

2. НПП „Геосистема“ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.vingeo.com/Rus/index.html>. – Название с экрана.
3. Программное обеспечение трехмерного моделирования городов компании CyberCity AG [Электронный ресурс]. – Режим доступа: – http://www.earsel.org/workshops/SIG-URS-2006/PDF/Poster2_Ulm.pdf. – Название с экрана.
4. Григорова О. Как построить свой первый виртуальный город [Электронный ресурс]. / Григорова О. – Режим доступа: <http://geosystema.net/digitals/?act=3dbuild>. – Название с экрана.
5. Pictometry – The Aerial Oblique Photography Company [Электронный ресурс]. – Режим доступа : – <http://www.pictometry.com/home/home.shtml>. – Название с экрана.
6. Wehrli & associates Inc. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: – http://www.wehrliassoc.com/Professional_Surveyor_October_2008.pdf. – Название с экрана.
7. C3 – The world in 3D [Электронный ресурс]. – Режим доступа : – <http://www.c3technologies.com/>. – Название с экрана.
8. Технология автоматической генерации моделей городов, университет Беркли, США [Электронный ресурс]. – Режим доступа: – <http://www-video.eecs.berkeley.edu/~frueh/3d/>. – Название с экрана.

9. Бондарец А. Основные стратегии создания 3D моделей городов [Электронный ресурс]. / Бондарец А. – Режим доступа: <http://gis-lab.info/qa/3dcities.html>. – Название с экрана.
10. Трехмерная модель города Винница [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.vinmap.net/vinnitsa/>. – Название с экрана.

Розглянуто різні технології тривимірного моделювання міських територій, описано технологію напівавтоматичного створення тривимірних моделей, реалізовану в Delta/Digitals, і представлено результати виконання пілотного проекту по місту Донецьку.

Ключові слова: 3D модель, цифрова камера, аеросканер, цифрова фотограмметрична станція, 3D примітиви

The various technologies of three dimensional modeling of urban areas have been considered and the technology of three dimensional semi-automatic models have been described. Technology has been performed in an environment of the Delta/Digitals. The results of the pilot project for the Donetsk city is described in the article.

Keywords: 3D model, Digital Camera, Airborne Scanner, Digital Photogrammetric Station, 3D primitive elements

Рекомендовано до публікації докт. техн. наук Б.С. Бусыгиним. Дата надходження рукопису 28.02.11

УДК 528.852

**Б.С. Бусыгин, д-р техн. наук, проф.,
С.Л. Никулин, канд. геол. наук, доц.,
Е.П. Зацепин**

Государственное высшее учебное заведение „Национальный горный университет“, г. Днепропетровск, Украина, e-mail: busyginb@nmu.org.ua

ПРОГНОЗ УГЛЕВОДОРОДНЫХ ОБЪЕКТОВ ПО КОМПЛЕКСУ ГРАВИМАГНИТНЫХ И КОСМИЧЕСКИХ ДАННЫХ НА ТЕРРИТОРИИ ДНЕПРОВСКО-ДОНЕЦКОЙ ВПАДИНЫ

**B.S. Busygin, Dr. Sc. (Tech.), Professor,
S.L. Nikulin, Cand. Sc. (Geol.), Associate Professor,
Ye.P. Zatsepin**

State Higher Educational Institution “National Mining University”, Dnipropetrovsk, Ukraine, e-mail: busyginb@nmu.org.ua

THE HYDROCARBON OBJECTS PREDICTION BY THE COMPLEX OF GRAVIMAGNETIC AND SPACE DATA WITHIN THE TERRITORY OF DNEPR-DONETS CAVITY

Представлена компьютерная технология интегрированного анализа комплексных гравимагнитных и космических данных при поисках углеводородных объектов. Дано описание специализированной системы РАПИД. Приведены результаты экспериментов по оценке эффективности прогноза углеводородных объектов путём интегрированного анализа космических и гравимагнитных материалов на территории Днепроовско-Донецкой впадины (ДДВ). Приведены результаты, подтверждающие эффективность развиваемого подхода к прогнозированию углеводородных объектов на территории ДДВ, основанного на методах линейного анализа.

Ключевые слова: компьютерная технология, геоинформационная система, углеводородные объекты, гравимагнитные и космические данные, линейменты, Днепроовско-Донецкая впадина

Введение. Днепроовско-Донецкая впадина (ДДВ) является крупнейшей нефтегазоносной областью Ук-

раины, интенсивно исследуемой и разрабатываемой более 50-ти лет. В связи с этим, практически все углеводородные залежи, находящиеся на глубинах до 5 км, на данный момент выявлены и частично отра-

ботаны. В настоящее время важнейшим стратегическим направлением поисков нефти и газа на территории ДДВ является исследование глубин свыше 5 км, где в интервале 5-8 км сосредоточено, по некоторым оценкам, свыше 5 млрд тонн условного топлива.

На сегодняшний день для поиска глубокозалегающих залежей используются, в основном, различные модификации 3D сейсморазведки. Однако, обладая высокой геологической эффективностью, они требуют крупных экономических затрат. В связи с этим, в последние годы всё большее внимание уделяется подходам, основанным на использовании комплекса значительно менее затратных геофизических (гравимагнитных и электроразведочных) методов и материалов космических съемок различной физической природы (радарных, тепловых, мультиспектральных и др.) [1]. Обычно результаты их интерпретации используются для предварительного прогноза перспективных участков, на которых целесообразна постановка детальной сейсморазведки. Естественно, что вопрос оценки эффективности интегрированного анализа гравимагнитных и космических материалов при поисках глубокозалегающих углеводородных объектов является весьма актуальным.

Работа посвящена описанию результатов экспериментов по оценке эффективности прогноза углеводородных объектов путём интегрированного анализа космических и гравимагнитных материалов.

Участок работ и задачи исследований. Площадь исследований – 17 810 км² (137×130 км) (рис. 1). К началу 2011 года здесь выявлены десятки залежей углеводородов на глубинах до 5 км, среди которых одно из крупнейших в Европе – Шебелинское газовое месторождение.



Рис. 1. Расположение участка

Эксперименты выполнялись для решения двух основных задач:

1) количественной оценки тесноты связи между прямыми и косвенными признаками. Поскольку значения прямых признаков, в отличие от косвенных, известны лишь для малой части территории, занятой известными месторождения, их непосредственное использование для прогноза новых залежей невозможно. Поэтому установление достоверной связи между прямыми и косвенными признаками открывает возможность для использования последних при прогнозе новых объектов на всей исследуемой территории;

2) прогноза перспективных участков с привлечением двух различных подходов – линеamentного анализа и аппарата распознавания образов с последующим сравнением полученных результатов.

Исходные данные. Исходные данные включают: гравитационную (Δg) и магнитную (Za) съемки, заданные по сети 500×500 м, радарный панхроматический снимок (аппаратура SRTM; Shuttle Radar Topography Mission, разрешение 90 м), данные о физико-химических свойствах и структурно-геологических характеристиках 29-и известных залежей углеводородов, представленных газовыми, газоконденсатными и нефтегазовыми объектами [2], карты изогипс фундамента и отражающих горизонтов осадочной толщи.

Были сформированы две совокупности признаков нефтегазоносности – *прямых*, представленных в виде табличных данных о свойствах залежей углеводородов, и *косвенных*, сформированных из значений физических полей и космоснимка, карт изогипс фундамента и горизонтов, а также их трансформант.

В качестве *прямых признаков* использовались характеристики известных залежей углеводородов (глубина залегания кровли продуктивного горизонта, абсолютная глубина контакта, глубина залежи, ширина горизонта, ширина коллектора, коэффициент пористости, проницаемость, коэффициент насыщения, начальное пластовое давление, давление начала конденсации, пластовая температура), характеристики конденсатов (молекулярная масса, плотность, вязкость, начало кипения), характеристики природного газа (относительная плотность, теплотворные характеристики, состав газа), характеристики пластовых вод продуктивных горизонтов (минерализация, плотность, показатель pH, соотношение Na/Cl). Всего использовалось 28 прямых признаков.

Трансформанты физических полей и космоснимка, используемые как *косвенные признаки*, рассчитывались в среде ГИС РАПИД путём нахождения трансформант гравитационного и магнитного полей, а также материалов радарных космических съемок. Каждой точке ставился в соответствие вектор признаков $X = (x_1, x_2, \dots, x_p)$, где p – размерность вектора – количество имеющихся признаков, являющихся некоторой характеристикой исследуемого объекта, соответствующего данной точке. Для каждой такой точки в пределах скользящих квадратных окрестностей размером 1×1, 3×3 и 10×10 км вычислялось более 300 признаков, отражающих структурные, текстурные, статистические и др. особенности геофизических полей и оценивалась их информативность.

После проведения специальных операций из совокупности исходных косвенных признаков были отобраны 47 наиболее информативных. Среди них: средние и разностные значения на окрестностях, величины вертикальных и горизонтальных градиентов, азимуты максимальных изменений градиентов, число локальных максимумов и минимумов, характеристики линеamentных сетей [3], выделенных в физических полях и на космоснимках, и др.

Таким образом, каждый из 29-и известных углеводородных объектов представлялся точкой сети геофизических наблюдений, находящейся в пределах контура объекта на карте, которой ставились в соответствие 2 вектора – из значений 28 прямых призна-

ков $X^{\Pi} = \{x_i^{\Pi}\}_{i=1, \dots, 28}$ и из 47-и косвенных $X^K = \{x_i^K\}_{i=1, \dots, 47}$.

Этапы работ. Основным инструментом исследований служила специализированная геоинформационная система РАПИД [4], реализующая технологию интегрированного анализа разнородных и разноуровневых данных с использованием математического аппарата обработки изображений [5] и интеллектуального анализа данных [6, 7] путем проведения вычислительных экспериментов [8].

На первом этапе выполнялась кластеризация известных объектов по двум совокупностям признаков – прямых и косвенных – с использованием метода многомерного шкалирования на основе 3D-триангуляции [9], имеющего целью снижение размерности признакового пространства с сохранением геометрической структуры исходного множества за счет применения процедуры элементарных геометрических построений, в ходе которых все точки исходного множества отображаются в трех-

мерное пространство с сохранением исходной матрицы расстояний между объектами в многомерном признаковом пространстве. Такое отображение дает возможность представления результатов кластеризации в удобной для визуального анализа форме.

На рис. 2, 3 представлены результаты кластеризации, полученные в рамках применения метода 3D-триангуляции. Разбиение объектов на заданное число кластеров выполнялось по методу Уорда [10]. При этом в качестве новых признаков использовались координаты объектов в трехмерном пространстве. Основная цель проведения расширенного кластерного анализа (с разбиением объектов на 2-4 кластера) – обнаружение сходств в результатах кластеризации, полученных по прямым и косвенным признакам для заданного числа кластеров. Установлено, что наибольший коэффициент корреляции (0.85) между результатами кластеризации по прямым и косвенным признакам достигается при разделении объектов на 3 кластера. При разделении объектов на число кластеров $k > 4$ показатель корреляции значительно снижается.

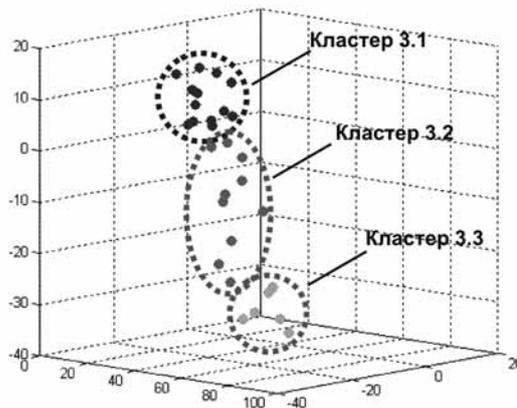
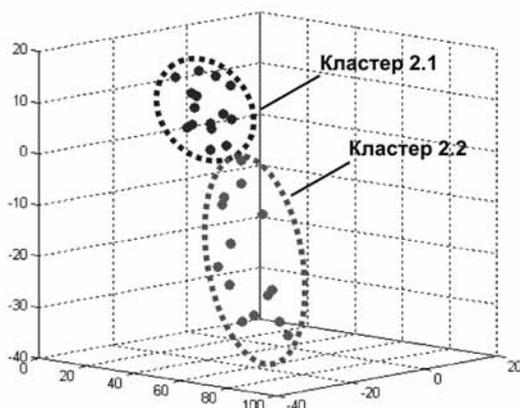


Рис. 2. Отображение объектов из многомерного пространства, сформированного косвенными признаками, в трехмерное пространство с разделением на 2 и 3 кластера

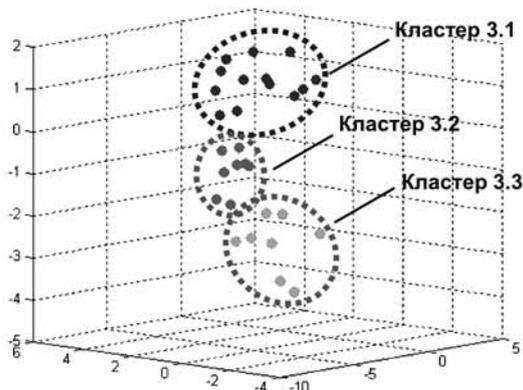
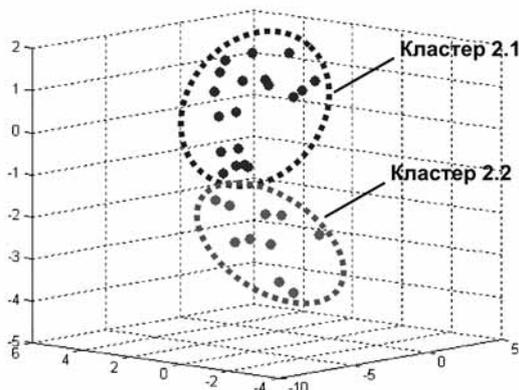


Рис. 3. Отображение объектов из многомерного пространства, сформированного прямыми признаками, в трехмерное пространство с разделением на 2 и 3 кластера

На рис. 4-6 показано расположение углеводородных объектов на площади с указанием принадлежности к кластерам.

Сравнение результатов кластеризации показывает значительную степень сходства характера разделения объектов, а средняя статистически достоверная оцен-

ка коефіцієнта кореляції колабється в пределах 0.83–0.85.

Таким образом, экспериментально доказано существование сходства между результатами кластеризации по прямым и косвенным признакам, что открывает возможности для прогноза новых нефтегазовых объектов на всей исследуемой территории ДДВ с использованием комплекса гравимагнитных и космических данных.

На втором этапе выполнялся прогноз углеводородных объектов с использованием аппарата линейного анализа, включающего выделение и исследование линейментов – прямолинейных фрагментов изображения, выделяемых на космических снимках и в физических полях. Существует целый ряд свидетельств существования закономерной связи между расположением линейментов и нефтегазовых залежей [11].

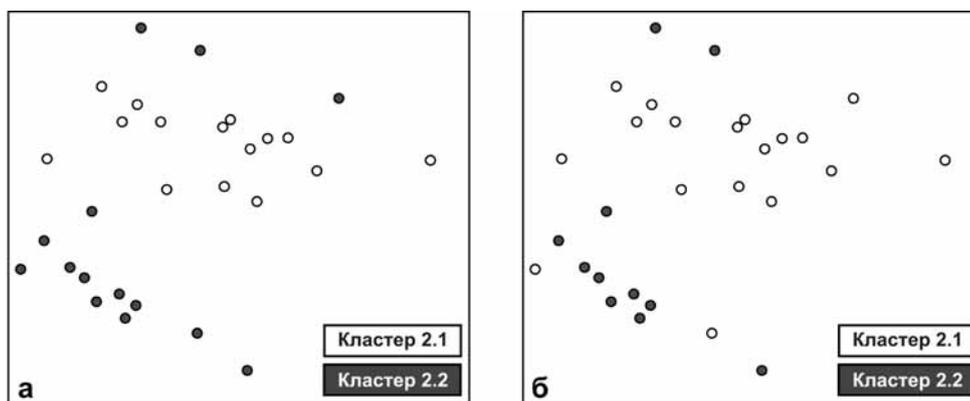


Рис. 4. Расположение углеводородных объектов с разделением на 2 кластера по косвенным (а) и прямым признакам (б)

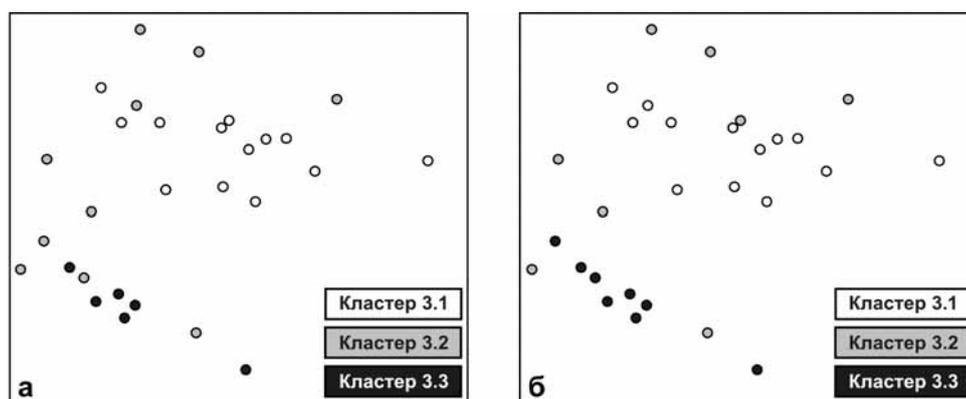


Рис. 5. Расположение углеводородных объектов с разделением на 3 кластера по косвенным (а) и прямым (б) признакам

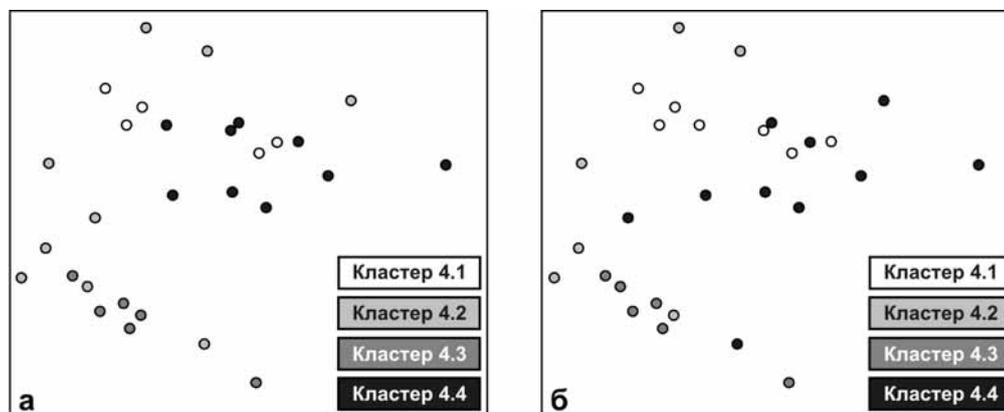


Рис. 6. Расположение углеводородных объектов с разделением на 4 кластера по косвенным (а) и прямым (б) признакам

На космическом снимке и картах гравитационного и магнитного поля в автоматическом режиме с помощью „оптимального детектора“ Кенни [12] и трансформации Хафа выделялись наиболее крупные линеаменты протяженностью более 10 км. Всего было выделено более 50 таких объектов. Расчет круговых диаграмм показал (рис. 7), что на изображении присутствуют две ортогональные системы линеаментов с азимутами 0° и 90° , а также 45° и 135° .

Далее в пределах скользящей окрестности размером 10×10 км вычислялась плотность линеаментов на единицу площади, а также ряд других характеристик линеаментной сети: количество пересечений линеаментов, расстояние от центральной точки окрестности до ближайшего линеамента и др., соотношение плотности разнонаправленных линеаментов [3].

На рис. 8 представлена схема расположения зон наибольшей плотности линеаментов азимутов 45° и 135° . Легко заметить, что абсолютное большинство

известных объектов приурочено к зонам высокой плотности и узлам их пересечения.

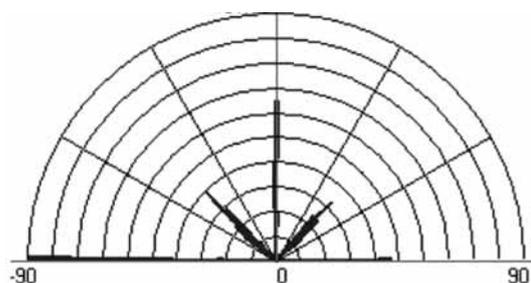


Рис. 7. Круговая диаграмма направлений линеаментов

Используя полученную карту, было выделено 11 точек, расположенных в пределах наиболее высоких значений зон плотности линеаментов („перспективных“) и 10, попадающих в зоны наиболее низких её значений („бесперспективных“).

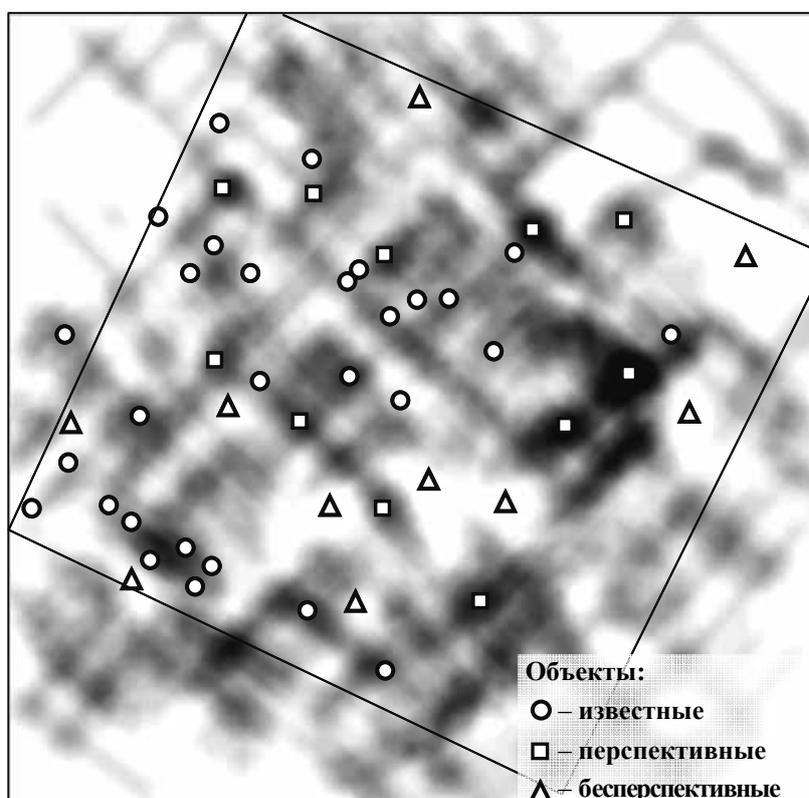


Рис. 8. Карта плотности линеаментов

Оценка полученных результатов заключалась в следующем. Формировалось два набора точек, в первый из которых входили центры известных объектов, а также выделенные перспективные точки, а во второй – центры известных объектов и бесперспективные точки. Для каждого из наборов выполнялась кластеризация методом 3D-триангуляции по косвенным признакам.

На рис. 9, а показано отображение известных и перспективных объектов в трехмерное пространство с разделением на три кластера по методу Уорда, поскольку задание именно такого числа кластеров позволило достичь наибольшего сходства результатов по прямым и

косвенным признакам на первом этапе. На рис. 9, б представлено аналогичное отображение известных и „бесперспективных“ объектов с разделением уже на четыре кластера, поскольку большинство „бесперспективных“ объектов отделились в отдельный кластер.

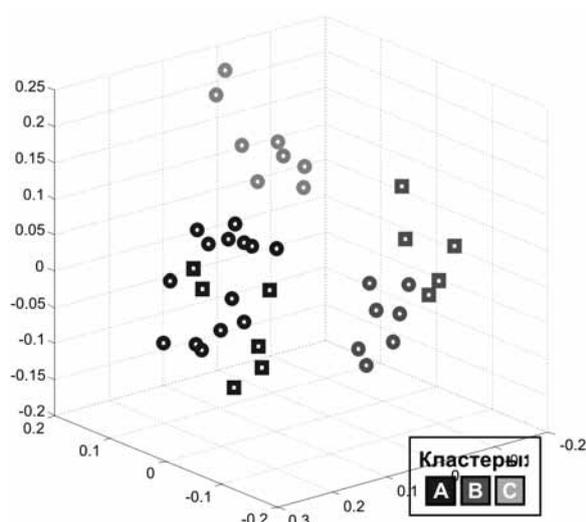
В обоих случаях состав кластеров практически не изменился и соответствует представленному на рис. 5. Пространственное расположение объектов соответствующих кластеров показано на рис. 10. При этом хорошо заметно, что абсолютное большинство „бесперспективных“ объектов составляет отдельный кластер (D).

Это свидетельствует о геологической содержательности полученных результатов и позволяет рассматривать участки с максимальными значениями плотности осей линеаментных зон, как перспективные для обнаружения нефтегазовых объектов.

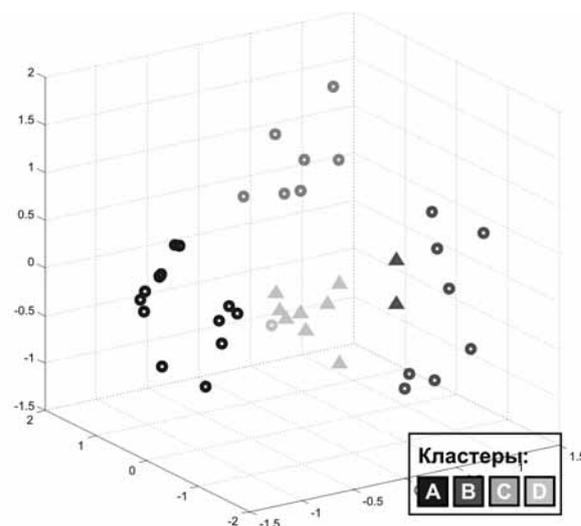
На третьем этапе работ выполнялось прогнозирование углеводородных объектов на всей террито-

рии путём вычисления специальных мер близости по отношению к известным объектам (эталонам) и построение соответствующих карт. Решались задачи:

1. Выделение участков, перспективных на обнаружение углеводородных объектов.
2. Оценка достоверности прогноза, выполненного методами линеаментного анализа.

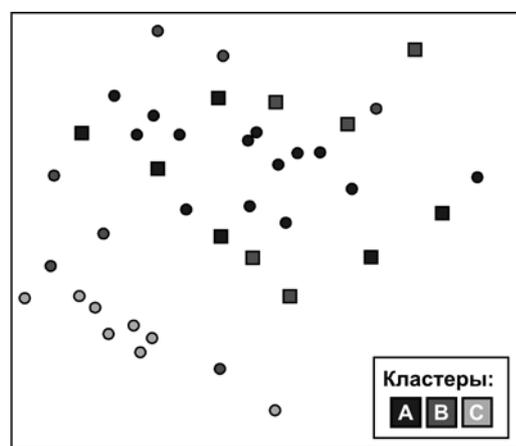


а

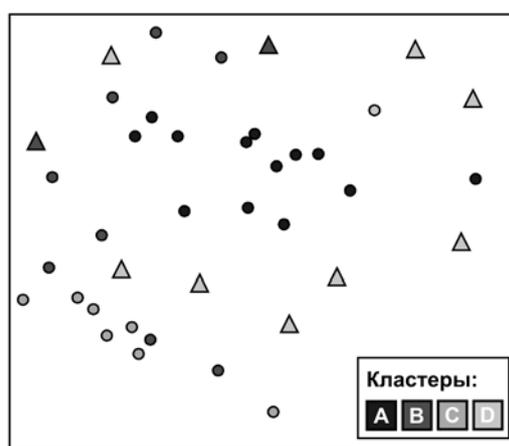


б

Рис. 9. Отображение известных, а также перспективных (а) и бесперспективных (б) объектов из многомерного пространства в трехмерное



а



б

Рис. 10. Результаты кластеризации углеводородных объектов первого (а) и второго (б) набора

Для этого в многомерном пространстве, сформированном набором косвенных характеристик, выполнялось ранжирование территории по мере близости к известным углеводородным объектам, попавшим в результате применения 3D-триангуляции (рис. 9, а) в классы А, В и С. Ранжирование выполнялось на основе функции угловой меры близости [13], поскольку полу-

чаемые с её помощью результаты наилучшим образом согласуются с априорной геологической информацией. Полученные карты близости к классам А, В и С объединялись путём вычисления средневзвешенного значения с весовыми коэффициентами, пропорциональными количеству объектов в классе, в результате чего была построена комплексная прогнозная карта (рис. 11).

Её анализ показывает, что перспективные и бесперспективные объекты, выбранные по результатам линеamentного анализа (рис. 10), в значительной мере согласуются со значениями комплексной прогнозной карты. Так, из 11 перспективных объектов, соответствующих участкам с максимальными значениями

плотности линеamentов, 9 находятся в зонах с максимальной близостью к эталонам (рис. 12, а). Из 10 „бесперспективных“ объектов, соответствующих участкам с минимальной плотностью линеamentов, все 10 приурочены к участкам с минимальным сходством с эталонными объектами (рис. 12, б).

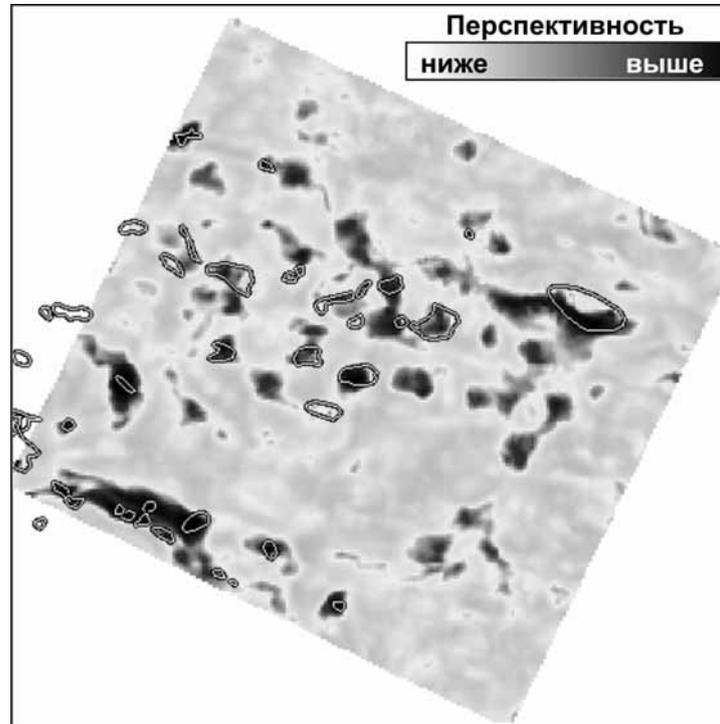


Рис. 11. Комплексная прогнозная карта с контурами известных залежей

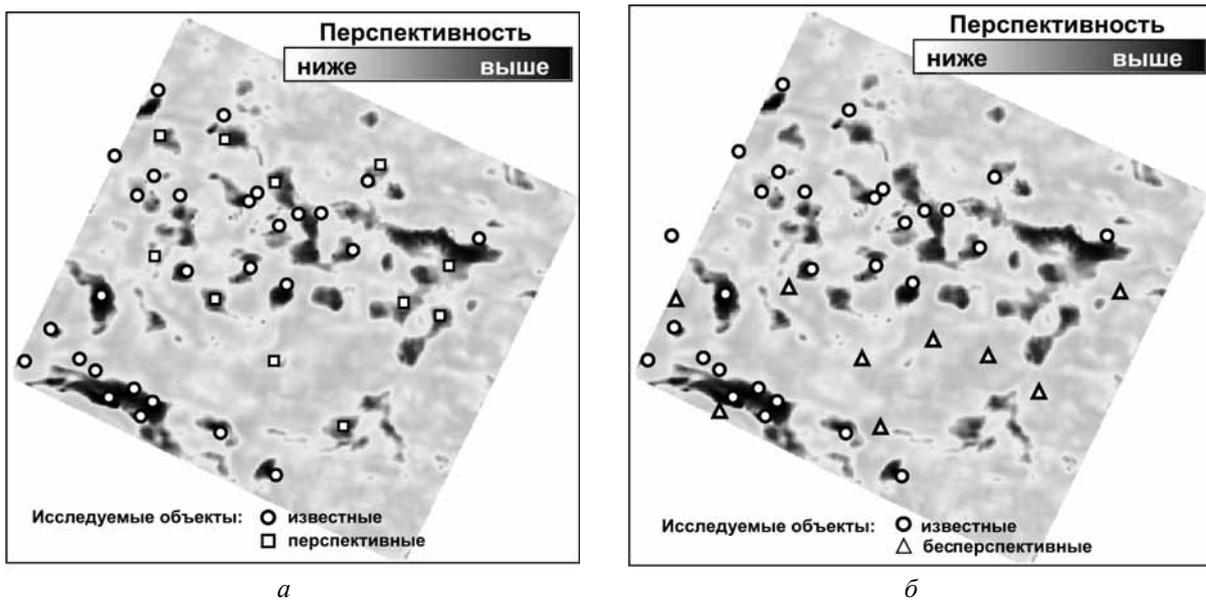


Рис. 12. Объекты, выделенные методами линеamentного анализа, на комплексной прогнозной карте: перспективные (а), бесперспективные (б)

Выводы:

1. Два независимых метода прогнозирования продемонстрировали весьма схожие результаты, хорошо согласующиеся с априорной геологической информацией. Это является подтверждением эффективности развиваемого подхода к прогнозированию углеводородных объектов на территории ДДВ, основанного на методах линеamentного анализа.

2. Приведенные результаты свидетельствуют о возможности использования относительно дешевых геофизических (гравитационных и магнитных), а также космических методов для предварительного выделения локальных перспективных участков. В пользу этого свидетельствует тот факт, что кластеры, полученные с использованием косвенных геофизических характеристик, имеют высокий (до 0,85) коэффициент корреляции с соответствующей кластеризацией объектов по прямым характеристикам.

3. Полученные результаты свидетельствуют о перспективности подхода, основанного на интегрированном анализе космических снимков и потенциальных полей при прогнозировании залежей углеводородов в пределах ДДВ.

4. Применение описанных методов даёт возможность значительно сократить затраты на проведение предварительного прогноза без существенной потери полезной информации и определить места расположения скважин для проведения более детальных поисковых работ.

Список литературы

1. Некрасов А.И. Использование материалов дистанционных съемок для прогноза флюидопроницаемости чехла Западно-Сибирского бассейна [*Электронный ресурс*] / А.И. Некрасов, И.П. Сапчук // Режим доступа: http://www.sovzondconference.ru/pdf_2008/0055_rus.pdf
2. Атлас родовищ нефти і газу України. В 6-ти т. / [наук. редкол. М. М. Іванюти та ін.]. – Львів: УНГА, 1998. – 2342 с.
3. Бусыгин Б.С. ГИС-технология поисков золота в Западном Узбекистане / Б.С. Бусыгин, С.Л. Никулин, В.А. Бойко // *Геоинформатика*. – 2006. – №1. – С.44–49.
4. Pivnyak G. Geoinformation System RAPID as the Means of Solving the Problems of Environment and Nature Management / G. Pivnyak, B. Busygin, S. Nikulin // SWEMP 2010, Prague, Czech Republic. – 7 p.
5. Gonzalez R.C. Digital Image Processing (3rd ed.) / R.C. Gonzalez, R.E. Woods. – Prentice Hall, 2008. – 954 p.
6. Borg I. Modern Multidimensional Scaling: theory and applications (2nd ed.) / I. Borg, P. Groenen. – Springer-Verlag, 2005. – 614 p.
7. Kantardzic M. Data Mining: Concepts, Models, Methods, and Algorithms. / Kantardzic M. – John Wiley & Sons, 2003. – 343 p.
8. Busygin B. The methodology of oil and gas deposits prognosis by space and geophysical data / B. Busygin,

S. Nikulin // 71rd EAGE conference, 2009. – 1 электрон. опт. диск (DVD-ROM). – 4 p.

9. Бусыгин Б.С. Метод трехмерной триангуляции в задачах кластерного анализа / Б.С. Бусыгин, Е.П. Зацепин // *Искусственный интеллект*. – 2010. – №1. – С. 16–24.

10. Ward J.H. Hierarchical grouping to optimize an objective function. / Ward J.H. – *J. Am. Statist.*, 1963, Assoc. 58, pp. 236–244.

11. Количественная оценка перспектив нефтегазодности территорий на основе комплексной обработки материалов космических и геофизических съемок / В.И. Горный, С.Г. Крицук, И.Ш. Латыпов, А.А. Тронин // *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*. – 2008, №8. – Т.1 – С. 349–355.

12. Canny J.F. A computational approach to edge detection / Canny J.F. // *IEEE Trans Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 1986. – no. 8. – P. 679–698.

13. Бусыгин Б.С. Распознавание образов при геолого-геофизическом прогнозировании / Б.С. Бусыгин, Л.В. Мирошниченко. – Днепропетровск: Изд-во Днепропетр. ун-та, 1991. – 168 с.

Представлено комп'ютерну технологію інтегрованого аналізу комплексних гравімагнітних і космічних даних при пошуках вуглеводневих об'єктів. Дано опис спеціалізованої системи РАПД. Наведено результати експериментів з оцінки ефективності прогнозу вуглеводневих об'єктів шляхом інтегрованого аналізу космічних і гравімагнітних матеріалів на території Дніпровсько-Донецької западини (ДДЗ). Описано результати, які підтверджують ефективність підходу, що розвивається, заснованого на методах лінеamentного аналізу, до прогнозування вуглеводневих об'єктів у межах ДДЗ.

Ключові слова: комп'ютерна технологія, геоінформаційна система, вуглеводневі об'єкти, гравімагнітні та космічні дані, лінеamenti, Дніпровсько-Донецька западина

The computer technology of complex gravitational, magnetic and satellite data integrated analysis for hydrocarbon objects searching is presented. The description of specialized system PARID is given. Results of experiments according to efficiency of the forecast of hydrocarbon objects by the integrated analysis of satellite and gravimagnetic data within territory of the Dnieper-Donetsk cavity (DDC) are resulted. The results confirming efficiency of the developed approach to forecasting of hydrocarbon objects within DDC, based on lineament analysis methods are described.

Keywords: computer technology, geoinformation system, hydrocarbon objects, gravimagnetic and satellite data, lineaments, Dnieper-Donetsk cavity (DDC)

Рекомендовано до публікації докт. техн. наук І.А. Садовенком. Дата надходження рукопису 11.03.11