

**З. В. Козлов**, член-корреспондент НАН Украины **А. Е. Лукин**,  
член-корреспондент НАН Украины **А. Д. Федоровский**

## **Прогноз залежей углеводородов в Днепровско-Донецкой впадине на основе комплексной оценки космической информации ДЗЗ и наземных наблюдений**

*A method of predicting the hydrocarbon deposits on the base of the integral assessment of a remote sensing space information and ground-based observations using an algorithm and a program of multiobjective optimization by the example of Dnieper-Donets Depression territory sites is examined.*

Известно, что совокупность признаков, которые уверенно дешифрируются на космических снимках и дополняются данными (геофизика, эманационная геохимия, гидрология, растительность, почвы) наземных и подспутниковых измерений, содержит информацию о залегающих на разных глубинах углеводородных скоплениях, включая промышленные залежи нефти и газа [1]. Это в принципе позволяет создать образ нефтегазоносного участка в виде набора определенных признаков, прямо (сигналы от самой залежи, а также от водонефтяного контакта и других ее элементов) или косвенно (сопутствующая нефтегазоносности вторичная минерализация, лито- и гидрогеохимические аномалии, петрофизические неоднородности и т. п.). Такой обобщенный образ, если четко понимать природу составляющих его признаков, обладает рядом преимуществ перед аномалиями типа залежь (АТЗ). В то же время, следует учитывать влияние различных процессов в нефтегазоносных комплексах, приповерхностных отложениях и в современных ландшафтах. Большую роль при этом играют: глубина залегания и стратиграфический уровень нефтегазоносности, возраст залежей (и, соответственно, время существования установившегося диффузионного потока, геотермических и прочих аномалий), характер гидрогеологической зональности, наличие или отсутствие над залежами соляных, красноцветных и вулканогенных толщ, вещественный состав и строение резервуара (терригенные, карбонатные или кристаллические породы). При этом близкие по геологическим условиям нефтегазоносности участки могут быть представлены на поверхности совершенно различными ландшафтами, взаимодействие которых с геофизическими и геохимическими “сигналами” от залежей в зависимости от рельефа, гидрологии, состава почв и характера растительности может носить совершенно различный характер [2]. Все это позволяет рассматривать совокупность дистанционных нефтегазопоисковых признаков в терминах теории нечетких множеств и рассчитывать на успешное применение ее методов при прогнозе промышленных углеводородных скоплений. Принципиальным методологическим отличием такого подхода от попыток выделения надежных и однозначных прямопоисковых показателей в виде АТЗ состоит в том, что “точная” (а фактически, за редкими исключениями, псевдоточная) принадлежность исследуемого участка к определенному классу заменяется на непрерывную функцию принадлежности. Именно она определяет меру соответствия исследуемого участка эталонному [3], в качестве которого выбирается близкий по геологичес-

ким и физико-географическим условиям участок с установленной промышленной нефтегазоносностью.

На лингвистическом уровне абстракции задача определения класса участка может быть сформулирована следующим образом: насколько сходен объект распознавания (в нашем случае это — участок исследуемой территории) с эталоном, т. е. необходимо решить задачу классификации объекта  $B_c$  на множестве вариантов  $M_i$ ,  $i \in l, q$ , где  $q$  — количество вариантов.

Для формализации процесса автоматического сравнения участков с принятыми эталонами предлагается применить методологию классификации дискретных объектов. Для этого были использованы алгоритм и программа на основе метода многокритериальной оптимизации [4]. Основной проблемой многокритериальной оптимизации является определение понятия компромиссного решения, так как чаще всего не существует решения, оптимального одновременно по всем критериям. Поэтому предлагаются разнообразные “свертки” критериев, т. е. введение обобщенного критерия, который сводит многокритериальную задачу к обычной задаче оптимизации. Требование к таким функциям состоит в том, что они должны обеспечивать эффективное решение, при котором нет других решений, лучших хотя бы по одному критерию и не худшим по остальным.

Для решения таких задач используются алгоритмы [5], основанные на вычислении оценок, состоящие из следующих этапов: введение функции близости сравниваемых величин  $S$ , вычисление оценки для функции близости — функции соответствия  $f$ ; вычисление оценок соответствия признаков исследуемого участка территории информативным признакам участка, принятого за эталон — функции принадлежности  $F$ . Оценка степени соответствия исследуемого участка эталону определяется автоматически по максимальному значению функции принадлежности.

Для обозначения информационных признаков эталона и исследуемых участков используется нумерация от 1 до  $m$ . Тогда  $a = (a_1, a_2, \dots, a_j, \dots, a_m)$  — множество информативных признаков эталонного участка, где  $a_j$  —  $j$ -й информационный признак нефтегазоперспективности эталонного участка;  $m$  — количество информативных признаков эталона;  $b_c = (b_{c1}, b_{c2}, \dots, b_{cj}, \dots, b_{cn})$  — множество характеристик исследуемого участка, где  $b_{cj}$  —  $j$ -й информационный признак  $c$ -го исследуемого участка  $B_c$ ;  $n$  — количество информативных признаков исследуемого участка.

Теперь задача классификации участков по нефтегазоперспективности может быть формализована как задача многокритериальной оптимизации  $m$  критериев, каждый из которых является функцией соответствия исследуемого участка эталонному. Многокритериальные задачи сводятся к задачам обычной оптимизации при помощи линейной или минимаксной свертки, а одним из эффективных способов решения экстремальных задач с ограничениями является сведение этих задач при помощи штрафных функций к задачам безусловной оптимизации.

Сведем начальную задачу к одноразовой максимизации функции, которая представляет собой линейную свертку критериев минус штраф за нарушение ограничений

$$F(a, b_c) = \sum_{j=1}^m \rho(a_j, b_{cj}) f(a_j, b_{cj}) - \sum_{b \notin a} \mu(a, b),$$

где  $f(a_j, b_{cj}) = [1 - S(a_j, b_{cj})]$  — функция соответствия, которая описывает степень совпадения значений сравниваемых величин. Выбор той или иной функции соответствия опре-

деляется характером задачи и имеет тем большее значение, чем меньше разница между значениями информативных признаков эталонного участка и характеристиками исследуемого участка.  $S(a_j, b_{cj})$  — функция близости, которая характеризует близость отдельных значений информативных признаков исследуемого участка соответствующим значениям признаков эталона. Так, например, когда информативные признаки максимизируются

$$S(b_{cj}, a_j) = \begin{cases} \frac{a_j - b_{cj}}{a_j}, & a_j \geq b_{cj}, \\ 0, & a_j < b_{cj}. \end{cases}$$

В случае, когда информативные признаки минимизируются

$$S(b_{cj}, a_j) = \begin{cases} \frac{b_{cj} - a_j}{b_{cj}}, & a_j < b_{cj}, \\ 0, & a_j \geq b_{cj}. \end{cases}$$

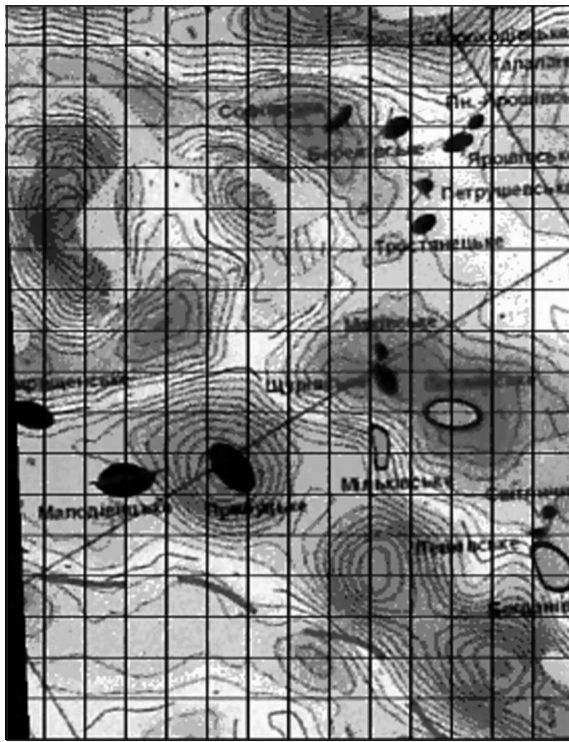
Если в  $B_c$ , нет какого-либо информативного признака, принадлежащего эталону, то  $S(a_j, b_{cj})$  принимает максимальное значение, равное единице. Функция близости равна нулю, когда значения признаков исследуемых участков выше или равны значениям характеристик эталона;  $\rho(a_j, b_c)$  — весовой коэффициент признаков эталона, который отражает приоритеты информативных признаков;  $\mu(a, b)$  — функция штрафа за то, что в исследуемом участке присутствуют признаки, которые не принадлежат данному эталону. Функция штрафа равняется нулю, если в исследуемом участке присутствуют те и только те признаки, которые имеются на эталонном участке, и возрастает с увеличением количества несовпадающих признаков [6].

При поиске на исследуемой территории участка с наиболее высокой нефтеперспективностью решением многокритериальной задачи является участок  $B_c$ , для которого обобщенная функция принадлежности достигает наибольшего значения, когда с эталоном совпадает большее число информативных признаков.

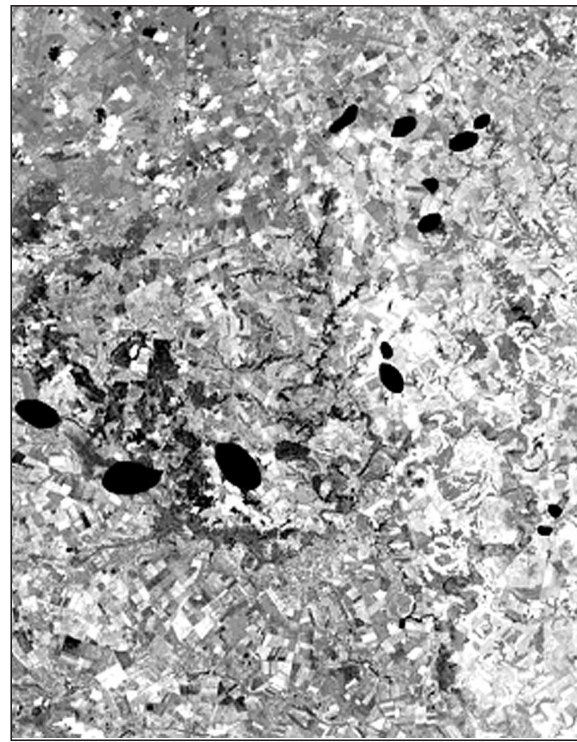
На основе изложенного метода была создана программа, с помощью которой выполнялась классификация нефтеперспективности экспериментального участка территории Днепровско-Донецкой впадины (рис. 1, а).

На рис. 1 установленные нефтяные месторождения показаны черными овалами. Площадь экспериментального участка размером  $60 \times 80$  км<sup>2</sup> была разделена на 270 элементарных участков размером  $4 \times 4$  км<sup>2</sup>, которые затем были прокалиброваны по информативным признакам. В качестве исходной информации был использован космический снимок Landsat-7 спектрального диапазона 0,53–0,61 мкм с пространственным разрешением 30 м (см. рис. 1, б) и тематические карты: гравитационного поля, остаточных аномалий гравитационного поля, аномального магнитного поля  $\Delta T$ , геотермической ступени, изореспленд и палеотемператур верхневизейско-серпуховского нефтегазоносного комплекса, температур на срезе 3500 м, температур на срезе 5000 м. Иными словами, речь идет о суперпозиции совершенно различных геофизических и геологических (в понимании Н. А. Огильви) полей, аномалии которых в той или иной мере связаны с формированием нефтяных и газовых залежей.

С учетом геологических характеристик экспериментального участка территории были выбраны два эталонных нефтепродуктивных участка для северной и южной части исследуемого участка.



*a*



*б*

Рис. 1. *a*: Карта экспериментального участка территории Днепровско-Донецкой впадины. *б*: Космический снимок Landsat-7 этого же участка территории. Овалами черного цвета обозначены участки с действующей промышленной нефтегазоносностью (принятые за эталоны)

дуемой территории. По выбранным эталонам была проведена классификация 270 выделенных участков по информативным признакам, сформированным на основе космического снимка и картографического материала. В первом случае использовались параметры Харалика, полученные при дешифрировании космического снимка с помощью матриц смежных вероятностей, а во втором — в качестве информативных признаков для каждого элементарного участка по картам определялись соответствующие значения характеристик.

Результаты классификации исследуемой территории по каждому эталону приведены на рис. 2, *a* и *б* соответственно. На рисунках относительная нефтеперспективность исследуемых участков территории представлена яркостью изображения, значение которой пропорционально последней.

В отличие от прямых методов, рассчитанных на “однозначность” и “точность” соответствия различных по своей природе аномалий залежам и претендующих на высокую эффективность, данный подход отвечает современным представлениям о нелинейном и неравномерном характере процессов нефтегазонакопления [7], что обуславливает известную неопределенность локализации залежей и математическую некорректность (в понимании Ж. Адамара — А.Н. Тихонова) прямой и обратной задач разведочной геофизики (поисковой геохимии). Поэтому он может быть полезен, прежде всего, при выборе перспективных участков для детальных геофизических исследований, ранжирования прогнозно-нефтега-

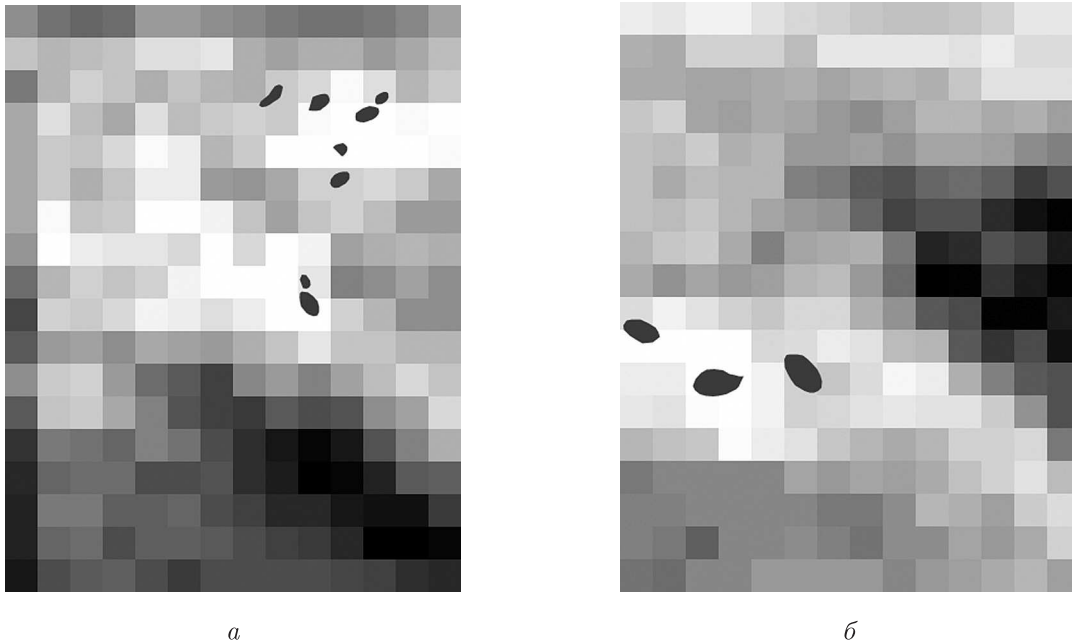


Рис. 2. Результаты классификации исследуемой территории:  
*а* — для первого эталона, *б* — для второго эталона. Нефтеперспективность участков территории пропорциональна яркости изображения

зональных площадей при вводе их в поисковое бурение, а также для экологического мониторинга нефтегазодобывающих районов.

1. *Перерва В. М., Лялько В. И., Архипов А. И. и др.* Прямой поиск залежей нефти и газа дистанционными методами. – (Препр. / НАН Украины. Центр аэрокосм. исследований. Земли Ин-та геол. наук). – Киев, 1995. – 84 с.
2. *Лукин А. Е.* Прямые поиски нефти и газа: причины неудач и пути повышения эффективности // Геолог Украины. – 2004. – № 3. – С. 18–45.
3. *Кофман А.* Введение в теорию нечетких множеств. – Москва: Радио, 1982. – 432 с.
4. *Подиновский В. В., Ногин В. Д.* Парето-оптимальные решения многокритериальных задач. – Москва: Наука, 1982. – 328 с.
5. *Федоровский А. Д., Лищенко Л. П.* Ландшафтно-системный подход при оценке геоэкологической ситуации в регионе // Доп. НАН України. – 2003. – № 11. – С. 126–131.
6. *Федоровский А. Д., Даргейко Л. Ф., Зубко В. П., Якимчук В. Г.* Системный подход к оценке эффективности аппаратурных комплексов дистанционного зондирования Земли // Космічна наука і технологія. – 2001. – 7, № 5./6. – С. 75–79.
7. *Лукин А. Е.* Проблемы нефтисинергетики – нелинейной геологии нефти и газа // Геол. журн. – 2004. – № 1. – С. 21–39.

*Научный центр аэрокосмических исследований  
 Земли Института геологических наук  
 НАН Украины, Киев  
 Черниговское отделение Украинского  
 государственного геологоразведочного института*

*Поступило в редакцию 04.10.2006*