7.81	1.04	1.02
Airfield	10	0.34	2.85	3.01	2.82	2.66
	20	0.59	4.93	4.61	1.65	1.74
	30	0.74	7.24	6.97	1.13	1.15
Frisco	10	0.52	4.16	4.29	1.93	1.86
	20	0.80	9.56	9.59	0.85	0.83
	30	0.89	18.56	19.04	0.42	0.42
Variance = 65						
Aerial	10	0.32	2.75	2.90	2.93	2.76
	20	0.55	4.47	4.36	1.81	1.83
	30	0.71	6.58	6.35	1.28	1.26
Airfield	10	0.29	2.60	2.82	3.10	2.84
	20	0.52	4.16	4.19	1.93	1.91
	30	0.69	6.19	5.83	1.37	1.37
Frisco	10	0.39	3.14	3.55	2.56	2.25
	20	0.67	5.80	5.90	1.47	1.36
	30	0.83	11.59	12.02	0.71	0.67

Analysis of prediction accuracy for real-life images

For verification of the considered approach, real-life Hyperion images have been used (Fig. 6). It should be noted that Hyperion images are corrupted by a more complex noise than AWGN [19]. In fact, the observed noise is the sum of signal-dependent and AWGN components. Besides, the original images are 16-bit data. Therefore, we have applied variance-stabilizing transform (VST) [8] with parameters based on pre-estimated noise parameters (signal-dependent (SD) and signal-independent (SI) parameters) that converts noise into additive and makes data dynamic range narrower (8-bit). For analysis, we have taken three images from two sets (image 1 and image 2 were cut from EO1H1800252002116110KZ set, the image 3 was cut from EO1H2010262004157110KP set) from the 221-th channel of these datasets.

The analysis of data presented in Table 2 shows the following:

- 1) for all images the predicted bpp values for QS = 5 are practically the same as the corresponding values obtained in practice;
- 2) for QS = 5 and QS = 10, relative errors of prediction do not exceed 8%;
- 3) for the CR values predicted for QS = 15, the prediction accuracy is also high and relative error does not exceed 2–3%;
- 4) for the QS = 5 and QS = 10 cases, the situation with predicting bpp is very similar.

Analysis of accuracy for desired CR providing

The goal of the iterative procedure described earlier is to find QS that satisfies specified accuracy



Fig.6. Real-life Hyperion images (Im1, Im2, and Im3 from left to right)

Table 2

Obtained CR and predicted CR values for Hyperion images

Image	QS	P_o	$CR_{predicted}$	CR_{real}	$bpp_{predicted}$	bpp_{real}
Channel (sub-band) № 221 (wavelength = 2365 nm), $SI_{variance} = 16$ $SD_{parameter} = 0.03$						
Im1	5	0.44	3.48	3.61	2.30	2.21
	10	0.68	6.40	6.25	1.42	1.28
	15	0.82	10.83	10.51	0.76	0.76
Im2	5	0.43	3.44	3.71	2.34	2.15
	10	0.69	6.24	6.53	1.37	1.22
	15	0.82	10.83	10.96	0.75	0.72
Im3	5	0.44	3.49	3.74	2.30	2.13
	10	0.70	6.57	6.63	1.33	1.20
	15	0.83	11.59	11.04	0.71	0.72

between desired and provided. There are several sources of errors. The first is in prediction using the fitted curves. As it follows from data in Fig. 1 and 2, CR for each image can slightly differ from a value predicted via approximation. Second, P_o can be estimated with some error due to limited number of analyzed blocks. Third, QS can be determined with some error. Errors due to the first source are predominant. To decrease the third source error, it is possible to determine QS better using two QS values that provide CR closest to its desired value (from both sides of final QS). To do this, we propose employing simple linear interpolation

$$QS_{ip} = QS_{ls} + \frac{QS_{dr} - QS_{pls}}{QS_{pbs} - QS_{pls}}(QS_{bs} - QS_{ls}), \quad (9)$$

where QS_{ip} is the final (interpolated) QS, CR_{dr} denotes the desired CR, CR_{pls} is the predicted CR computed from lower side of the desired CR for QS_{ls} , CR_{pbs} is the predicted CR value computed from the higher side of the desired CR for QS_{bs} .

Consider now the results obtained in this way. Let us start from the test image Aerial (corrupted by AWGN with noise variance 25) for which it is supposed necessary to provide, for example, $CR_{des} = 5$ (see data in Table 3). From the lower side of the desired value, we have obtained the predicted $CR_{pls} = 4.68$ for $QS_{ls} = 16$ whilst from higher side the predicted $CR_{pbs} = 5.19$ for $QS_{bs} = 17$. As a result, the use of the obtained interpo-

lated value $QS_{ip} = 16.63$ has provided $CR_{real} = 4.46$ (with relative error 12%). For the case of variance = 65, the relative error of the provided CR is less or equal to 8%. Parameters of the algorithm for other test images and the obtained data are given in Table 3. As it can be seen, the difference between the desired and provided CR values does not exceed 10%. For less complex image Frisco, the desired CR is provided with smaller value of QS. We have also obtained and considered the results for real-life Hyperion images. As it is seen from the analysis of data in Table 4, the proposed technique provides accurate CR values, too. For the chosen desired $CR_{des} = 7$, the designed method produce CR values with relative error less than 10%.

Conclusions

The automatic method of CR/bpp prediction for DCT-based coder AGU is described and verified for test and real-life Hyperion images corrupted by additive noise. It is shown that CR/bpp value can be predicted with high accuracy where relative error usually does not exceed 13%. Moreover, the algorithm for providing a desired CR is designed. It is also tested and shown to be accurate as well.

The proposed method is algorithmically simple and has low computation complexity. In future, we plan to consider more complex models of noise and multichannel images.

Table 3

Provided CR values with proposed technique for the considered test images

Image	Variance	QS _{ls}	QS _{hs}	CR _{pls}	CR _{phs}	QS _{interpolated}	CR _{des}	CR _{real}
Aerial	25	16	17	4.68	5.19	16.63	5	4.46
	65	30	31	6.78	7.19	30.54	7	6.47
Airfield	25	20	21	4.93	5.49	20.13	5	4.78
	65	32	33	6.63	7.14	32.73	7	7.67
Frisco	25	10	11	4.16	5.05	10.94	5	4.57
	65	22	23	6.80	7.51	22.28	7	6.65

Table 4

Provided CR values with proposed technique for Hyperion images

Image	QS _{ls}	QS _{hs}	CR _{pls}	CR _{phs}	QS _{interpolated}	CR _{desired}	CR _{real}
Im1	10	11	6.40	7.46	10.57	7	6.63
Im2	10	11	6.24	7.79	10.49	7	6.79
Im3	10	11	6.57	7.95	10.31	7	6.78

References

- Al-Chaykh O. K. Lossy compression of noisy images / O. K. Al-Chaykh, R. M. Mersereau // IEEE Transactions on Image Processing. — 1998. — Vol. 7 (12). — P. 1641–1652.
- Cameron C. An R-squared measure of goodness of fit for some common nonlinear regression models / C. Cameron, A. Windmeijer, A. G. Frank, H. Gramajo, D. E. Cane, C. Khosla // Journal of Econometrics. — 1997. — Vol. 77. — № 2. — P. 329–342.
- Chang C-I. Hyperspectral Data Processing: Algorithm Design and Analysis. First Editions / C-I. Chang // John Wiley and Sons, Inc. — 2013. — 1164 p.
- Christophe E. Hyperspectral Data Compression Tradeoff / E. Christophe // Optical Remote Sensing. Advances in Signal Processing and Exploitation Techniques, Springer. — 2011. — Vol. 8. — P. 9–29.
- He Z. A linear source model and a unified rate control algorithm for DCT video coding / Z. He, S. K. Mitra // IEEE Transactions, Circuits and Systems for Video Technology. — 2002. — Vol. 12 (11). — P. 970–982.
- Hsia S-C. A fast rate-distortion optimization algorithm for H.264/AVC codec / S-C. Hsia, W-C. Hsu, S-R. Wu // Signal, Image and Video Processing. — 2013. — Vol. 7 (5). — P. 939–949.
- Kozhemiakin R. Peculiarities of 3D compression of noisy multichannel images / R. Kozhemiakin, S. Abramov, V. Lukin, I. Djurovic, B. Vozel // Proceedings of Mediterranean Conference on Embedded Computing (MECO). — 2015. — P. 331–334.
- Murtagh F. Astronomical image and signal processing / F. Murtagh, J. L. Starck // Signal Processing Magazine, IEEE. — 2001. — Vol. 18 (2). — P. 30–40.
- Osokin A. N. Modified JPEG encoder with bit-rate control / A. N. Osokin, D.V. Sidorov // Online journal “Nauko-vedenie”. — 2013. — 9 p.
- Ponomarenko N. Image lossy compression providing a required visual quality / N. Ponomarenko, A. Zemliachenko, V. Lukin, K. Egiazarian, J. Astola // CD-ROM Proc. of the Seventh International Workshop on Video Processing and Quality Metrics for Consumer Electronics. — 2013. — 6 p.
- Ponomarenko N. ADCT: A new high quality DCT based coder for lossy image compression / N. Ponomarenko, V. Lukin, K. Egiazarian, J. Astola // CD ROM Proceedings of LNLA. — Switzerland. — 2008. — 6 p.
- Ponomarenko N. N. DCT Based High Quality Image Compression / N. N. Ponomarenko, V. V. Lukin, K. Egiazarian, J. Astola // Proceedings of 14th Scandinavian Conference on Image Analysis. — 2005. — Vol. 14. — P. 1177–1185.
- Said A. A new fast and efficient image codec based on the partitioning in hierarchical trees/ A. Said // IEEE Trans. on Circuits Syst. Video Technology. — 1996. — Vol. 6. — P. 243–250.
- Schowengerdt R. A. Remote Sensing: Models and Methods for Image Processing: Third edition / R. A. Schowengerdt // Academic Press, San Diego. — 2006. — 560 p.
- Skauli T. Sensor noise informed representation of hyperspectral data, with benefits for image storage and processing / T. Skauli // Optics Express. — 2011. — Vol. 19 (14). — P. 13031–13046.
- Wallace G. K. The JPEG still picture compression standard / G. K. Wallace // Commun. ACM. — 1991. — Vol. 34. — P. 30–44.
- Zemliachenko A. Lossy compression of noisy remote sensing images with prediction of optimal operation point existence and parameters / A. N. Zemliachenko, S. K. Abramov, V. V. Lukin, B. Vozel, K. Chehdi // Journal of Applied Remote Sensing. — 2015. — Vol. 9. — P. 095066–095066.
- Zemliachenko A. N. Compression ratio prediction in lossy compression of noisy images / A. N. Zemliachenko, S. K. Abramov, V. V. Lukin, B. Vozel, K. Chehdi // Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS), IEEE International. — 2015. — P. 3497–3500.
- Zemliachenko A. Lossy Compression of Hyperspectral Images Based on Noise Parameters Estimation and Variance Stabilizing Transform / N. Zemliachenko, A. Kozhemiakin, L. Uss, K. Abramov, N. Ponomarenko, V. Lukin, B. Vozel, K. Chehdi // Journal of Applied Remote Sensing. — 2014. — Vol. 8. — P. 1–25.

20. Zemliachenko A. Prediction of Compression Ratio in Lossy Compression of Noisy Images / A. Zemliachenko, R. Kozhemiakin, B. Vozel, V. Lukin // Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunications and Computer Science (TCSET). — 2016. — 3 p.
21. Zhare A. Foreword to the Special Issue on Hyperspectral Image and Signal Processing / A. Zhare, J. Bolton, J. Cnannusot, P. Gader // IEEE Journal on Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing. — 2014. — Vol. 7 (6). — P. 1841–1843.

МЕТОД ПРОГНОЗИРОВАНИЯ И ОБЕСПЕЧЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА СЖАТИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ДЛЯ КОДЕРОВ НА ОСНОВЕ ДИСКРЕТНОГО КОСИНУСНОГО ПРЕОБРАЗОВАНИЯ

Р. А. Кожемякин, А. Н. Земляченко, В. В. Лукин, С. К. Абрамов, Б. Возель

Предложен и описан новый алгоритм предсказания коэффициента сжатия изображений дистанционного зондирования для кодера, основанного на дискретном косинусном преобразовании. Предложенный алгоритм является полностью автоматическим и простым, он обладает низкой вычислительной сложностью, что позволяет использовать его как на борту аэрокосмического аппарата, так и в пункте приема и обработки сигналов. Исследование проведено как для тестовых, так и для реальных изображений гиперспектральной системы Гиперион. Показано, что предложенный алгоритм обладает приемлемой точностью. Погрешность предсказания и обеспечения коэффициента сжатия или bpr не превышает 10%, что обычно достаточно для практического применения. Предложенный алгоритм работоспособен при разных уровнях помех.

Ключевые слова: дистанционное зондирование, ДКП кодеры, предсказание коэффициента сжатия, гиперспектральные данные

МЕТОД ПРОГНОЗУВАННЯ ТА ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ КОЕФІЦІЄНТА СТИСНЕННЯ ЗОБРАЖЕНЬ ДИСТАНЦІЙНОГО ЗОНДУВАННЯ ДЛЯ КОДЕРІВ НА ОСНОВІ ДИСКРЕТНОГО КОСИНУСНОГО ПЕРЕТВОРЕННЯ

Р. О. Кожемякін, О. М. Земляченко, В. В. Лукін, С. К. Абрамов, Б. Возель

Запропоновано і описано новий алгоритм прогнозування коефіцієнта стиснення зображень дистанційного зондування для кодерів, заснованих на дискретному косинусному перетворенні. Запропонований алгоритм є автоматичним і простим, він має низьку обчислювальну складність, що дозволяє використовувати його як на борту аерокосмічного апарату, так і в пункті прийому і обробки сигналів. Дослідження проведено як для тестових, так і для реальних зображень гіперспектральної системи Гіперіон. Показано, що запропонований алгоритм має прийнятну точність. Похибка передбачення та забезпечення коефіцієнта стиснення або bpr не перевищує 10%, що зазвичай достатньо для практичного застосування. Запропонований алгоритм працездатен при різних рівнях перешкод.

Ключові слова: дистанційне зондування, ДКП кодери, прогнозування коефіцієнта стиснення, гіперспектральні дані

УДК 528.8.04:574.4 (477)

Вивчення динаміки середньорічних показників валової первинної продуктивності території України впродовж 2000–2010 років

В. І. Лялько, О. І. Сахацький, Г. М. Жолобак*, О. А. Апостолов

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

За даними продукту MOD17 розраховано середньорічні показники валової первинної продуктивності (GPP) для кожної адміністративної області України та АРК і проаналізовано їх варіабельність впродовж 2000–2010 рр. Встановлено амплітуду коливання дослідженого параметра (від 0.5 до 1.25 кг С/м² за рік) та виділено три відмінні за продуктивністю частини території України. Описано міжрічну динаміку GPP різних регіонів держави.

Ключові слова: дистанційне зондування, валова первинна продуктивність, MOD17, супутниковий моніторинг

© В. І. Лялько, О. І. Сахацький, Г. М. Жолобак, О. А. Апостолов. 2016

Вступ

Одними з ефективних індикаторів агровиробництва та екологічного стану територій для безпечного використання продовольчих та водних ресурсів є показники валової первинної продуктивності (GPP) та чистої первинної продуктивності (NPP) рослинного покриву. З метою опрацювання цього питання у ЦАКДЗ ІГН НАНУ розпочато дистанційні дослідження динаміки та загальної суми поглинання CO₂ в межах різних класів рослинного покриву, зокрема, посівів основних сільськогосподарських культур в окремих областях України [6]. Джерелом супутникових даних були знімки стандартного продукту MOD17 (проект MODIS), який спеціально розроблено для постійного відстежування росту рослинності на всій наземній поверхні планети. Показники GPP та NPP постачаються з борту супутників Terra і Aqua практично в режимі реального часу ще з початку 2000 року і нині знайшли широке застосування в різних напрямках ландшафтно-екологічного аналізу та моделювання динаміки стану наземної рослинності в мінливих умовах довкілля [8, 10]. В Україні ці продукти крім агроорієнтованого аспекту використовувались також при оцінюванні кореляційних зв'язків між GPP і NPP та різними вегетаційними параметрами лісових формацій Західного Полісся і кліматичними чинниками [5] та для оцінки невизначеностей розрахунків продуктивності рослинного покриву і формування вуглецевого балансу на прикладі Львівської, Волинської, Рівненської та Житомирської областей [3]. Оскільки Україна за своєю площею займає друге місце в Європі і характеризується високим природно-ресурсним потенціалом, то, маючи в розпорядженні сучасні супутникові знімки MOD17 A3 з річни-

ми оцінками GPP та NPP, важливо дослідити, яким чином простежується вплив розмаїття природних умов на загальну продуктивність рослинного покриву нашої держави.

Метою цієї статті є оцінка просторово-часової варіабельності середньорічних показників GPP за супутниковими даними MOD17 впродовж 2000–2010 рр. в межах всіх адміністративних областей території України.

Методика

Дані продукту MOD17 є у вільному доступі і нами отримані через сайт Numerical Terradynamic Simulation Group. Для підрахунків GPP та NPP в межах адміністративних областей пікселі продукту MOD17 A3 були трансформовані в координатну систему WGS 84 та суміщені з контурами областей, які формують один з шарів цифрової топографічної карти України. Це дозволило виділити для розрахунків GPP та NPP тільки ті пікселі (розрізненістю 1×1 км), які приурочені до території кожної окремої області. Більше того, пікселі, на які була накладена маска продукту MOD17 A3 (населені пункти, водні об'єкти), не враховувались для визначення сумарної площі рослинного покриву при оцінках питомого значення GPP та NPP області. Зокрема, на рис. 1, як приклад, різними кольорами показано розподіл сумарних річних значень GPP для центральних, південних та східних областей України за 2010 рік за даними продукту MOD17 A3. Праворуч, на рис. 1 наведено виділений фрагмент для Дніпропетровської області. Білі пікселі фактично відображають маску продукту MOD17 A3 і ці пікселі відкидались при розрахунках.

На основі цих супутникових даних для розрахункової площі кожної області обчислені середньорічні показники валової первинної продуктивності,

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

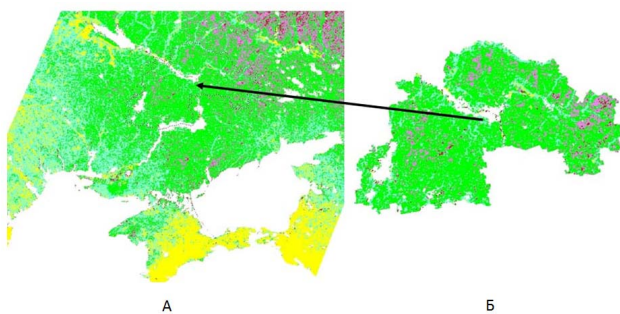


Рис. 1. Розподіл сумарних річних значень GPP рослинного покриву для центральних, південних та східних областей України за 2010 рік за даними продукту MOD17 A3 (А). Виділений фрагмент праворуч — територія Дніпропетровської області (Б): річні значення GPP у C кг/м^2 : коричневий колір — менше 0.4; фіолетовий: 0.4–0.55; зелений: 0.55–0.7; аквамариновий — 0.7–0.9, жовтий — понад 0.9; білий колір — маска продукту MOD17 A3 (вода, населені пункти)

сформованої внаслідок поглинання вуглецю всім рослинним покривом в межах досліджуваної обласної адміністративної одиниці.

Результати

Для зручності аналізу спочатку виконана спроба зіставлення географічно близьких між собою областей. Зокрема, для цього використано поділ України на 5 регіонів: захід, північ, схід, південь та центр (рис. 2), здійснений фахівцями Українського гідрометеорологічного інституту з метою виявлення та врахування можливих територіальних відмінностей у змінах кліматичних характеристик [2].

Як зазначають автори [2], під час цього районування враховувались такі параметри: подібність фізико-географічних умов, однотипність прояву кліматоутворюючих чинників, відносна однорідність кліматичних полів температури та опадів та адміністративно-територіальний поділ держави. Останній чинник враховувався, щоб адаптувати дані досліджень для стратегічного планування ведення господарства та розвитку регіонів. Розраховані за да-

ними MOD 17 середньорічні показники GPP в межах кожної області були об'єднані в групи згідно з картою, поданою на рис. 2, і для зручності аналізу побудовані графіки їх міжрічних коливань (рис. 3, 4).

На рис. 3 (А), який відображає міжрічні коливання середньорічних значень GPP для західного регіону України, чітко помітно дві пари областей, які мають майже тотожну динаміку питомої величини GPP за рік впродовж всього періоду спостережень (2000–2010 рр.). Це Тернопільська та Хмельницька області зі значеннями GPP від 0.081 до 0.917 кг С/м^2 та Рівненська і Волинська зі значеннями GPP від 0.926 до 1.038 кг С/м^2 .

Інші чотири західні області характеризуються щорічною питомою величиною GPP більше 1 кг С/м^2 і порівняно незначними відмінностями. Зокрема, Буковина, Львівщина, Прикарпаття та Закарпаття в порядку зростання параметрів річної валової первинної продуктивності відрізняються між собою так: кожна наступна область має значення GPP приблизно на 0.05 кг С/м^2 вищі від попередньої. Як видно з графіків на рис. 3 А, середньорічні значення GPP західних областей мають вигляд злегка хвилястих ліній, тобто їм не властиві значні міжрічні коливання.

Подібна форма ліній динаміки властива й середньорічним значенням GPP північних областей (рис. 3, Б). Варто звернути увагу, що серед областей півночі України найвищими показниками відрізняється Житомирщина. В той же час Київська, Чернігівська та Сумська області подібні між собою як за середньорічними значеннями GPP, так і за траєкторіями ліній їх міжрічних змін.

На відміну від північних та західних областей динаміка середньорічних значень GPP інших обласних адміністративних одиниць України має вигляд ломаних ліній із западинами та підняттями, а за величиною показники валової первинної продуктивності в жодній області впродовж одинадцяти проаналізованих років не перевищують 0.887 кг С/м^2 (рис. 4). Серед центральних областей найвищими показниками GPP відзначається Вінниччина, яка не зазнала суттєвого зниження валової продуктивності у посушливому 2002 р. Всі решта області цієї частини України мають як мінімум дві западини — періоди виразного зменшення валової продуктивності — у 2002 та у 2007 роках. Особливо чітко ці западини простежуються на графіках зміни GPP східних областей, де між окремими областями практично немає відмінностей: всі три адміністративні одиниці сходу України демонструють майже тотожну конфігурацію ліній динаміки середньорічних значень GPP за період 2000–2010 рр. (рис. 4, Б). Все ж зменшення GPP було суттєвішим для всіх областей у 2007 році, коли природа України потерпала від сильної посухи. Тоді найнижчі показники середньорічних значень GPP були характерні для Миколаївської, Херсонської, Запорізької та Дніпропетровської областей і коливались в межах 0.476–0.491 кг С/м^2 ,



Рис. 2. Поділ території України на 5 регіонів із зазначенням обласних центрів [2]

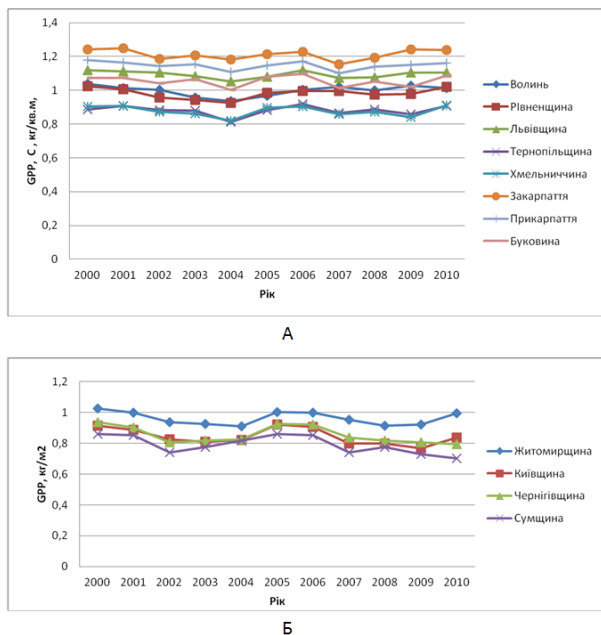


Рис. 3. Середньорічні значення GPP західних (А) та північних (Б) областей України

тобто вони були практично вдвічі менші від аналогічних показників цього року, одержаних для західних областей України (без Тернопільщини та Хмельницької). Для центральних та південних областей було виявлено певне зниження показників GPP ще й у 2009 році, якщо порівнювати цей рік з 2008 та 2010, але воно не досягало таких низьких значень як у 2007 році (коливання між 0.554 та 0.668 кг С/м²).

Найбільше виразних “зигзагів” можна помітити на лініях динаміки середньорічних значень GPP південних областей (рис. 4, В). У роки з достатнім водозабезпеченням адміністративні одиниці цієї частини України формують непогані показники валової первинної продуктивності (наприклад, Одещина у 2004 і 2010 роках сягала значень GPP відповідно 0.821 та 0.859 кг С/м²), але при нестачі вологи цей показник різко падає. Власне саме південні області відреагували зниженням GPP також і в 2003 році, коли там спостерігались посушливі явища.

Якщо ж всі області України за динамікою їх валової первинної продуктивності звести воедино, то отримаємо зведений графік міжрічних коливань середньорічних значень GPP (рис. 5). На ньому можна виокремити такі три групи областей.

Перша група об'єднує області, лінії динаміки яких розташувались вгорі малюнка, що свідчить про досить високі значення GPP (понад 0.9 кг С/м², тобто близько 1 кг С/м² або більші за цю величину). Водночас коливання їх GPP з року в рік порівняно невеликі. Сюди належать більшість західних областей (Закарпаття, Прикарпаття, Буковина, Львівщина, Волинь, Рівненщина) та північна Житомирська область.

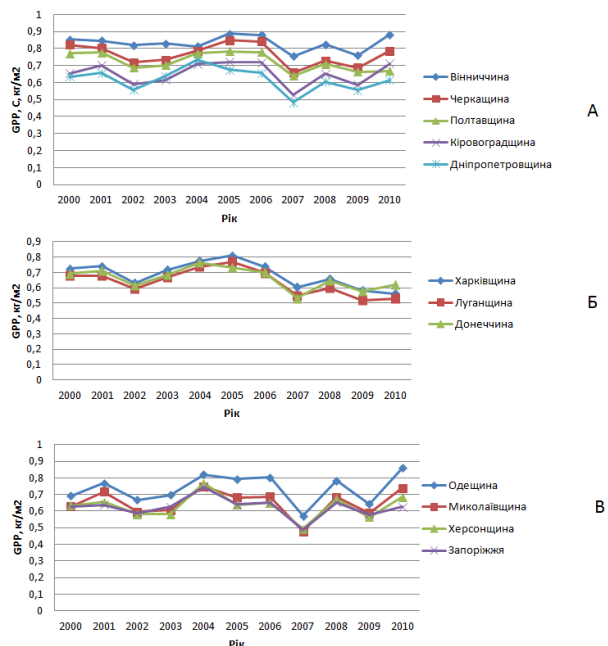


Рис. 4. Середньорічні значення GPP центральних (А), східних (Б) та південних (В) областей України

Другу групу утворюють області зі середніми значеннями річного GPP, які варіюють в межах від 0.659 кг С/м² на Черкащині 2007 р. до 0.927 кг С/м² на Чернігівщині у 2005 р. Це так звана збірна група, бо вона охоплює дві західні області — Тернопільську та Хмельницьку, дві центральні — Вінницьку та Черкаську, та три північні — Київську, Чернігівську та Сумську. З 2000 до 2004 року середньорічні значення GPP областей цієї групи не зазнають значних коливань, хіба що на Сумщині у 2002 році спостерігається певне зниження цього показника. Після 2004 року різку варіабельність крім Сумщини можна побачити ще й на лініях динаміки річного GPP Київщини та Вінниччини. У 2004 р. практично всі ці області демонструють майже однаковий показник GPP

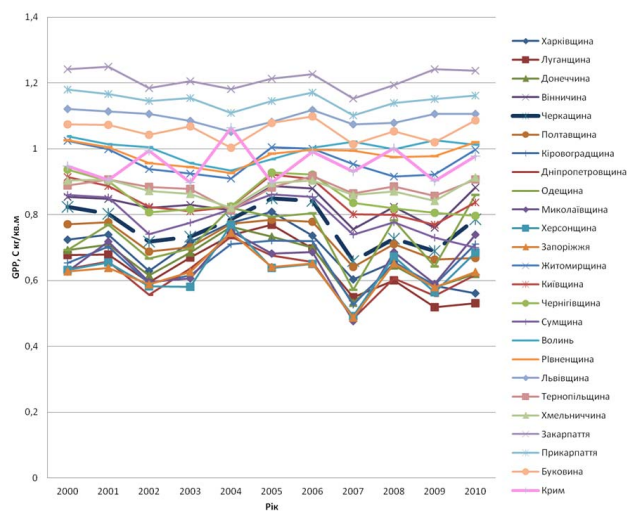


Рис. 5. Середньорічні значення GPP областей України та АР Крим

($0.816\text{--}0.824\text{ кг С/м}^2$). Так на зведеному графіку формується своєрідний “вузол”, трохи нижче якого знаходиться Черкаська область зі своїм показником середньорічного GPP за 2004 р., що становить 0.785 кг С/м^2 . Лінія динаміки GPP цієї області є свого роду межею, кордоном, що відділяє другу групу областей від решти адміністративних одиниць із порівняно нижчим значенням GPP.

Третя група, графіки якої розташовуються нижче лінії GPP Черкащини, має помірні значення GPP, які, як правило, не перевищують 0.8 кг С/м^2 і коливаються від 0.487 кг С/м^2 на Запоріжжі у 2007 р. до 0.808 кг С/м^2 на Харківщині у 2005 р. Це найчисленніша за кількістю областей група, до якої належать крім південних та східних ще й три центральні: Дніпропетровська, Кіровоградська та Полтавська (всього десять адміністративних одиниць). Лінії динаміки GPP цих областей мають виразну ламану форму впродовж всього періоду спостережень, що свідчить про чітку залежність валової продуктивності цієї частини України від рівня забезпечення водними ресурсами під час періоду вегетації рослинності. При нестачі вологи показники GPP падають (посушливі 2002, 2003, 2007 рр.), а у сприятливі роки (2001, 2004, 2008 рр.) — зростають. Найбільший діапазон коливань GPP спостерігається для Одеської області (від 0.571 кг С/м^2 у 2007 р. до 0.859 кг С/м^2 у 2010 р.), причому на графіку добре помітно, що у 2004–2006, 2008 та 2010 рр. параметри GPP Одещини перевищують значення, властиві іншим областям цієї групи, і навіть пересікають лінію динаміки GPP Черкащини.

Особливої уваги заслуговує поведінка середньорічних значень GPP в межах АР Крим. Тільки у 2003 та 2005 рр. показники GPP тут опускались ненабагато нижче від 0.9 кг С/м^2 (відповідно 0.897 та 0.898 кг С/м^2). В інші роки значення GPP знаходяться в тій же частині малюнка, де розташовані лінії динаміки переважної кількості західних областей.

Проте, хоча за більшістю значень GPP ця територія і належить до першої групи областей, але через наявність степових екосистем вона є досить чутливою до погодних умов і лінія динаміки її середньорічних значень GPP є зигзагоподібною.

Вище описані відмінності параметрів GPP показано на карті України (рис. 6).

При зіставленні рисунків 2 і 6 слід відзначити незбіжність географічно-адміністративного поділу України з її різними за продуктивністю частинами. Зокрема, високопродуктивна частина формується за рахунок західних областей (за винятком Тернопільської та Хмельницької) та північної Житомирської області. Практично більша частина Поділля (Тернопільська, Хмельницька та Вінницька області) разом з рештою північних областей та центральною Черкаською областю складають нормально продуктивну частину території України. А інші адміністративні області (три центральні —



Рис. 6. Поділ території України на частини згідно з середньорічними обласними показниками GPP за 2000–2010 рр.
1 — високопродуктивна, 2 — нормально продуктивна, 3 — АР Крим, високо варіабельна, високопродуктивна, біле тло — помірно продуктивна частина території України

Полтавська, Кіровоградська та Дніпропетровська, східні та південні без АРК) належать до помірно продуктивної частини території держави. Окремо виділено територію АР Крим, що зумовлено особливостями поведінки її середньорічних значень GPP, про які вже йшлося вище.

Обговорення

Отже, нами було встановлено, що за даними MOD 17 значення GPP на території України впродовж 11 років коливаються в діапазоні від 0.487 кг С/м^2 на Запоріжжі у 2007 р. до 1.25 кг С/м^2 на Закарпатті у 2001 р. Для порівняння ці цифри зіставлені з отриманими за допомогою цього ж продукту і усередненими за три роки (2001–2003 рр.) річними показниками валової первинної продуктивності для різних типів земної поверхні планети [9]. В цій публікації Zhao M. [et al.] повідомляють, що сільськогосподарським землям та зімкнутим чагарникам властиві значення GPP відповідно 721 і 868 г С/м^2 , мішаним лісам — $1\,125\text{ г С/м}^2$, а листопадним широколистяним лісам — $1\,366\text{ г С/м}^2$. Для неущільнених чагарників та пасовищ характерні показники GPP нижче 400 г С/м^2 . Оскільки більша частина території України має середньорічні значення GPP між $0.6\text{--}1\text{ кг С/м}^2$, то це свідчить про переважання тут агроландшафтів та зімкнутих чагарникових насаджень. Отримані значення узгоджуються з дійсністю, бо відомо, що сільськогосподарські угіддя України становлять 69% усієї земельної площі [1]. Ділянки, де середньорічні значення GPP перевищують 1 кг С/м^2 , відповідають лісовкритим площам країни.

Отримана нами карта (рис. 6) має ознаки схожості з картою розподілу середньої тривалості вегетаційного періоду за період 1961–1990 рр. (рис. 7), складеною фахівцями Інституту економіки та прогнозування НАНУ у співпраці з Міжнародним Інститутом прикладного системного аналізу (IIASA) [4]. Зокрема ними було виконано дослідження земель-

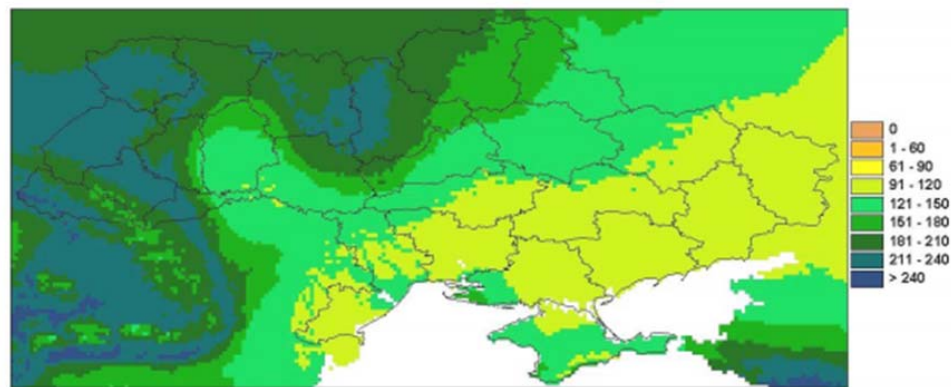


Рис. 7. Карта розподілу середньої тривалості вегетаційного періоду (днів) за період 1961–1990 рр. [4]

ного потенціалу України за методологією агроєкологічного зонування (АЕЗ), яка дозволяє кількісно оцінити продуктивність різних типів землі для різних сільськогосподарських культур і систем організації виробництва. В рамках цього дослідження на основі середніх кліматичних даних територіального розподілу опадів та суми активних температур за період 1961–1990 рр. було створено карту просторового розподілу тривалості доступного періоду вирощування для всієї території України (рис. 7).

Як зазначають автори, західні і північно-західні регіони, практично вся Житомирська і Київська області характеризуються у середньому найбільш тривалим вегетаційним періодом, сприятливим для землеробства — 210–240 і більше днів. Водночас, більшість території країни характеризується вегетаційним періодом, який триває близько 120–150 днів. Починаючи з південного сходу Одеської області, через Миколаївську і Херсонську області і далі на схід простягається широка смуга територій з найменшим вегетаційним періодом довжиною 90–120 днів. На крайньому сході вона охоплює всю Донецьку і Луганську області.

Як бачимо, регіони з тривалим вегетаційним періодом майже відповідають високопродуктивній частині території, за винятком Київської та Тернопільської областей. Ці дві області в XXI ст. за даними середньорічних показників GPP формують перелік областей з нормальною продуктивністю, що відповідає тривалості вегетаційного періоду 120–150 днів. В той же час Полтавська та Харківська області на підставі GPP за MOD 17 демонструють більшу схожість зі степовими регіонами держави, де довжина вегетаційного періоду становить 90–120 днів. Отже, при зіставленні рис. 6 та 7 простежується як схожість між загальною конфігурацією частин України стосовно поділу території на три частини за показниками валової первинної продуктивності та за тривалістю вегетаційного періоду, так і деякі відмінності в розмірах окремих з цих частин. Отриману подібність можна обґрунтувати спираючись

на відомий факт про те, що основними екологічними чинниками, які пояснюють різницю між екосистемами в засвоєнні вуглецю, є тривалість часу, впродовж якого складаються умови, придатні для фотосинтезу, та ґрунтові ресурси (вода, поживні речовини), доступні для формування та забезпечення функціонування площі листової поверхні рослинності в конкретній екосистемі [7]. Відмінності, в першу чергу, пов'язані з різним відтинком часу, який брався до аналізу: Міщенко Н. М., Гуменюк К. В. [4] склали його для періоду 1961–1990 рр., а наші дослідження GPP за MOD 17 стосуються новітнього періоду 2000–2010 рр. Крім того, якби наші дослідження проводились не на рівні області, а на рівні адміністративних районів, то можна було б отримати більш детальну карту мінливості показників продуктивності.

Висновки

Таким чином, на підставі аналізу динаміки середньорічних значень GPP обласних адміністративних одиниць України впродовж 11 років можна зробити такі висновки.

1. За величиною показників первинної валової продуктивності територія України розділяється на три частини:

- високопродуктивна зі середньорічними значеннями GPP від 0.9 до 1.25 кг С/м²;
- нормально продуктивна зі середньорічними значеннями GPP від 0.7 до 0.9 кг С/м²;
- помірно продуктивна зі середньорічними значеннями GPP від 0.5 до 0.85 кг С/м².

2. Високопродуктивні області на відміну від інших мають меншу міжрічну варіабельність показників, за винятком АР Крим. Водночас помірно- та нормально продуктивні частини України демонструють порівняно великі міжрічні коливання показників GPP, особливо це справедливо для південних та східних областей.

Для того, щоб отримані дистанційно значення первинної продуктивності розглядати як такі, що

характеризують рівень поглинання вуглекислого газу рослинним покривом, слід аналогічно вивчити варіабельність показників NPP, котрі формуються з урахуванням витрат органіки на дихання самих продуцентів, що планується здійснити в наступних роботах.

Публікація містить результати досліджень, проведених при грантовій підтримці Державного фонду фундаментальних досліджень за конкурсним проектом N Ф64/25-2015.

Література

1. Екологічні проблеми землеробства / І. Д. Примак, Ю. П. Манько, Н. М. Рідей [та ін.]; За ред. І. Д. Примака. — К.: Центр учбової літератури, 2010. — 456 с.
2. Звіт про науково-дослідну роботу “Розроблення сценаріїв зміни кліматичних умов в Україні на середньотривалі перспективи з використанням даних глобальних та регіональних моделей” [Електронний ресурс] / К., 2013. — Режим доступу: <http://uhmi.org.ua/project/rvndr/climate.pdf>.
3. Костюченко Ю. В. Оцінка невизначеностей при визначенні продуктивності рослинного покриву та формуванні вуглецевого балансу територій за даними ДЗЗ / Ю. В. Костюченко, Д. М. Мовчан, І. Г. Артеменко, Ю. Г. Білоус // Геоінформатика. — 2013 / — №3. — С. 67–75.
4. Міщенко Н. М. Оцінка потенціалу сільськогосподарських земель України за методологією агроекологічного зонування ФАО / Н. М. Міщенко, К. В. Гуменюк // Економіка і прогнозування. — 2006. — № 4. — С. 55–75.
5. Мовчан Д. М. Оцінка динаміки параметрів лісового покриву на території України (Західне Полісся) на основі даних дистанційного зондування. / Д. М. Мовчан // Космічна наука і технологія. — 2013. — Т. 19. — № 4. — С. 29–43.
6. Сахацький О. І. Дослідження валової первинної продуктивності основних сільськогосподарських культур центральних та південних областей України з використанням супутникового продукту MOD17 / О. І. Сахацький, Г. М. Жолобак // Доповіді НАНУ. — 2015. — №10. — С. 40–48.
7. Chapin, F. Stuart (Francis Stuart), III Principles of terrestrial ecosystem ecology / F. Stuart Chapin III, Pamela A. Matson, Harold A. Mooney. — New York: Springer-Verlag — 2002. — 392 s.
8. Pan S. Modeling and Monitoring Terrestrial Primary Production in a Changing Global Environment: Toward a Multiscale Synthesis of Observation and Simulation [Електронний ресурс] / S. Pan, H. Tian, S. R. S. Dangal [et al.] // Advances in Meteorology. — V. 2014, Article ID 965936, 17 p. — 2014. Режим доступу: <http://www.hindawi.com/journals/amete/2014/965936/cta/>.
9. Zhao M. S. Improvements of the MODIS terrestrial gross and net primary production global data set / M. S. Zhao, F. A. Heinsch, R. R. Nemani, S. W. Running // Remote Sensing of Environment. — 2005. — V. 95, N 2 — P. 164–176.
10. Zhao M. MODIS-Derived Terrestrial Primary Production / M. Zhao, S. Running, F. A. Heinsch, R. R. Nemani // Land Remote Sensing and Global Environmental Change: NASA's Earth Observing System and the Science of ASTER and MODIS — Springer Science+BusinessMedia, LLC. — 2011 — P. 635–660.

ИЗУЧЕНИЕ ДИНАМИКИ СРЕДНЕГОДОВЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ВАЛОВОЙ ПЕРВИЧНОЙ ПРОДУКТИВНОСТИ ТЕРРИТОРИИ УКРАИНЫ В ТЕЧЕНИЕ 2000–2010 гг.

В. И. Лялько, А. И. Сахацкий, Г. М. Жолобак, А. А. Апостолов

По данным продукта MOD17 рассчитаны среднегодовые показатели валовой первичной продуктивности (GPP) для каждой административной области Украины и АРК и проанализирована их вариабельность в течение 2000–2010 гг. Установлена амплитуда колебания исследованного параметра (от 0.5 до 1.25 кг С/м² в год) и выделены три отличающиеся по продуктивности части территории Украины. Описана межгодовая динамика GPP различных регионов страны.

Ключевые слова: дистанционное зондирование, валовая первичная продуктивность, MOD17, спутниковый мониторинг

THE RESEARCH OF THE DYNAMICS OF THE ANNUAL AVERAGE OF GROSS PRIMARY PRODUCTIVITY IN UKRAINE FOR 2000–2010

V. I. Lyalko, A. I. Sakhaty, G. M. Zholobak, A. A. Apostolov

The annual average gross primary productivity (GPP) from MOD17 has been calculated for each of the administrative regions of Ukraine and Crimea, and analyzed their variability during 2000–2010. The amplitude of fluctuations has been established for the investigated parameter (from 0.5 to 1.25 kg C / m² per year) and three regions are determined on terms of productivity of the territory of Ukraine. The interannual dynamics of GPP of various regions of the country are described.

Keywords: remote sensing, gross primary productivity, MOD17, satellite monitoring

УДК 528.87:551.35

Оцінка природи температурних аномалій на космознімках Чорного моря

О. О. Янцевич¹, А. І. Воробйов², А. М. Гейхман^{2*}¹ Інститут геологічних наук НАН України, Київ, Україна² ДУ “Науковий центр аерокосмічних досліджень Землі Інституту геологічних наук НАН України”, Київ, Україна

Зіставлення температурних аномалій з геологічними та геофізичними матеріалами свідчить, що температурні аномалії, відображені на космознімках AVHR ймовірно пов'язані з виділенням газів, переважно по розривних порушеннях, що співпадають з зонами розтягнення, які виникають при зсувних рухах розломів широтного та північно-східного простягання.

Ключові слова: газогідрати, грязьові вулкани, метанові газовиділення, газові сипи, газові факели, сезонний термоклін, розломні зони, глибинні каньйони

© О. О. Янцевич, А. І. Воробйов, А. М. Гейхман. 2016

За останні десятиліття виявлені й описані великі поклади газогідратів [3, 11], відкриті глибоководні грязьові вулкани [5] і струминні метанові газовиділення [6].

Установлені в результаті досліджень струминні метанові газовиділення в українському [6, 7] і болгарському [13] секторах Чорного моря дали поштовх до вивчення їхнього генезису, зокрема, до встановлення їхнього зв'язку з осадовими відкладами, тектонічними порушеннями, та покладами вуглеводнів.

Дослідження газового розвантаження у морях Світового океану показали [1, 12], що струминні газовиділення з дна Чорного моря можуть бути класифіковані як холодні сипи (seeps). Поля струминних газовиділень у Чорному морі розташовані в основному на кромці шельфу й материковому схилі Чорного моря, у палеорусласх рік Дніпро, Дунай, Дон і в пригирлових районах ряду кавказьких річок та підводних каньйонах. Дослідження виявили що у літню пору, при великих градієнтах сезонного термоклина, зареєстровано зниження температури в шарі стрибка над сипом на 0.6°. Розрахунки показали, що поперечні розміри майданчиків газового розвантаження часто досягали 300 і більше метрів [2].

Детальними сейсмоакустичними, гідроакустичними дослідженнями й прямими спостереженнями з підводного апарата було встановлено, що численні виходи окремих газових сипів, факелів і їхніх груп тяжіють до розломних зон — тектонічно обумовленим ділянкам разривоутворення, дроблення й зминання порід. У ряді ділянок на дні утворюються так звані газові “болота” різного розміру й форми. Також поряд з газовими факелами, виявлена велика кількість грязьових вулканів. Геоморфологія материкового схилу в районі дослідження ускладнюється те-

расами (уступами) схилу, а також січними каньйонами, хребтами, долинами й терасами долин. Вибіркові положення газових сипів і їх груп щодо локальних форм рельєфу морського дна не встановлене. Однак газові сипи й факели пристосовані переважно до перегинів поверхні дна, але зв'язані як з позитивними формами — підводними сопками, хребтами, уступами, так і з негативними — каньйонами, палеодолинами, лощинами, проваллями [8–10] (рис. 1).

Вперше “холодні аномалії” які пов'язані з газовими сипами були виявлені на дрібномасштабних теплових космознімках поверхневих вод, розташованих у межах північно-західного шельфу Чорного моря в місцях з підвищеним потоком легких вуглеводнів співробітниками Наукового центру аерокосмічних досліджень Землі Інституту геологічних наук НАН України В. І. Ляльком, В. М. Перервою, і В. Є. Філіповичем (усне повідомлення, 1996 р.)

У подальшому ЦАКДЗ послідовно проводив дослідження цих температурних аномалій, результати яких викладені у багатьох звітах.

Дана робота з аналізу температурних аномалій відображених на космознімках AVHR з геолого-тектонічною інформацією виконувалась в межах Прикерченського шельфу Чорного моря.

Було виконано наступні види робіт:

1. Прив'язка космознімків AVHR, SAR.
2. Прив'язка геологічних, тектонічних, геофізичних карт на досліджувану територію.
3. Векторизація геологічних, тектонічних, геофізичних карт на досліджувану територію.
4. Створення геолого-тектонічної векторної основи досліджуваної території.
5. Зіставлення геолого-тектонічної інформації з даними, що отримані з космічних знімків.

Для аналізу були відібрані тільки безхмарні космознімки за 2001–2002 роки. Ці роки були вибрані

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

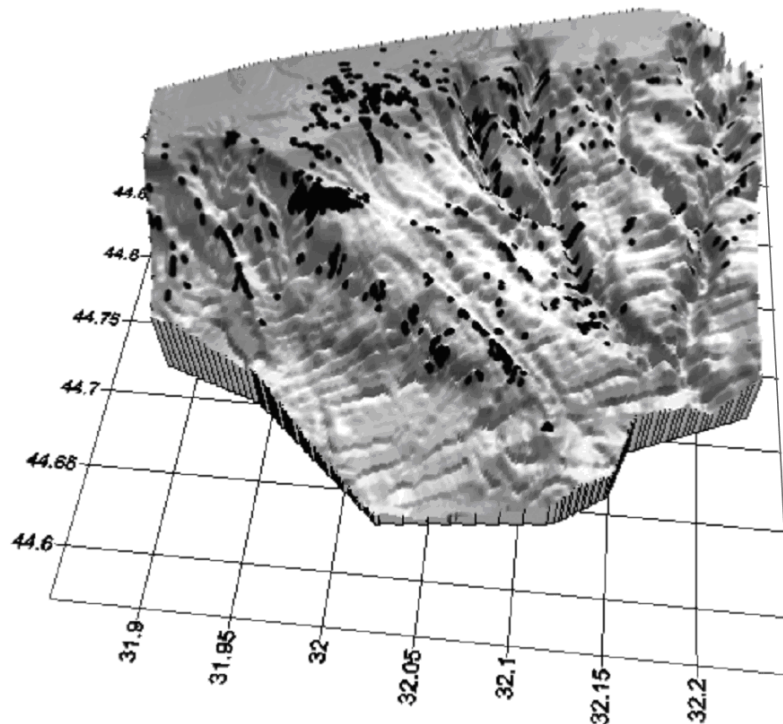


Рис 1. Локалізація струминних метанових газовиділень у районі палеоруслу Дніпра, розташованого в інтервалі глибин 70–1 200 м [2]

тому що їм передували досить значні землетруси в межах Чорного моря, які могли викликати значні викиди газу через тектонічні порушення у водну товщу.

Прив'язку, дешифрування та обробку знімків виконували на комп'ютері з використанням спеціального програмного пакету ERDAS Imagine що дає додатковий приріст інформації, яку складно отримати при звичайному ручному дешифруванні.

Прив'язку та векторизацію геологічних, тектонічних, геофізичних карт виконували у середовищі ГІС пакету Mapinfo Professional. Mapinfo Professional — ГІС (географічна інформаційна система), яка надає ефективні засоби для візуалізації й аналітичних операцій із просторовими даними. ГІС Mapinfo оснащена повноцінним інструментарієм для створення, візуалізації й аналізу просторово прив'язаних даних. Надається можливість редагування як геометричних об'єктів, так і атрибутивних даних. Створювані бази даних можуть бути об'єктами запитів і вибірок за певними критеріями. Mapinfo Professional успішно використовується у геології та інших галузях.

Зібрані та систематизовані при структурно-тектонічних дослідженнях матеріали узагальнювалися у ГІС Mapinfo, що дозволило зіставити та узгоджувати різні за змістом, масштабом, рівнем інформативності карти.

Таким чином була створена зведена структурно-тектонічна карта Прикерченського шельфу. В основу її лягли: “Карта фонду нафтогазоперспективних

структур акваторії Азовського та Чорного моря” (З. Я. Войцицький, В. В. Топлюк та ін. 2013 р.), “Карта-схема техногенного навантаження на геологічне середовище північно-східної частини Чорного моря і Азовського моря” (О. Д. Степаняк, Є. Г. Тихоненкова, 2005 р.).

У результаті співставлення структурно-тектонічної інформації з космознімками AVHR були отримані наступні результати:

На рисунку 2 видно, що фрагмент великої температурної аномалії північно-східного простягання, яка розташована у західній частині Прикерченського шельфу, доволі точно співпадає з зоною розлому глибинного закладення того ж самого простягання.

Субмеридіональний та північно-західний фрагменти цієї ж аномалії чітко відображають каньйони на морському дні, згідно “Карті каньйонів Чорного моря” В. І. Мельник, 1998 р. (рис. 3). Існує думка, що виникнення каньйонів відбувається в межах тектонічних порушень.

На цьому знімку слід також відмітити вузьку витягнуту у північно-західному напрямку температурну аномалію що розташована в східній частині Прикерченського шельфу (рис. 2, 3). Вона також чітко співпадає з каньйоном того ж самого простягання і ланцюжком газових факелів винесених з карти рельєфу дна Чорного та Азовського морів (Є. Ф. Шнюков та ін., 1999 р.)

На космознімку від 5 вересня 2001 року чітко виділяється протяжна вузька температурна аномалія північно-західного простягання (рис. 4).

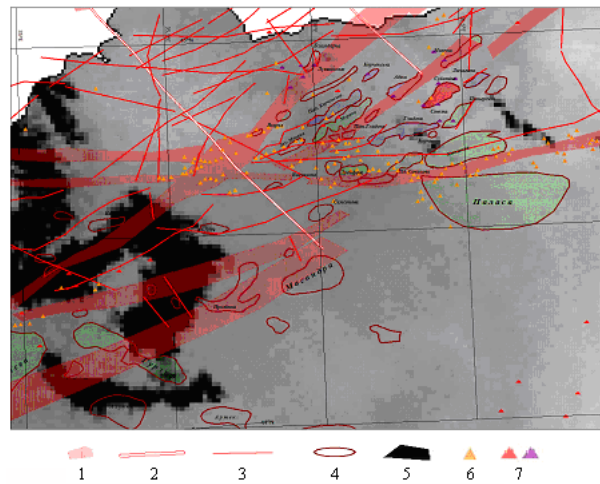


Рис. 2. Співставлення космічного знімку AVHR від 27 серпня 2001 року із “Зведеною структурно тектонічною картою Прикерченського шельфу”.

1 — регіональні розломи; 2 — зональні розломи; 3 — локальні розломи; 4 — локальні структури; 5 — температурні аномалії; 6 — газові факели; 7 — грязьові вулкани

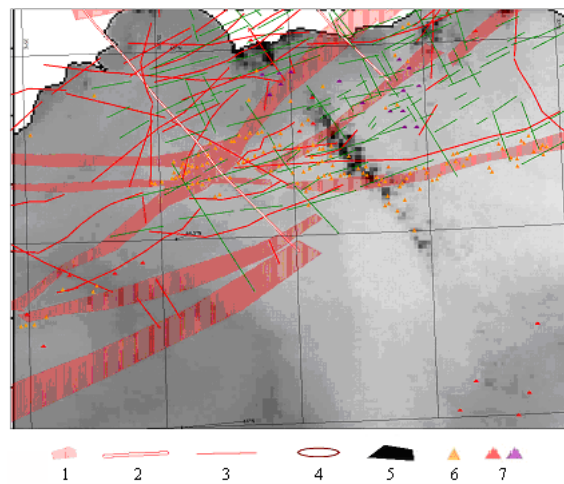


Рис. 3. Співставлення космічного знімку AVHR від 5 вересня 2001 року зі “Зведеною структурно-тектонічною картою Прикерченського шельфу” та динамопарою систем лінеаментів 345–75°.

1 — регіональні розломи; 2 — зональні розломи; 3 — локальні розломи; 4 — локальні структури; 5 — температурні аномалії; 6 — газові факели; 7 — грязьові вулкани

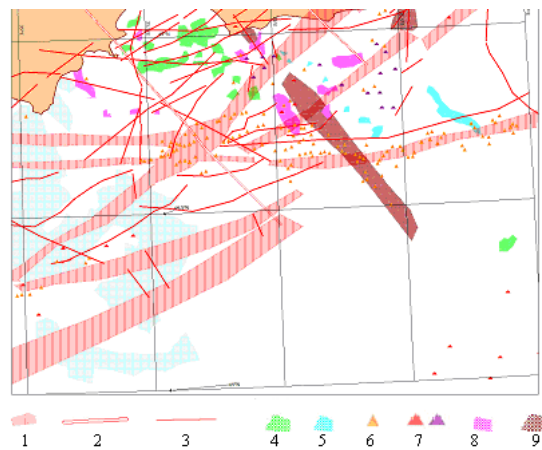


Рис. 4. Співставлення космічного знімку AVHR за 5 вересня 2001 року зі “Зведеною структурно-тектонічною картою Прикерченського шельфу” та динамопарою систем лінеаментів 345–75°

З аномалією співпадає лінеамент дінамопарі систем 345–75°, яка була віддешифрована по космознімках SAR. Північно-західна частина аномалії співпадає з розломом. В цілому аномалія супроводжується ланцюжком газових факелів.

Аналіз розміщення та форми температурних аномалій на космознімках AVHR за період з 26.08 по 05.09.2001 року показав, що більшість аномалій мають вигляд ланцюжків, витягнутих у північно-західному напрямку, причому аномалії за 26, 27, та 28 серпня, знаходяться поряд з аномалією, що відображена на космознімку за 5 вересня але зміщені на захід або на схід від неї.

В цілому можна зробити висновок, що температурні аномалії відображені на космознімках AVHR за період з 26.08 по 05.09.2001 року, ймовірно пов'язані з виділенням газів, переважно, по розривних порушеннях північно-західного простягання з азимутом 345°. Цікаво відмітити, що поряд з цими аномаліями знаходяться два великих розломи мантіїного закладання того ж самого простягання.

Це не суперечить висновкам дослідників Занкевича Б. А. та Шафранської Н. В. [4], які на основі структурно-парагенетичного аналізу розломної сітки ПЗ шельфу Чорного моря довели, що зони розвантаження газових факелів співпадають з зонами розтягнення вторинних розломів які виникають при зсувних рухах глибинних розломів широтного та північно-східного простягання.

Література

- Газовыделяющие постройки на дне северо-западной части Черного моря / В. Х. Геворкян [и др.] // Докл. АН УССР. — 1991. — № 4. — С. 80–85.
- Современные представления о средообразующей и экологической роли струйных метановых газовыделений со дна Черного моря / В. Н. Егоров [и др.] // Морський екологічний журнал. — 2003. — № 3. — Т. II.
- Ефремова А. Г. Обнаружение кристаллогидратов в осадках современных акваторий / А. Г. Ефремова, В. Р. Жиченко. // Докл. АН СССР. — 1974. — 214 (5). — С. 1179–1181.
- Занкевич Б. А. Тектоническая позиция зоны газовых факелов северо-западной части Черного моря / Б. А. Занкевич, Н. В. Шафранская // Геология и полезные ископаемые Мирового океана. — 2009. — № 3. — С. 35–54.
- Грязевые вулканы в глубоководной части Черного моря / М. К. Иванов [и др.] // Вест. Моск. Ун-та. Сер. 4. Геология. — 1989. — № 3. — С. 48–54.
- Поликарпов Г. Г. Виявлено активні газовиділення з дна Чорного моря / Г. Г. Поликарпов, В. М. Єгоров // Вісн. АН УРСР. — 1989. — № 10. — С. 108–111.
- Явление активного газовыделения из поднятий на свале глубин западной части Черного моря / Г. Г. Поликарпов [и др.] // Докл. АН УССР. — 1989. — Сер. Б. — № 12. — С. 13–15.
- Газовые факелы на дне Чёрного моря / Е. Ф. Шнюков [и др.]. — К.: ОР НАН Украины. — 1999. — 134 с.
- Новые проявления газового и грязевого вулканизма в Черном море / Е. Ф. Шнюков [и др.] // Геология и полезные ископаемые Мирового океана. — 2007. — № 2. — С. 107–110.
- Глубинная природа газовых факелов западной части Черного моря по результатам геофизических исследований / Е. Ф. Шнюков [и др.] // Геология и полезные ископаемые Мирового океана. — 2005. — № 1. — С. 70–82.
- Ginsburg G. D. Submarine gas hydrates / G. D. Ginsburg, V. A. Soloviev // VNII Okeangeologia. — St. Petersburg. — 1998. — 216 p
- Dando P. R. Environmental effects of submarine seeping natural gas / P. R. Dando, M. Hovland // Continental Shelf Research. — 1992. — 12 (10). — P. 1197–1207.
- Dimitrov L. I. Characteristics of gas-acoustic anomalies on the South Bulgarian Black sea shelf / L. I. Dimitrov // Oceanology. — 1989. — 19. — P. 34–41 (bg).

ОЦЕНКА ПРИРОДЫ ТЕМПЕРАТУРНЫХ АНОМАЛИЙ НА КОСМОЗНИМКАХ ЧЕРНОГО МОРЯ

О. О. Янцевич, А. И. Воробьев, А. М. Гейхман

Сопоставление температурных аномалий с геологическими и геофизическими материалами свидетельствует о том, что температурные аномалии, отображенные на космоснимках AVHR вероятно связаны с выделением газов преимущественно по разрывным нарушениям, которые совпадают с зонами растяжений, которые возникают при сдвиговых движениях глубинных разломов широтного и северо-восточного протяжения.

Ключевые слова: газогидраты, грязевые вулканы, метановые газовыделения, газовые сипы, газовые факелы, сезонный термоклин, разломные зоны, глубинные каньоны

AN ESTIMATION OF NATURE OF TEMPERATURE ANOMALIES ON THE SPACE PICTURES OF THE BLACK SEA

O. O. Yanzevich, A. I. Vorobyev, A. M. Geykhman

In the article are given the results of comparison of temperature anomalies which are displayed on the satellite images AVHR with geological and tectonic information in limits of a northeast shelf of the Black sea. The satellite images were decoded with the help of software's ERDAS IMAGINE. Comparison of temperature anomalies with geological and geophysical materials shows, that the temperature anomalies displayed on satellite images AVHR are probably connected to bleeding of gases, mainly, on faults to zones, which arise, at shift motions on deep faults of the northeast and latitudinal strikes.

Key words: gas hydrates, mud volcanoes, methane gas emissions, gas vultures, gas flares, seasonal thermocline, fractured zones, deep canyons

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/>).

Журнал є електронним науковим фаховим виданням, яке розповсюджується в мережі Інтернет у вільному доступі.

Журнал висвітлює нові дані науки і практики, теоретичні розробки, наукові узагальнення, результати експериментальних досліджень, дискусійні питання, нові концепції, гіпотези тощо. Розглядаються переважно об’єкти України, а також інших країн, якщо вони становлять загальнонауковий інтерес.

Журнал має такі розділи:

- наукові основи дистанційного дослідження Землі;
- методи і засоби оброблення та інтерпретації аерокосмічної інформації;
- використання інформації дистанційного дослідження Землі.

Видання орієнтовано на широке коло фахівців, практиків, науковців, викладачів, інженерів, аспірантів, студентів.

Редакція розглядає представлені матеріали з дотриманням авторських прав і етичних норм наукової публікації (Додаток 1).

Редакція приймає матеріали, які надаються українською, російською або англійською мовами.

Представлення рукописів

Рукописи надсилають до редакції в електронному вигляді за адресою: o.kudriashov@ujrs.org.ua або ж на альтернативних електронних носіях за адресою: Україна, 01601, м. Київ, МСП, вул. Олеса Гончара, 55-Б, редакція журналу “Український журнал дистанційного зондування Землі”. Якщо об’єм графічних матеріалів перевищуватиме ліміт електронної

пошти, їх надсилають окремими листами з позначкою “Додаток до листа (назва листа)”.

До рукопису додають акт експертизи установи, де виконана робота, відомості про авторів (ім’я, по-батькові, прізвище, посада, науковий ступень та вчене звання, повна офіційна назва установи, адреса, телефон та електронна адреса відповідального автора), а також “Авторську згоду” за підписом відповідального автора (див. Додаток 2) у форматі JPEG/PDF або паперові примірники.

Загальні вимоги

Стаття може бути написана українською, російською або англійською мовами і повинна мати резюме (abstract), а також ключові слова (keywords). Анотація повинна висвітлювати основні результати досліджень, а не перелік питань розглянутих 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 а також ключові слова двома мовами (російською та англійською, українською та англійською, або ж українською та російською відповідно до мови, якою написана стаття).

Оформлення рукопису

Формат документу — Word-97–2003. Гарнітура — Times New Roman. Кегль — 10–12 пунктів. Розмір сторінки — А4.

Текст форматують *без переносів, абзацних відступів та інтервалів до та після рядка*. Виключка (вирівнювання) — по ширині, або по лівому краю.

Формат графічних додатків — TIFF/PNG, розрізнення — не менше 300 dpi/inch у масштабі сторінки, кольорова модель CMYK/RGB.

Структура рукопису:

- УДК
- Назва статті (без аббревіатур, звичайне накреслення)
- Ініціали та прізвище автора (авторів). Ініціали відділяють проміжками (пробілами)
- Повна офіційна назва установи (установ), де виконано роботу, місто, країна (якщо автори працюють у різних установах перед назвою установи і після прізвища ставлять однукову цифру (верхній індекс))
- Електронна адреса та/або тел./факс відповідального автора. Перед ним та після прізвища 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 (abstract), а також ключові слова (keywords) двома мовами окрім мови статті

Текст

Пробіли (проміжки). Слова, ініціали, скорочення, знаки математичних операцій, тире (кг, ×, с., р., і т. ін., жм, Д. І. Менделєєв тощо) відділяють пробілами (але лише одним!). За правилами правопису проміжок обов'язковий після будь-якої крапки, адже крапка — ознака нового слова. Цією нормою де-факто часто нехтують між ініціалами, а між “і т. д...” і т. п.” — практично завжди. За нормами правопису не відділяють пробілами тире між цифрами (наприклад: 25–40 м), а також дефіс. Не ставлять пробіли усередині скобок, лапок, перед комою, крапкою, двокрапкою.

Не слід робити абзацний відступ за допомогою пробілів або табулятора! Для набору слів врозрядку користуйтеся не пробілами а міжлітерним інтервалом (Формат / Шрифт / Інтервал / Разреженный). Не набирайте текст увімкнувши Caps Lock.

Прізвища. Нагадуємо, що в текстах написаних українською мовою чоловічі українські та інші слов'янські прізвища відмінюються як відповідні іменники, а жіночі на приголосний та **о** — ні. Порівняйте: „у роботі Марії Сенник — Василя Сенника, ... дякуючи Надії Балій — Михайлові Балієві, ... за Ніною Байко — за Андрієм Байком. Отже, роблячи посилання на автора, який Вам відомий лише за ініціалами і прізвищем якого закінчується на приголосний або на **о**, Вам доведеться дізнатися про його стать.

Формули треба набирати у редакторі Microsoft Equation, і не вставляти їх у текст у вигляді таблиць або зображень.

Будь ласка, не користуйтеся програмою Math Type.

Таблиці. Треба всіляко прагнути аби таблиці мали книжну орієнтацію. Формат — MS Word. Заголовки рядків і стовпців повинні бути якомога стислими, скорочень (окрім загальноприйнятих) треба уникати. Довгі і складні заголовки рекомендується оформити у зносках до таблиці. Усі таблиці повинні мати номери (якщо їх більше однієї) і заголовки (назви). Посилання на них у тексті обов'язкове. *Будь ласка, не вмонтовуйте таблиці у текст як зображення.*

Ілюстрації

Усі рисунки потрібно пронумерувати (якщо їх більше одного). Посилання на них у тексті обов'язкове.

Ілюстрації (знімки, схеми, діаграми) вмонтовують у документ Word і *представляють окремими файлами у форматі TIFF* з розрізненням не менше 300 dpi на дюйм у масштабі публікації (формат публікації — A4). Рисунки повинні мати умовні знаки — наприклад, “прямокутнички” з цифрою поряд.

Назву рисунка та пояснення умовних позначень треба винести до тексту.

Підписи під рисунками повинні виглядати так:

Рис. 1. Назва рисунка (якщо у рукописі лише один рисунок, слово “Рис.” не пишуть)

1 — пояснення умовного знака під номером 1; 2 — пояснення умовного знака під номером 2; 3 — пояснення умовного знака під номером 3 і так далі.

Графіки мають бути виконані з використанням графічних редакторів, які щонайменше відповідають рівню MS Excel. Не представляйте виконані від руки та відскановані матеріали.

Література

Посилання на літературне джерело у тексті подають у квадратних дужках. У дужках указують порядковий номер роботи що цитується у списку літературних джерел. *Список літератури роблять за алфавітом.*

За алфавітним порядком спочатку ідуть джерела українською та російською мовами, а після — згідно латинської абетки — англійські — у порядку латинського алфавіту.

Бібліографічний опис документів складають згідно стандарту бібліографічного опису документів ДСТУ ГОСТ 7.1:2006. (*Стандарт легко можна знайти у Інтернеті*).

При скороченні слів користуються ДСТУ 3582-97 “Скорочення слів в українській мові у бібліографічному описі” та ГОСТ 7.12.93 “Библиографическая запись. Сокращения слов на русском языке. Общие требования и правила”. При створенні опису іноземною мовою дотримуються також вимог ГОСТ 7.11-78 “Сокращение слов и словосочетаний на иностранных языках в

библиографическом описании произведений печати".
Бібліографічні описи складають de visu, безпосередньо за оригіналами видань.

Роботи одного і того ж автора наводять у хроно-

логічному порядку. Роботи одного і того ж самого автора у разі наявності співавторів розміщують у алфавітному порядку з урахуванням прізвища другого автора.

ДОДАТОК 1

Авторські права і етичні норми наукової публікації

Передаючи матеріали до редакції, автор гарантує наявність у нього авторських прав на рукопис і дає згоду на публікацію тексту і метаданих статті (включаючи прізвища та ініціали авторів, місця їх роботи і e-mail автора для кореспонденції) в журналі, що має на увазі поширення в друкованому варіанті, розміщення електронних копій в мережі Інтернет на сайтах журналу і спеціалізованих наукових баз даних (у тому числі наукометричних), переклад іноземними мовами. При цьому за автором зберігається право використання опублікованого в журналі матеріалу в особистих (наукових, викладацьких) цілях. Але відтворення опублікованої інформації третіми особами в будь-якому вигляді, включаючи переклад іншими мовами, можливе лише з дозволу редакції з обов'язковим зазначенням повного бібліографічного посилання.

При поданні рукопису до редакції автори гарантують відсутність у них раніше опублікованих або поданих на розгляд в інші наукові видання матеріалів з аналогічним змістом. В іншому випадку автори повинні надати редактору інформацію щодо попередньої публікації даних, що містяться в статті.

ДОДАТОК 2

Авторська згода

(документ має бути підписаний відповідальним автором публікації)

Автори, направляючи рукопис у редакцію "Українського журналу дистанційного зондування Землі", погоджуються з тим, що редакції передаються права на захист и використання рукопису (переданого до редакції журналу 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 в 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 їх дії 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 зберігається 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

Адреса редакції: Україна, 01601, м. Київ, МСП, вул. Олесь Гончара, 55-Б
Редакція "Українського журналу дистанційного зондування Землі"
Тел.: +380 44 486 94 05, 484 04 85; факс: +380 44 486 94 05, 486 1430. www.ujrs.org.ua

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/>).

Журнал является электронным научным изданием, которое распространяется в сети Интернет в свободном доступе.

В журнале публикуются новые данные науки и практики, теоретические разработки, научные обобщения, результаты экспериментальных исследований, дискуссионные вопросы, новые концепции, гипотезы и т. п. Рассматриваются преимущественно объекты Украины, а также других стран, если они представляют общенаучный интерес.

Журнал имеет следующие разделы:

- научные основы дистанционного исследования Земли;
- методы и средства обработки и интерпретации аэрокосмической информации;
- использование информации дистанционного исследования Земли.

Журнал рассчитан на широкий круг специалистов, практиков, ученых, преподавателей, инженеров, аспирантов, студентов.

Редакция рассматривает материалы публикаций с соблюдением авторских прав и этических норм научной публикации (Приложение 1).

Редакция принимает материалы, которые представляются на украинском, русском и английском языках.

Представление рукописей

Рукописи представляют в редакцию в электронном виде по адресу: o.kudriashov@ujrs.org.ua, или на альтернативных электронных носителях по адресу: Укра-

ина, 01601, г. Киев, МСП, ул. Олеса Гончара, 55-Б, редакция журнала “Украинский журнал дистанционного зондирования Земли”.

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 (см. Приложение 2) в формате JPEG/PDF. В случае принятия статьи на почтовый адрес редакции высылаются отпечатанные экземпляры рукописи и сопроводительных документов.

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 русском и украинском соответственно языку, на котором написана статья).

Оформление рукописи

Формат документа — Word-97–2003.

Размер страницы — А4. Гарнитура — Times New Roman, кегль — 12 пунктов. Текст форматировать без переносов, абзацных отступов, выступов и интервалов до и после строки. Формат графических приложений — TIFF/PNG, разрешение — 300 dpi/inch, цветовая модель CMYK/RJB.

Структура рукописи:

- УДК
- Название статьи (без аббревиатур, строчными буквами)
 - Инициалы и фамилия автора (авторов). Инициалы отделяют пробелами
 - 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 (abstrakt), а также ключевые слова на двух языках (русском и английском; русском и украинском, украинском и английском соответственно).

Текст

Пробелы. Слова, инициалы, сокращения, знаки математических операций, тире (кг, с, р, и т. д., км, Д. И. Менделеев и тому подобное) отделяют пробелами (но лишь одним!). Согласно правилам правописания пробел обязателен после любой точки, ведь точка — это признак нового слова. Этой нормой де-факто часто пренебрегают между инициалами, а между “и т. д., и т. п.” — увы! — практически всегда. Пробелом не нужно отделять тире между цифрами (например: 25–40 м), а также дефис. Не делают пробел в середине скобок, кавычек, перед запятой, точкой, двоеточием.

Не нужно делать азиатский отступ с помощью пробелов или табулятора! Для набора слов в рядку пользуйтесь не пробелами а межбуквенным интервалом (Формат / Шрифт / Интервал / Разреженный). Не набирайте текст включив Caps Lock.

Фамилии. Напоминаем, что в текстах написанных по-украински мужские украинские и прочие славянские фамилии склоняются как соответствующие существительные, а женские на согласный и **о** — нет. Сравните: ...у роботі Марії Сенник — Василя Сенника, ... дякуючи Надії Балій — Михайлові Балієві, ...за Ніною Байко — за Андрієм Байком. Итак, если Вы пишете по-украински, ссылаясь на автора, который Вам известен лишь по инициалам и фамилия которого заканчивается на согласный или **о**, Вам придется разузнать мужчина ли это или женщина.

Таблицы. Формат таблиц — MS Word. По

возможности форматируйте таблицы в книжной ориентации. Размер кегля в таблицах можно уменьшить до 9 пунктов. Заголовки в таблицах делайте как можно более краткими, сокращений (кроме общепринятых) нужно избегать. Длинные и сложные заголовки рекомендуется оформлять в качестве сносок к таблице. Все таблицы должны иметь номера (если их больше одной) и заголовки. Ссылки на них в тексте обязательны. *Не вставляйте таблицы в текст как изображения!*

Формулы следует набирать в редакторе Microsoft Equation, и не вставлять их в текст в виде изображений. Формулам надо присваивать сквозную нумерацию.

Пожалуйста, не набирайте формулы в программе Math Type.

Иллюстрации

Все рисунки нужно пронумеровать (если их больше одного). Ссылки на них в тексте обязательны.

Иллюстрации (снимки, схемы, диаграммы) вставляют в документ Word и представляют отдельными файлами в формате TIFF с разрешением не меньшим 300 dpi на дюйм в масштабе публикации. Рисунки должны иметь условные знаки — например в виде “кирпичиков” с цифрой справа. *Название рисунка и легенду нужно вынести в текст.*

Подписи под рисунками должны выглядеть так:

Рис. 1. Название рисунка (если в рукописи только один рисунок слово “Рис.” не пишут).

1 — пояснение условного знака под номером 1; 2 — пояснение условного знака под номером 2 и т. д.

Графики должны быть выполнены с использованием графических редакторов, которые, по крайней мере, отвечают уровню MS Excel. Не представляйте выполненные от руки и отсканированные материалы.

Литература

Ссылки на литературный источник в тексте подают в квадратных скобках. В скобках указывают порядковый номер работы, цитируемый в списке литературных источников. *Список литературы делают по алфавиту!* В алфавитном порядке сначала идут источники на русском и украинском языках, а после — англоязычные — в порядке латинского алфавита. *Библиографическое описание документов составляют по стандарту библиографического описания документов ДСТУ ГОСТ 7.1:2006* (ГОСТ без труда можно отыскать в Интернете).

При сокращении слов пользуются ДСТУ 3582-97 “Скорочення слів в українській мові у бібліографічному описі” а также ГОСТ 7.12.93 “Библиографическая запись. Сокращения слов на русском языке. Общие требования и правила”. Библиографические описания составляют de visu.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

Авторские права и нормы научной публикации

Передавая материалы в редакцию, автор гарантирует наличие у него авторских прав на рукопись и дает согласие на публикацию текста и метаданных статьи (включая фамилии и инициалы авторов, места их работы и e-mail автора для корреспонденции) в журнале, что подразумевает распространение в печатном варианте, размещение электронных копий в сети Интернет на сайтах журнала и специализированных научных баз данных (в том числе наукометрических), перевод на иностранные языки. При этом за автором сохраняется право использования опубликованного в журнале материала в личных (научных, преподавательских) целях. Но воспроизведение опубликованной информации третьими лицами в любом виде, включая перевод на другие языки, возможно только с разрешения редакции с обязательным указанием полной библиографической ссылки. При представлении рукописи в редакцию авторы гарантируют отсутствие ранее опубликованных ими или представленных на рассмотрение в другие научные издания материалов с аналогичным содержанием. В противном случае авторы должны предоставить редактору информацию о предыдущей публикации данных, содержащихся в статье.

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

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