

## Список литературы

1. Jain A.K., Murty M.N., Flynn P.J. Data Clustering: A Review. ACM Computing Surveys, 1999, Vol. 31, No.3, pp. 264–323.
2. Жамбю М. Иерархический кластер-анализ и соответствия / Жамбю М. – М.: Финансы и статистика, 1988. – 342 с.
3. Romesburg, H. C. Cluster Analysis for Researchers. – Lulu Press, 2004, 334 p.
4. Borg, I., Groenen, P. Modern Multidimensional Scaling: theory and applications (2nd ed.): Springer-Verlag, 2005.
5. Бусыгин Б.С. Метод трехмерной триангуляции в задачах кластерного анализа / Б.С. Бусыгин, Е.П. Зацепин // Искусственный интеллект. – 2010. – №1. – С. 16–24.
6. Бусыгин Б.С. Кластеризация объектов на основе применения метода триангуляции / Б.С. Бусыгин, Е.П. Зацепин // Науковий вісник Національного гірничого університету. – 2006. – №3. – С. 70–75.
7. Haralick R.M. Statistical and structural approaches to texture. Proceedings of the IEEE, V. 67, 1979.
8. Canny J.F. A computational approach to edge detection. IEEE Trans Pattern Analysis and Machine Intelligence, 8(6), 1986, pp. 679-698.
9. Атлас родовищ нафти і газу України: в 6 т. / гол. ред. М.М. Іванюта. – Львів: „Центр Європи“, 1998. – 2342 с.

УДК 681.3

С.Л. Никулин, канд. геол. наук, доц.

Представлено рішення задачі аналізу еталонних об'єктів на основі методу 3D-триангуляції, що належить до методів багатовимірного шкалювання. Розглянуто можливість якісного збереження геометричної структури множини об'єктів при відображенні багатовимірного простору в тривимірне. Наведено результати застосування методу для вирішення задачі кластеризації вуглеводневих об'єктів, розташованих на території Дніпровсько-Донецької западини (східна частина України).

**Ключові слова:** *вуглеводневі родовища, еталонні об'єкти, триангуляція, кластеризація, багатовимірне шкалювання, тривимірний простір*

The solution of the problem of the sample objects analysis on the basis of 3D-triangulation method is presented. The method uses the approaches of multidimensional scaling. The possibility of qualitative preservation of geometrical structure of multidimensional space objects in three-dimensional space is examined. The method has been tested for solving of clustering problem on the territory of oil-and-gas bearing Dnieper-Donetsk cavity in the east of Ukraine.

**Keywords:** *hydrocarbon fields, sample objects, triangulation, clustering, multidimensional scaling, three-dimensional space*

*Рекомендовано до публікації докт. техн. наук Б.С. Бусигінім. Дата надходження рукопису 29.10.10*

Государственное высшее учебное заведение „Национальный горный университет“, г. Днепропетровск, Украина, e-mail: s-nikulin@yandex.ru

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МНОГОКАНАЛЬНЫХ КОСМИЧЕСКИХ СНИМКОВ ДЛЯ ЛИНЕАМЕНТНОГО АНАЛИЗА ТЕРРИТОРИЙ

S.L. Nikulin, Cand. Sc. (Geol.), Associate Professor

State Higher Educational Institution “National Mining University”, Dnipropetrovsk, Ukraine, e-mail: s-nikulin@yandex.ru

## MULTICHANNEL SATELLITE IMAGES USING FOR LINEAMENT ANALYSIS OF TERRITORIES

Приведена методика, позволяющая использовать при решении геологических задач методами линеаментного анализа все имеющиеся спектральные каналы космических снимков. Проведена оценка возможностей выделения линейных элементов территории по одно- и многоканальным снимкам. Показано, что использование всех каналов снимка позволяет существенно улучшить результаты построения линеаментной сети изучаемой территории.

**Ключевые слова:** *линеаментный анализ, границы яркости изображений, мультиспектральные снимки, оптимальный детектор Кенни, линеаментная сеть*

**Постановка и состояние проблемы.** Последние десятилетия характеризуются активным внедрением в практику наук о Земле данных дистанционного зондирования, среди которых ведущую роль играют

материалы космических съемок – панхроматические, мульти- и гиперспектральные снимки различного разрешения. Среди методов обработки космических данных важную роль играют методы линеаментного анализа, основанные на выделении границ яркости снимка, обнаружении на них и обработке линейных,

кольцевих и дуговых элементов снимков. При этом обычно выделение границ яркости и последующий линеаментный анализ производится по одному спектральному каналу либо по синтезированному снимку. Вопрос использования многоканальных снимков для выделения линеаментов практически не затрагивается в работах как украинских, так и зарубежных исследователей. Вместе с тем очевидно, что данный подход является весьма перспективным в силу того,

что совокупная информативность серии снимков разных диапазонов спектра выше, чем информативность одноканальных и синтезированных снимков.

**Цель работы** – оценка возможностей выделения линейных элементов территории на одно- и многоканальных космических снимках, что позволит сделать обоснованные выводы о перспективах использования мультиспектральных снимков при решении геологических задач методами линеаментного анализа.

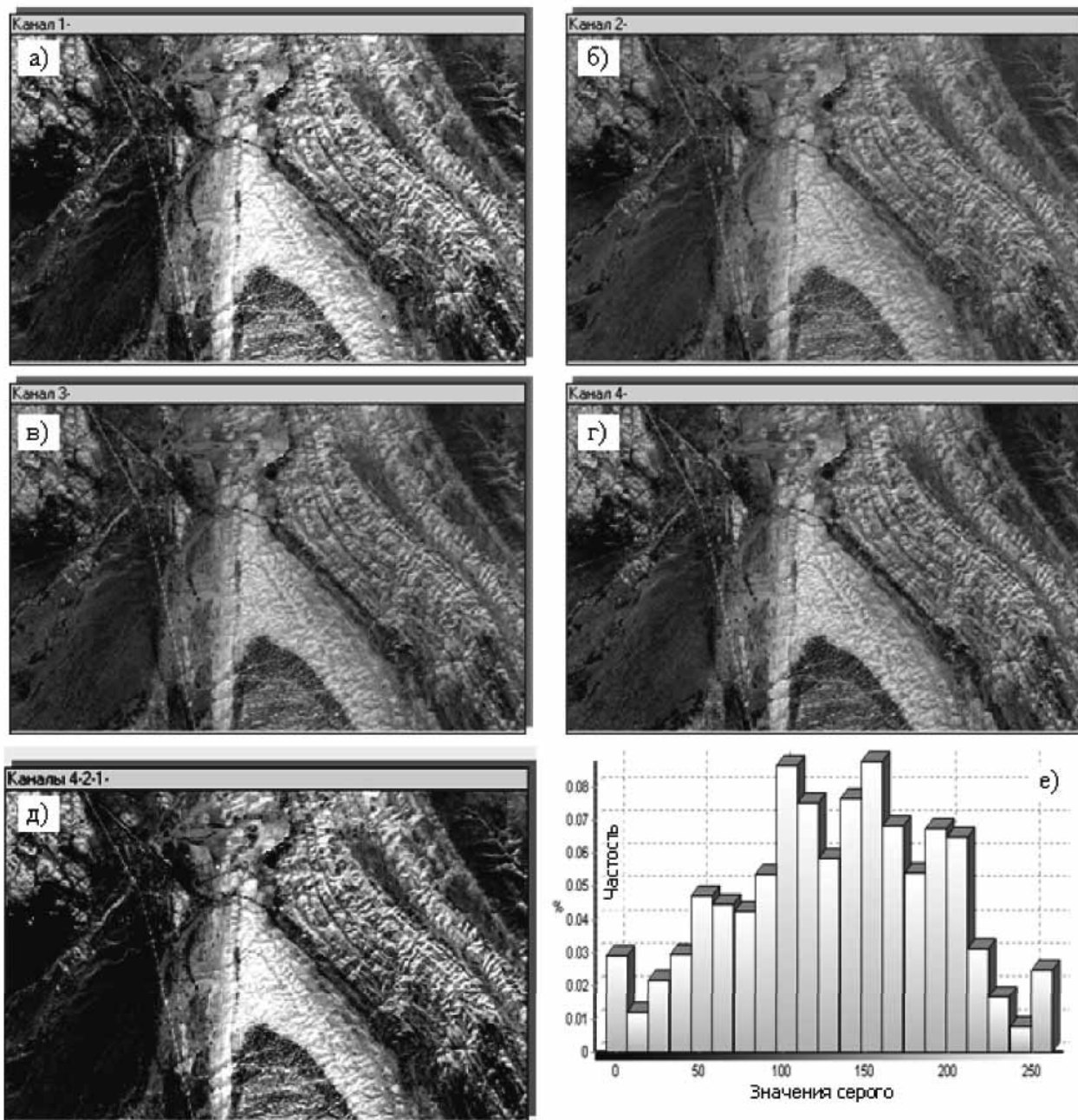


Рис. 1. Снимки в красном (а), зелёном (б), синем (в), ближнем инфракрасном (г) диапазонах спектра, синтезированный снимок (д) и гистограмма распределения его значений яркости (е)

**Методика исследований.** Обязательным этапом обработки снимков при линеаментном анализе является выделение границ яркости, которые являются простейшими тематическими признака-

ми, используются в качестве опорной информации при последующем линеаментном анализе космоснимков. Границы – это линии на изображении, вдоль которых происходит резкое измене-

ние яркости или ее производных по пространственным переменным.

Выделение границ яркости обычно выполняется при помощи различных масочных алгоритмов, в первую очередь, т.н. оптимального детектора Кенни (Canny) [1], разработанного для оптимальной фильтрации контрастных перепадов. Моделью контрастного перепада была выбрана функция Хевисайда, зашумлённая белым шумом с распределением Гаусса.

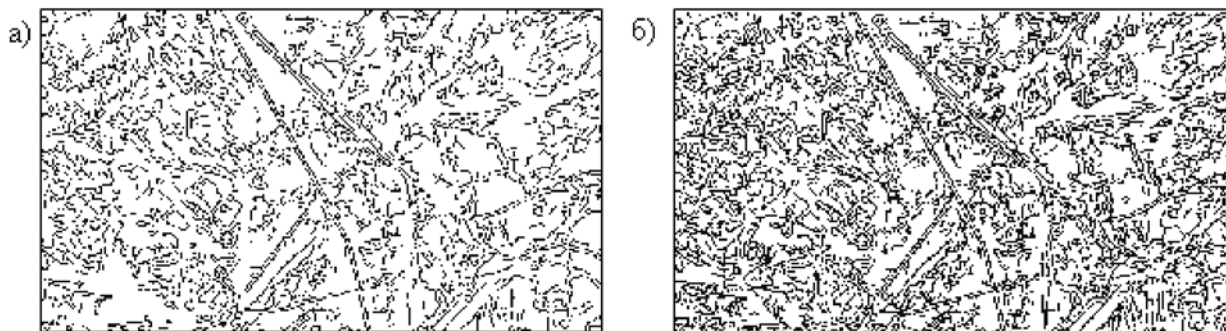


Рис. 2. Границы яркости, выделенные на фрагменте синтезированного снимка (а) и полученные путём дизъюнкции границ яркости отдельных каналов (б)

Целью обработки являлось построение сети линеаментов изучаемой территории. На синтезированных снимках оно выполнялось по следующей методике.

1. Путём использования оптимального детектора Кенни выделялись границы яркости. В результате создавалось бинарное растровое изображение, содержащее 1 (наличие границы яркости в данном пикселе) и 0 (отсутствие границы).

2. Путём анализа полученного бинарного изображения выделялись линейные фрагменты границ яркости с азимутами  $0^\circ$ ,  $45^\circ$ ,  $90^\circ$  и  $135^\circ$ .

3. Как свидетельствует опыт многих исследователей [2-5], линеаменты именно с такими азимутами преобладают на космических снимках, вне зависимости от того, где они были сделаны.

4. Полученные линейные фрагменты обычно являются частями более крупных линейных структур. Для их более уверенного визуального выделения предлагается расчёт карт, отражающих плотность линейных границ яркости разной ориентации в скользящем окне. Указанная плотность представляет собой количество пикселей со значением 1, делённое на общее количество пикселей внутри скользящего окна.

5. На картах плотности линейных границ яркости выполняется выделение крупных линейных структур. Эта операция выполняется для серии из 4-х карт для границ с азимутами  $0^\circ$ ,  $45^\circ$ ,  $90^\circ$  и  $135^\circ$ , после чего линейные структуры объединяются и формируют схему линеаментной сети территории.

Построение сети линеаментов по серии спектральных каналов выполнялось следующим образом. Путём использования оптимального детектора Кенни отдельно для каждого канала выделялись границы яркости. Далее полученные бинарные карты объединялись в одну путём попиксельной дизъюнкции и к

В качестве исходных данных для экспериментов использовались мультиспектральные снимки как горных, так и равнинных участков поверхности, сделанных различной съёмочной аппаратурой с различным пространственным разрешением. Для каждого мультиспектрального снимка производилось построение синтезированного снимка и в дальнейшем выполнялся линеаментный анализ по отдельности для синтезированного снимка и набора исходных спектральных каналов.

полученной карте применялись операции, описанные выше в пунктах 2, 3 и 4.

На последнем этапе исследований сети линеаментов, полученные по результатам обработки мультиспектральных и синтезированных снимков, подвергались сравнительному анализу.

**Результаты экспериментов.** Экспериментальные исследования были проведены для серии многоканальных снимков. Ниже, в силу ограниченности объема статьи, приведены результаты для одного из них.

Снимок получен с аппарата QuickBird-2 и отражает фрагмент среднегорного массива, являющегося частью Туранской плиты. Снимок представлен 4-мя спектральными каналами (красный, зелёный, синий и ближний инфракрасный) с пространственным разрешением 2,54 м. Синтезированный снимок был получен путём объединения ближнего инфракрасного, зелёного и красного каналов (рис. 1).

На рис. 2 приведены результаты выделения границ яркости методом Кенни для синтезированного снимка, а также границы, полученные путём дизъюнкции границ яркости отдельных каналов космоснимков.

На карте 2, а количество пикселей с единичным значением (присутствие границы) составляет 17,44%, тогда как на суммарной карте 2, б – 28,51%. Таким образом, карта, полученная путём обработки всех каналов снимка, содержит информацию о большем количестве границ яркости и, соответственно, позволяет более уверенно выделять линейные элементы снимка.

В качестве примера на рис. 3, а, в показаны фрагменты границ яркости с азимутом  $45^\circ$ , выделенные на синтезированном снимке (3, а) и полученные путём дизъюнкции границ яркости отдельных каналов (3, б), а также карты плотности фрагментов границ, рассчитанные в окне  $100 \times 100$  м.

На рис. 4 приведені гістограми розподілення значень карт 3, б і 3, г. Дисперсія гістограми карти 3, б в 2,7 рази вище чем карти 3, г (272 против 101), що свідчить про значно більш високу інформативності карти, побудованої з використанням границь яркості кожного з існуючих спектральних каналів космоснимка.

На отриманих картах щільності були виділені великі лінійні структури, формуючі лінійно-ментну мережу території і відображають її геологічне будову.

На карті щільності лінійних фрагментів границь яркості, отриманої шляхом обробки синтезованого знімка, виділено 143 лінійні структури, на картах, побудованих при обробці 4-х вихідних спектральних каналів – 238, т.е. в 1,66 рази більше.

Слід відзначити, що схожі результати були отримані і на інших ділянках земної поверхні при обробці багатоканальних знімків з апаратів Landsat-5 і GeoEye-1.

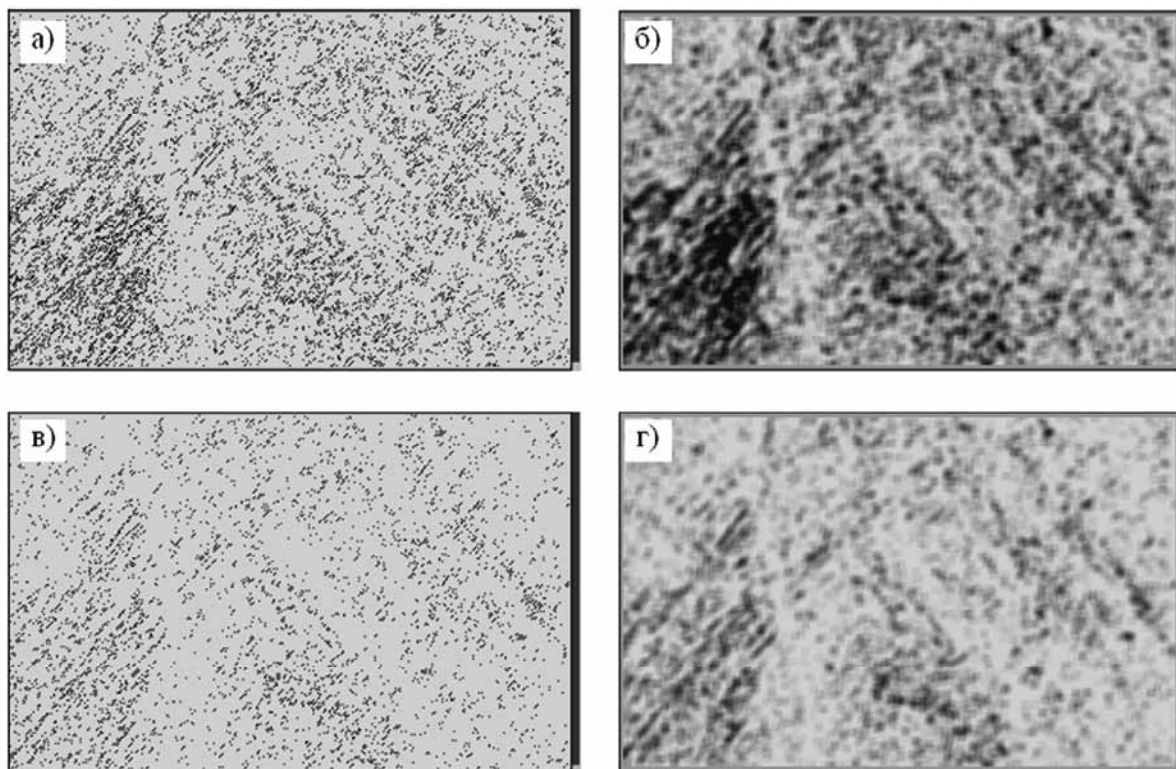


Рис. 3. Фрагменти границь яркості з азимутом  $45^\circ$  (а, в) і їх щільності (б, г), виділені, відповідно, по картам (2, б) і (2, а)

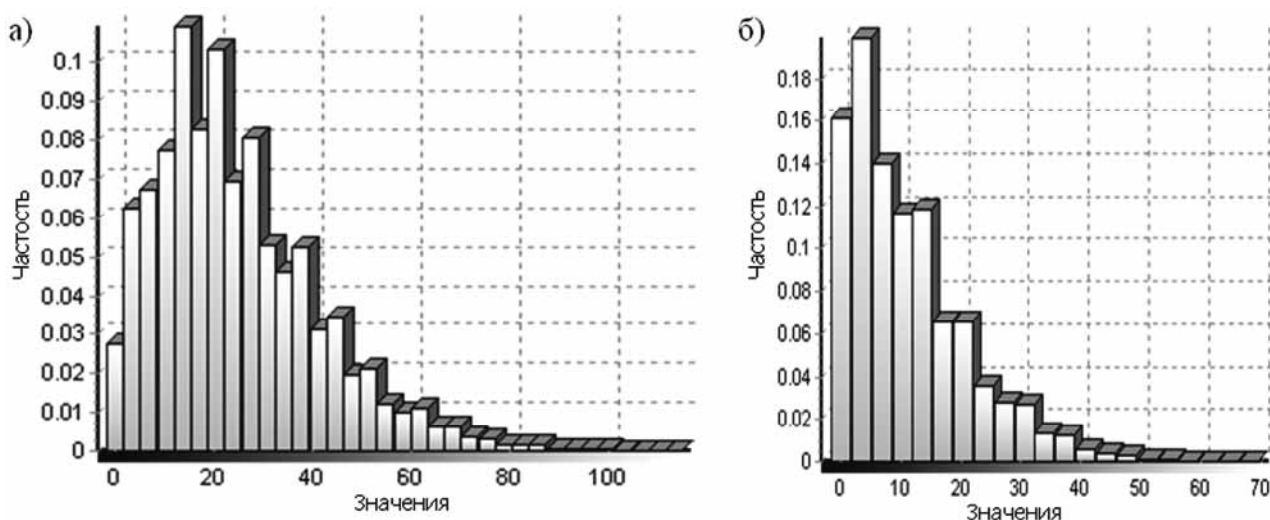


Рис. 4. Гістограми значень карт: а) рис. 3, б і б) рис. 3, г

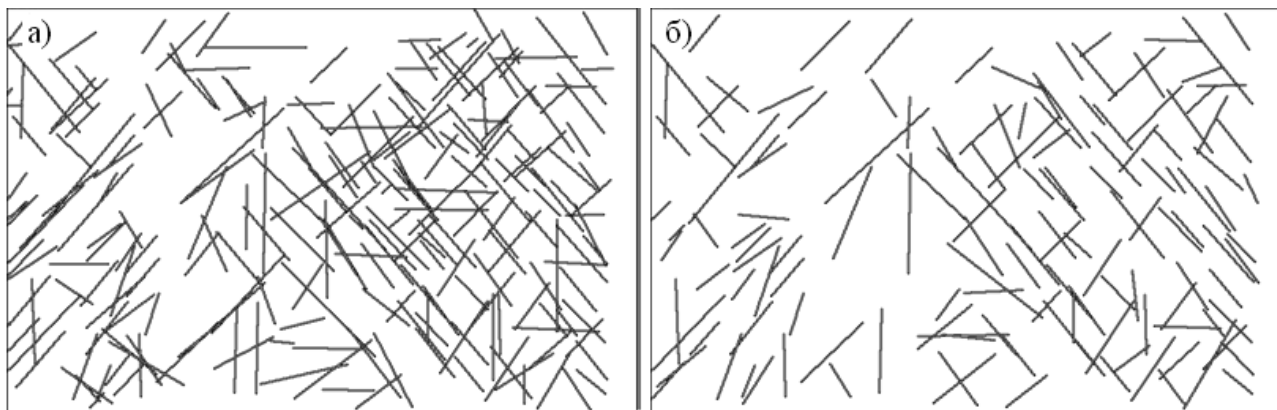


Рис. 5. Лінеаментна сеть, побудована по результатам обработки всех каналов снимка (а) и синтезированного снимка (б)

**Выводы.** По результатам выполненных исследований можно утверждать, что использование при лінеаментном анализе всех каналов многоканального снимка вместо одного синтезированного изображения позволяет более уверенно выделять границы яркости снимка и, соответственно, его линейные структуры.

Это свидетельствует о существенных перспективах подхода, основанного на использовании в процедурах лінеаментного анализа всех имеющихся спектральных каналов космического снимка и, как следствие, позволяющего повысить эффективность решения геологических задач космическими методами.

#### Список литературы

1. Canny. J.F. A computational approach to edge detection / Canny J.F. // IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence. – 1986. – No. 8(6). – P. 679-698
2. Верховцев В.Г. Новітні платформні геоструктури України та динаміка їх розвитку: автореф. дис. на здоб. ступеня д-ра геол. наук. / Верховцев В.Г. – Київ, 2008. – 37 с.
3. Цай Юнь Фэй. Лінеаменти Тимано-Печорского бассейна и их связь с размещением нефтяных и газовых месторождений: автореф. дисс. на соиск. степени канд. геол.-минерал. наук: спец. 25.00.01 / Цай Юнь Фэй. – Москва, 2006. – 19 с.
4. Корчуганова Н.И. Геологические структуры на космических снимках / Корчуганова Н.И. // СОЖ. – 1998. – № 10, с. 60–67

5. Busygin B. The methodology of operative prognosis of hydrocarbons by gravity-magnetic and space data / B. Busygin, S. Nikulin, E. Zatsepin, I. Garkusha // Геофизический журнал, №4, Т. 32. – 2010. – С. 26-28

Наведено методику, що дозволяє використовувати при вирішенні геологічних задач методами лінеаментного аналізу всі наявні спектральні канали космічних знімків. Проведено оцінку можливостей виділення лінійних елементів території за одно- і багатоканальними знімками. Показано, що використання всіх каналів знімка дозволяє істотно поліпшити результати побудови лінеаментної мережі території, що вивчається.

**Ключові слова:** лінеаментний аналіз, границі яркості зображень, мультиспектральні знімки, оптимальний детектор Кенні, лінеаментна мережа

The technique allowing to use all available spectral channels of satellite images for the decision of geological problems by means of lineament analysis is resulted. The estimation of possibilities of allocation of linear elements of territory on single- and multichannel images is carried out. It is shown, that use of all channels of an images allows essential improving of results of construction of the lineament network of the territory investigated.

**Keywords:** lineament analysis, brightness edges, multichannel satellite images, Canny's edge detection algorithms, lineament network

Рекомендовано до публікації докт. техн. наук Б.С. Бусигінім. Дата надходження рукопису 10.01.11