

Уточнение границ залежей углеводородов на основе геоинформационного анализа материалов многоспектральной космической съемки и геолого-геофизических данных

А.И. Архипов¹, С.М. Есипович¹, А. Каушал², С.П. Ковальчук¹, М.А. Попов¹,
С.А. Станкевич¹, О.В. Титаренко¹

¹Научный центр аэрокосмических исследований Земли
Института геологических наук Национальной академии наук Украины,
55-Б, ул. Олеся Гончара, Киев, 01601, Украина
E-mail: tmopov@casre.kiev.ua;

²Rolta India Ltd,
Rolta Bhavan, Marol, MIDC, 22nd St Andheri East, Mumbai, Maharashtra 400093, India
E-mail: akaushal1960@gmail.com

Рассматривается задача уточнения границ залежей углеводородов. В соответствии с предложенным подходом вначале проводится структурный анализ имеющихся геолого-геофизических данных и цифрового рельефа территории и формируются маски, определяющие участки с возможными ловушками углеводородов. Территория внутри масок изучается с помощью материалов многоспектральной космической съемки. Уточнение границ залежей углеводородов выполняется на основе изучения пространственного распределения спектральных сигналов оптического поля. Процедура уточнения границ залежей углеводородов на основе материалов космической съемки и геолого-геофизических данных реализована на программном стенде, для чего использовалось программное обеспечение компании PCI Geomatics.

Ключевые слова: геоинформационный анализ, залежь углеводородов, многоспектральное аэрокосмическое изображение, геолого-геофизические данные, оптическое поле.

Введение

Потребности человечества в энергоресурсах уже более сотни лет удовлетворяются в значительной мере за счет нефти и газа. Эти потребности сохраняют устойчивую тенденцию к росту, отчего их обеспечение требует постоянного увеличения объемов добычи углеводородного сырья. Поэтому проблемой нефтегазовой геологии, приобретшей в настоящее время особую актуальность, является необходимость поиска и разведки новых перспективных месторождений.

К сожалению, вследствие целого ряда объективных причин (от нерешенности вопроса генезиса углеводородов до сильной вариативности природных индикаторов наличия залежей) поиск и разведка новых нефтегазовых месторождений далеко не всегда приводят к нужным результатам (Лукин, 2004). Общемировой опыт свидетельствует, что значение коэффициента успеха нефтегазового бурения не превышает 30%, при этом сюда статистика включает и продуктивные скважины с не очень высокими дебитами. То есть компании, вкладывая значительные средства в разведку новых месторождений, далеко не всегда могут быть уверены в успехе.

Ситуация усугубляется тем, что время открытия простых в геологическом отношении месторождений углеводородов прошло. В настоящее время их разведку чаще всего приходится вести в труднодоступных и малоизученных географических районах, а сами залежи могут располагаться на весьма больших глубинах. Эти обстоятельства приводят к дополнитель-

тельному, иногда значительному, удорожанию и существенному увеличению сроков проведения нефтегазопоисковых работ.

Все это означает, что проведение поисково-разведывательных работ на нефть и газ сегодня является достаточно рискованным делом и на практике под силу только государству или крупным коммерческим компаниям. Поэтому усилия специалистов и ученых сосредоточены на разработке новых, экономически более эффективных методов и технологий поиска и разведки залежей углеводородов.

Одним из перспективных направлений является оценивание нефтегазоперспективности территорий с применением дистанционных аэрокосмических методов (Лялько и др., 2006). К безусловным их преимуществам относятся высокая оперативность, относительно низкая себестоимость, практическое отсутствие ограничений в географическом расположении изучаемой территории.

Природные скопления нефти и газа аккумулируются в коллекторах горных пород, которые являются ловушками углеводородов. Выявление ловушек ведется путем проведения комплексного анализа результатов геолого-геофизических работ, с учетом структурных особенностей земной коры, литографического и других факторов исследуемой территории. Такой анализ является весьма трудоемким и требует значительных временных затрат, особенно при необходимости исследовать большие площади.

Поэтому весьма актуальной является задача сокращения зоны поиска нефтегазоносных участков. Традиционный подход к расчету контуров залежей нефти и газа связан с бурением ряда скважин по профильной системе и построением геологических профилей и структурных карт (Мстиславская и Филиппов, 2005). Ниже описан иной подход, обеспечивающий решение задачи уточнения границ залежей углеводородов на основе комплексного геоинформационного анализа материалов космической съемки и геолого-геофизических данных.

Сущность подхода

В основе предлагаемого подхода лежат два следующие принципиальные утверждения:

1. Исходной для анализа и приоритетной при принятии решений считается геотектоническая (разломно-блочная) информация.

2. Имеет место генетическая связь залежи углеводородов с элементами ландшафта.

Для определения перспективности исследуемой территории и выделения первичных контуров местоскопления залежей используются имеющиеся геолого-геофизические данные, цифровой рельеф местности (DEM), а также материалы аэро- либо космической съемки.

При определении перспективности территории учитывается то обстоятельство, что благоприятные условия для образования нефти возникают, в первую очередь, в наиболее мобильных зонах земной коры, а именно в так называемых шовных рифтогенных зонах (Есипович, 2003). То есть мы исходим из того, что основной механизм формирования большинства осадочных бассейнов, где аккумулируются скопления нефти и газа, связан преимущественно с рифтогенезом. Объяснение тому состоит в следующем. Рифтообразование связано с движением высоко разогретого мантийного вещества, что приводит к расколу и раздвижению земной коры и впоследствии к образованию грабенообразных впадин, заполненных мощными толщами осадков. Эти впадины – наиболее вероятные очаги нефтеобра-

зования, так как для них характерны мощное осадконакопление, интенсивный прогрев и высокое давление. Именно так, как предполагается, было сформировано большинство осадочных бассейнов, где сосредоточены скопления нефти и газа (Мстиславская и Филиппов, 2005). Отсюда следует, что проводить поиск и разведку следует не в пределах структурных форм нефтегазового бассейна, а в пределах определенных тектоно-фациальных зон, где есть глубинные предпосылки образования углеводородов. Ширина таких зон составляет обычно от 4 до 12 км. При этом поисковое бурение ведется не на один или несколько продуктивных комплексов, а на изучение всего разреза буровой скважины, поскольку с глубиной достоверность открытия новых высокодебитных залежей повышается. Площадь ловушек в залегающих ниже горизонтах в целом уменьшается, и они могут даже не совпадать в плане, но дебиты углеводородного сырья будут только возрастать.

Генетическая связь залежи углеводородов с элементами природного ландшафта может проявляться в различных формах. Как показано (Noomen et al, 2006), присутствие залежи оказывает влияние на физические и геохимические свойства грунтов и растительности, в частности, на их оптические свойства. Факторы, оказывающие влияние на оптические отражательные свойства природных объектов (грунтов и растительности), расположенных над залежью углеводородов, отображены в схеме на рис. 1 (Архипов и др., 2008).

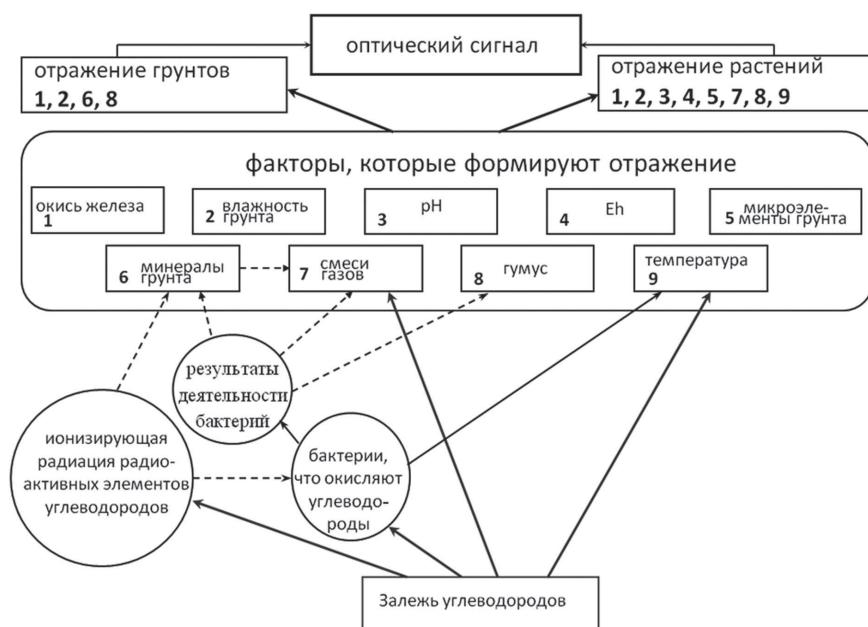


Рис. 1. Модель формирования оптического сигнала над залежью углеводородов

Геоинформационный анализ вариаций оптического поля ландшафта позволяет, в комплексе с геолого-геофизическими данными на исследуемую территорию, решать задачи уточнения перспективных участков залежей углеводородов (Станкевич и Титаренко, 2009).

Обработка данных начинается со структурного анализа имеющихся геолого-геофизических данных и цифрового рельефа территории исследования. Его результатом является формирование масок, указывающих участки исследуемой территории с возможными неотектоническими поднятиями, которые могут быть структурными ловушками углеводородов (Станкевич и др., 2009). Создание масок неотектоники является весьма сложным, плохо поддающимся автоматизации процессом, поэтому эта работа выполняется в настоящее время опытными геологами.

Разрабатываемый нами подход предусматривает наличие цифровых многоспектральных аэро- либо космических изображений на исследуемую территорию. Вполне подходят для этого, в частности, многоспектральные изображения, получаемые с действующих космических аппаратов RapydEye, ASTER, WorldView. Путем сегментации многоспектрального изображения выделяются однородные участки территории, или фации. Для этой цели используется специально разработанная процедура многомерной статистической сегментации (Архипов и др., 2009).

В общем случае одною маскою может накрываться сразу несколько сегментов на изображении. В пределах каждого такого сегмента изучается пространственное распределение спектральных сигналов оптического поля (изображения) и рассчитывается направление наибольших изменений оптического поля (градиент). Перпендикулярная, секущая к этому направлению, разбивает множество элементов сегмента на два подмножества, каждое из которых может рассматриваться как статистический объект с соответствующим распределением (обычно нормальным). Разделимость этих двух объектов может быть оценена расстоянием Бхатачария (Landgrebe, 2003). В пределах сегмента рассчитывается секущая, которая обеспечит максимум расстояния Бхатачария между объектами; эта секущая далее рассматривается как составной линейный элемент строящегося уточненного контура. Пространственное замыкание рассчитанных линейных элементов выполняется по специально разработанному алгоритму.

В результате формируется уточненный контур возможных границ залежи углеводородов (Popov et al, 2010), который позволяет еще более ограничить площадь поиска и упростить выбор площадей для поискового бурения.

На рис. 2 приведен алгоритм обработки и комплексного геоинформационного анализа исходных данных (геолого-геофизические данные + DEM + многоспектральное изображение) для уточнения границ перспективных участков залежей углеводородов.

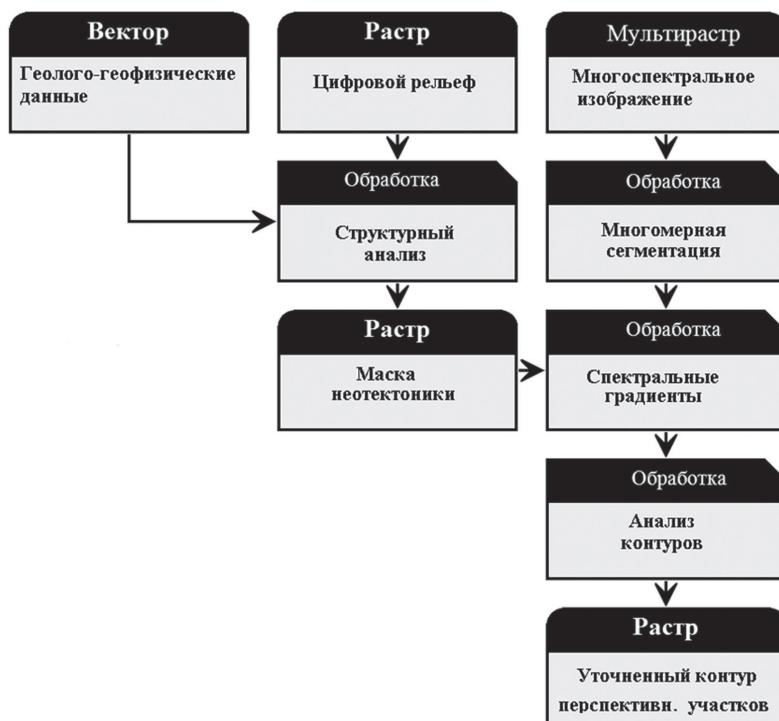


Рис. 2. Алгоритм уточнения границ залежей углеводородов на основе материалов космической съемки и геолого-геофизических данных

Основные составляющие алгоритма реализованы в среде GeomaticaX (The PCI Geomatics ProSDK Technical Specifications. – http://www.pcigeomatics.com/solutions/pdf/ProSDK_Tech_Spec.pdf) с использованием языков программирования Python и C++ и средств базы геоданных GDB.

Реализация подхода

Описанный подход к уточнению границ залежей углеводородов на основе материалов космической съемки и геолого-геофизических данных был реализован на программном стенде, для чего использовалось программное обеспечение компании PCI Geomatics. Элементы управления и графического интерфейса программного стенда созданы с помощью графической библиотеки Tkinter. В сложных вычислительных процедурах использованы внешние открытые библиотеки для языка программирования Python.

Отладка и тестирование технологии, в основе которой - предложенный подход, проводились на примере Хухра-Чернетчинской нефтегазоносной площади (Днепровско-Донецкая впадина, Украина). Исходными данными служили структурная карта данной площади (рис. 4) и материалы многоспектральной съемки указанной территории. Использовалось космическое изображение WorldView-2 от 14 июня 2010 г. из восьми зональных изображений в диапазоне длин волн от 0,40 до 1,04 мкм с пространственным разрешением на местности 1,8 метра. Многоспектральное изображение на указанную площадь было любезно предоставлено компанией DigitalGlobe и приведено в RGB-представлении на рис. 5.

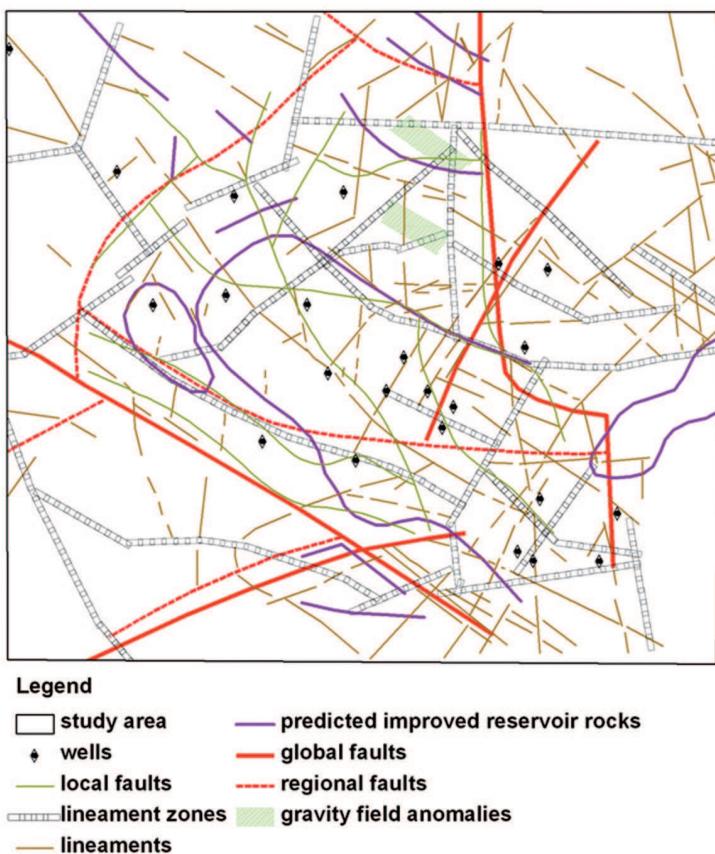


Рис. 4. Структурная карта Хухра-Чернетчинской нефтегазоносной площади

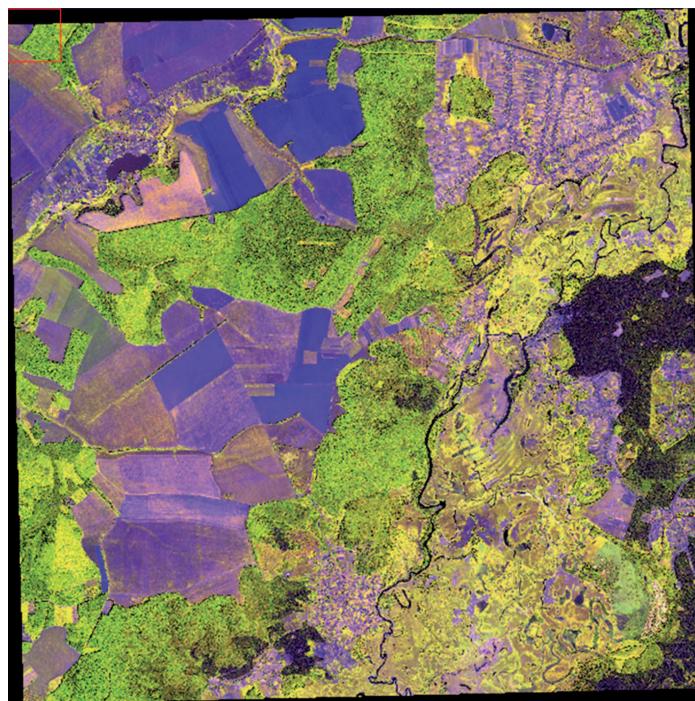
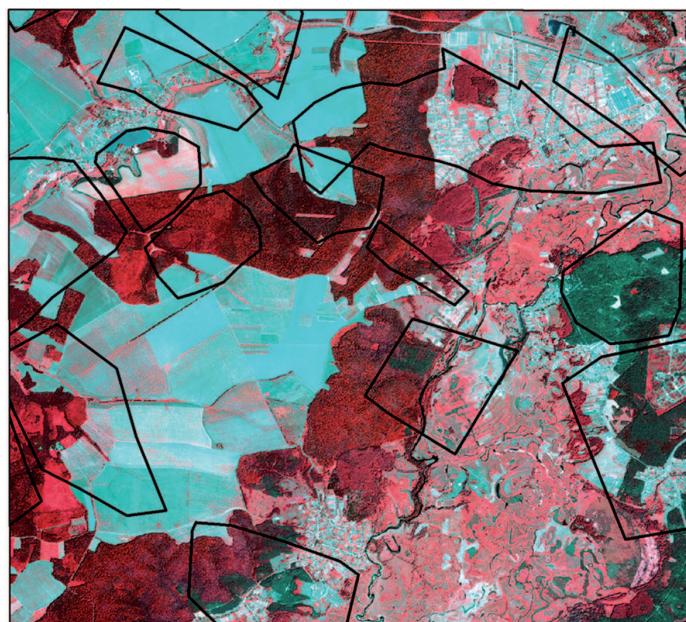


Рис. 5. Изображение исследуемой территории со спутника WorldView-2

На основе известных геопространственных данных и структурной карты формировались маски неотектонических поднятий. Процесс формирования масок выполнялся экспертом-геологом, при этом последний в своих решениях использовал также информацию, заключенную в космическом изображении. В результате была получена неотектоническая карта с нанесенными на нее масками перспективных участков (рис. 6).



Legend
■ neotectonically active areas

Рис. 6. Неотектоническая карта с масками перспективных участков

Была проведена компьютерная сегментация многоспектрального изображения WorldView-2 исследуемой территории, результат отображен в области просмотра пользовательского интерфейса программного стенда (см. рис. 3).

Были рассчитаны градиенты оптического поля сегментов в пределах сформированных неотектонических масок, определено положение секущих - составных линейных элементов и выполнено их пространственное замыкание, что в результате позволило получить уточненные контуры возможных границ залежей углеводородов.

В качестве примера на рис. 7 приведены (в укрупненном масштабе) исходные и уточненные границы залежей углеводородов для одного из выбранных участков.

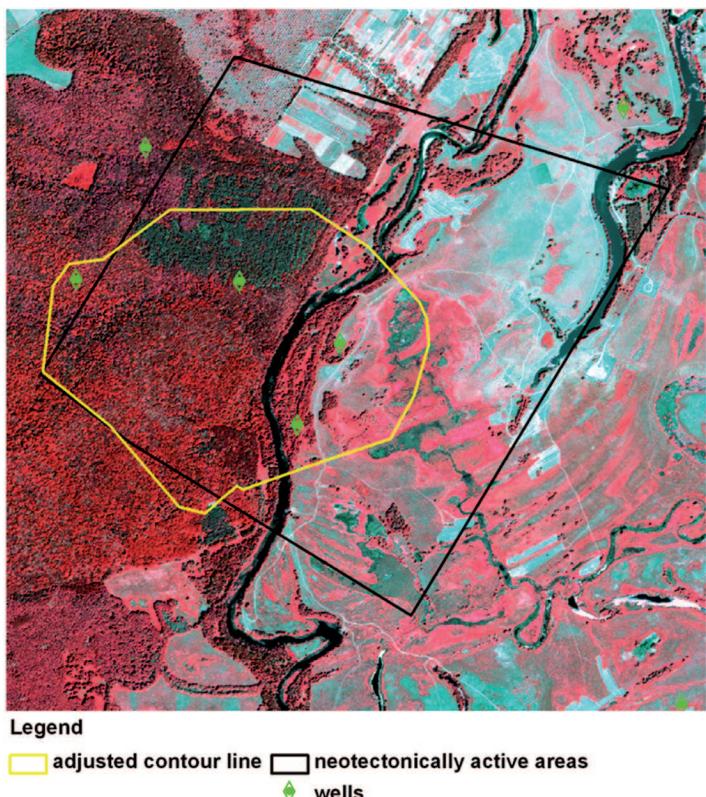


Рис. 7. Границы залежей углеводородов для выбранного участка

Заключение

Таким образом, предложенный подход, основанный на геоинформационном анализе материалов многоспектральной космической съемки и геолого-геофизических данных, позволяет достаточно эффективно решать одну из актуальных задач нефтепоисковой геологии, а именно сужать площадь поиска и тем самым упрощать выбор площадей для поискового бурения.

Дальнейшие исследования должны быть направлены на повышения уровня автоматизации выполнения процессов структурного анализа геолого-геофизических данных и создания масок неотектоники, а также процедур принятия решений. Перспективным представляется применение для уточнения контуров нефтегазоперспективных участков результатов полевого спектрометрирования.

Авторы выражают благодарность компании PCI Geomatics за предоставленную возможность пользоваться ее программным обеспечением. Также авторы признательны компании DigitalGlobe за предоставленные космические снимки WorldView-2 на исследуемую территорию.

Литература

1. *Архипов А.И., Кузнецова А.В., Сенько О.В., Станкевич С.А., Титаренко О.В.* Результаты статистического выявления границ залежей углеводородов на сушке с использованием многоспектральных космоснимков и данных полевого спектрометрирования // Космічна наука і технологія, 2009. Т. 15. № 6. С. 44-48.
2. *Архипов А.И., Станкевич С.А., Титаренко О.В.* Определение границы контура залежи углеводородов по признаку статистической разделимости спектрограмм растительного покрова // Материалы Всероссийской конференции “Дегазация Земли: геодинамика, геофлюиды, нефть, газ и их парагенезы”. М.: ИПНГ РАН, 2008. С. 33-36.
3. Багатоспектральні методи ДЗЗ в задачах природокористування // За ред. В.І. Лялька і М.О. Попова. К.: Наукова думка, 2006. 360 с.
4. Есипович С.М. Геолого-геофизические и структурно-морфологические характеристики шовных рифтогенных зон // Науковий вісник НГУ, Днепропетровск, 2003. №10. С. 38-40.
5. Лукин А.Е. Прямые поиски нефти и газа: причины неудач и пути повышения эффективности // Геолог України, 2004. №3. С. 18-43.
6. Мстиславская Л.П., Филатов В.П. Геология, поиски и разведка нефти и газа. М.: ЦентрЛитНефтеГаз, 2005. 200 с.
7. Станкевич С.А., Титаренко О.В. Методика інтеграції дистанційних та геолого-геофізичних даних при пошуку нафти та газу // Ученые записки Таврического национального университета им. В.И. Вернадского, 2009. Т. 22 (61). № 1. С. 105-113.
8. Станкевич С.А., Титаренко О.В., Архипов А.И. Методика картирования границ залежей углеводородов с использованием данных дистанционного зондирования // Тезисы докладов Международной научно-технической конференции “Аэрокосмические технологии в нефтегазовом комплексе”. М.: РГУ НИГ им. И.М. Губкина, 2009. С. 164-165.
9. Landgrebe D.A. Signal Theory Methods in Multispectral Remote Sensing // New Jersey: Wiley-Interscience, 2003. P. 157.
10. Noomen M.F., Skidmore A.K., van der Meer F.D., Prins H.H.T. Continuum removed band depth analysis for detecting the effects of natural gas, methane and ethane on maize reflectance // Remote Sensing of Environment, 2006. Vol. 105. P. 262-270.
11. Popov M.A., Stankevich S.A., Kovalchuk S.P., Arkhipov A.I., Levchik E.I., Titarenko O.V. Oil deposits mapping using remote sensing / ground data and PCI Geomatics technologies // Proceedings of the Second Ukrainian Conference with International Participation “Earth Observations for Sustainable Development and Security”. Kiev: Osvita of Ukraine, 2010. P. 18-21.

Hydrocarbon deposit boundaries alignment using geoinformation analysis of multispectral space imagery and geological and geophysical data

**A.I. Arkhipov¹, S.M. Esipovich¹, A. Kaushal², S.P. Kovalchuk¹, M.A. Popov¹,
S.A. Stankevich¹, O.V. Titarenko¹**

¹*Scientific Centre for Aerospace Research of the Earth of Institute of Geological Sciences of National Academy of Sciences of Ukraine,
55-B, Honchara str Kiev, 01601, Ukraine
E-mail: mpopov@casre.kiev.ua;*

²*Rolta India Ltd,
Rolta Bhavan, Marol, MIDC, 22nd St Andheri East, Mumbai, Maharashtra 400093, India
E-mail: akaushal1960@gmail.com*

The problem of hydrocarbon deposit boundaries alignment is considered. According to offered approach the structural analysis of available geological and geophysical data and digital elevation data is carried out and the mask formed that determine areas of possible hydrocarbon traps. Area inside the mask is studied using multispectral imagery. Hydrocarbon deposit boundaries alignment is based on the analysis of the spatial distribution of spectral optical signal field. The procedure for the hydrocarbon deposit boundaries alignment using satellite imagery and geological and geophysical data is implemented in processing research kit on the PCI Geomatics software platform.

Keywords: geoinformation analysis, hydrocarbon deposit, multispectral space image, geological and geophysical data, optical field.