

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ И ПОИСК МЕСТОРОЖДЕНИЙ НЕФТИ И ГАЗА НА ОСНОВЕ СПЕКТРОФОТОМЕТРИРОВАНИЯ РАСТИТЕЛЬНОГО ПОКРОВА

© А.Д. Федоровский, В.Г. Якимчук, А.И. Архипов, С.А. Станкевич,
А.Ю. Порушкевич, К.Ю. Суханов, О.В. Титаренко, 2010

*Государственное учреждение “Научный центр аэрокосмических исследований Земли
Института геологических наук НАН Украины”, Киев, Украина*

Discussed in the paper are approaches to the processing of field vegetation spectrometry results in forecasting of possible hydrocarbon deposits. It is offered a complex methodology for deposits searching which is based on the multicriteria optimization method with the use of vegetation spectrometry information. Approbation of the offered technique is performed on the East-Rogintsevskiy oil deposit of the Dneprovsko-Donetskaya hollow.

Keywords: multicriteria optimization, spectrogram, hydrocarbons, phytoindication.

Известно, что до настоящего времени косвенные признаки наличия месторождений углеводородов изучены недостаточно. С появлением гиперспектральной космической аппаратуры становится актуальной задача выявления информативных количественных признаков, которые могут быть получены путем спектрофотометрирования (СФМ) участков земной поверхности при расширении нефтегазопроисловых задач. Основой таких исследований является поиск различия между характеристиками биосостояния растений, произрастающих в зоне месторождений углеводородов, и аналогичными характеристиками тех же видов растений, находящихся вне этой зоны [1]. Методика исследований заключалась в сопоставлении оптических спектров отражения растительного покрова на участках, находящихся в зоне месторождений углеводородов и за ее пределами.

Прямая обработка результатов полевого спектрофотометрирования дает достаточно высокие значения вероятности ошибки $\varepsilon(k) \geq 0,4$ [2]. Повысить достоверность выявления фитоиндикационной аномалии можно путем оптимизации данных спектрофотометрирования и получения системы новых спектрограмм существенно меньшей размерности, чем базовая, обеспечивающей при этом решение задачи.

Известны два подхода к формированию указанной системы спектрограмм. Первый из них (feature extraction (FE)) предусматривает линейное или нелинейное преобразование исходных спектрограмм. Второй подход (band selection (BS)) основывается на выборе информативного подмножества спектральных отсчетов исходных спектрограмм. Его использование при выявлении спектральных фитоиндикационных аномалий над месторождениями углеводородов позволяет снизить вероятность ошибки на 6–10 % [3]. В рамках подхода FE достаточно информативными ока-

зываются нормализованные спектральные индексы — отношения, в которых числитель и знаменатель являются соответственно разностью и суммой коэффициентов отражения $\Phi(\lambda)$ в двух разных спектральных диапазонах [4]. Однако оценивание нефтегазоперспективности исследуемых участков при наличии нескольких признаков остается задачей, требующей решения на уровне современных методов системного анализа.

В статье для оценки и прогнозирования наличия месторождения углеводородов обосновывается комплексная методика на основе метода многокритериальной оптимизации с использованием информации, получаемой от обоих подходов.

Для апробации предлагаемой методики был выбран участок Восточно-Рогинцевского нефтяного месторождения Днепроовско-Донецкой впадины. На участке с однородной растительностью была проложена трасса в 1100 м, вдоль которой через каждые 30–35 м производились измерения отражательных характеристик листьев березы (рис. 1). Всего было обследовано 35 точек-участков трассы по три измерения СФМ листьев березы на каждой точке-участке. Спектрофотометрирование выполнялось спектрофотометром СФ-18 с разрешением по спектру 2 нм в диапазоне 400–750 нм.

В первом случае формирования системы спектрограмм — подход FE — в качестве информативного признака используются значения спектральной функции сдвига (СФС), полученные в широком диапазоне оптического спектра. Значения СФС определялись в результате анализа всего оптического диапазона спектрограммы, которая рассматривалась как реализация последовательности значений взаимосвязанного процесса с известными характеристиками вдоль оси длин волн. При этом вследствие неполноты имеющейся информации (диапазон СФМ 400–750 нм) в каче-

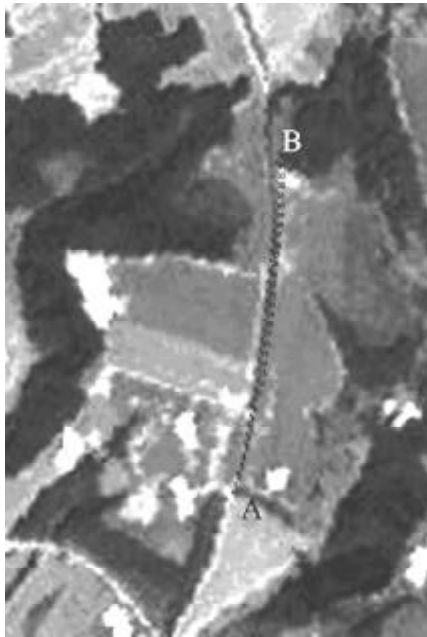


Рис. 1. Фрагмент космического снимка Landsat-7: А – начало трассы; В – ее конец

стве СФС была использована коррелограмма $R(\Delta\lambda \cdot m)$ [5] вместо строгой характеристики – корреляционной функции:

$$R_m \equiv R(\Delta\lambda \cdot m) = \frac{1}{N-m} \sum_{k=0}^{K-m-1} \Phi_k \cdot \Phi_{k+m}, \quad (1)$$

$$m = 0, 1, \dots, M-1,$$

где M – максимальное количество значений $\Delta\lambda$; анализируемая спектрограмма задана конечным набором K вещественных значений $\Phi_k = \Phi(\lambda_k)$ на равномерной сетке $\lambda_k = \Delta\lambda \cdot k$, $k = 0, 1, \dots, K-1$, а постоянная величина $\Delta\lambda$ является шагом выборки.

СФС были вычислены для спектрограмм на нефтегазоносных участках территории (R_S) и на участках без залежей углеводородов (R_F). Кроме того, устанавливалась пороговая коррелограмма R_p в соответствии с выражением

$$R_p(\Delta\lambda \cdot m) = \frac{1}{2}(R_S(\Delta\lambda \cdot m) + R_F(\Delta\lambda \cdot m)),$$

$$m = 0, 1, \dots, M-1.$$

Для оценки принадлежности коррелограммы к нефтегазоносному участку определяется суммарное отклонение анализируемой коррелограммы от пороговой:

$$H = \sum_m (R(\Delta\lambda \cdot m) - R_p(\Delta\lambda \cdot m)).$$

Классификация участков на наличие залежей углеводородов производится по правилу:

если $H < 0$ – участок нефтегазоносный;
если $H \geq 0$ – участок без залежей углеводородов. (2)

В таблице приведены результаты классификации по значениям СФС (1) в соответствии с решающим правилом (2) для 35 участков-точек исследуемой трассы.

Вероятность правильной классификации для описанного эксперимента вычислялась как процент правильных решений к их общему числу и составила 0,8. Таким образом, спектральная функция сдвига может быть использована в качестве информативного признака нефтегазоносности.

Во втором подходе к формированию системы спектрограмм, т. е. подходе BS, используются нормализованный спектральный индекс и хлорофильный индекс, что дает хорошие результаты [3].

Нормализованный спектральный индекс определялся по оптимальным спектральным диапазонам, полученным исходя из условия максимальной разности между значениями индексов для эталонных точек на участках, нефтегазопродуктивность которых подтверждается бурением, и участках без залежей углеводородов. В результате были установлены наиболее информативные спектральные диапазоны 560–590 и 696–702 нм ($NDVI_1$). Для каждой точки трассы по трем СФМ-

Значения $NDVI_1$, GCI , СФС и функции соответствия F

Номер точки	$NDVI_1$	GCI	СФС	F	Номер точки	$NDVI_1$	GCI	СФС	F
1	0,04	0,24	-0,43	0,92	19	-0,03	0,27	0,07	0,799
2	0,02	0,2	-0,20	0,83	20	-0,06	0,21	0,22	0,664
3	0,04	0,28	-0,54	0,966	21	-0,03	0,22	0,31	0,742
4	0,05	0,21	-0,45	0,908	22	-0,02	0,22	0,24	0,764
5	0,02	0,23	-0,12	0,864	23	-0,07	0,23	0,45	0,664
6	0,05	0,29	-0,54	1	24	-0,06	0,2	0,38	0,652
7	0,02	0,26	-0,23	0,899	25	-0,06	0,18	0,46	0,629
8	0,03	0,29	-0,39	0,956	26	-0,04	0,21	0,17	0,708
9	-0,03	0,3	-0,13	0,822	27	-0,02	0,2	0,18	0,741
10	-0,01	0,26	0,03	0,832	28	0	0,25	-0,14	0,843
11	-0,06	0,21	0,53	0,664	29	-0,02	0,21	0,13	0,752
12	-0,03	0,2	0,36	0,719	30	-0,02	0,23	0,03	0,775
13	-0,07	0,22	0,51	0,653	31	0,01	0,24	-0,16	0,854
14	-0,1	0,18	0,77	0,54	32	-0,04	0,23	0,32	0,731
15	-0,02	0,24	0,15	0,787	33	-0,03	0,19	0,39	0,707
16	-0,07	0,21	0,46	0,641	34	-0,01	0,28	-0,25	0,855
17	-0,07	0,2	0,47	0,63	35	-0,05	0,22	0,26	0,697
18	-0,04	0,23	0,30	0,731					

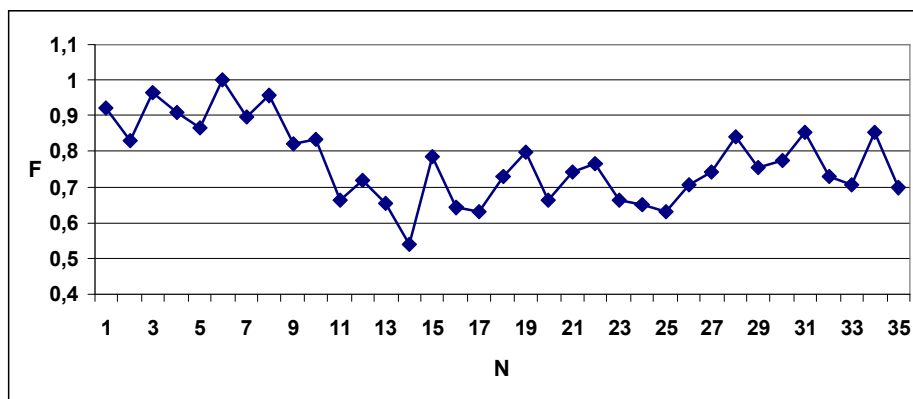


Рис. 2. Результаты вычисления функции соответствия F

измерениям вычислялись три значения индекса для выбранных спектральных диапазонов, которые затем усреднялись.

Для выявления спектральных фитоиндикационных аномалий над месторождениями углеводородов был использован зеленый хлорофильный индекс между спектральными диапазонами 546–562 и 682–686 нм (GCI) [6]. В таблице приведены результаты классификации 35 точек исследуемой трассы по значениям $NDVI_i$ и GCI .

Для комплексной оценки нефтегазоперспективности исследуемых точек-участков использовался метод, применяемый в задачах классификации дискретных объектов, – метод многокритериальной оптимизации. Под классом понимается множество признаков, объединенных некоторыми общими свойствами. Задача классифицирования состоит в определении, к какому из эталонных объектов $A = \{a_1, a_2, \dots, a_j, \dots, a_m\}$ в наибольшей степени принадлежит классифицируемый объект $B = \{b_1, b_2, \dots, b_j, \dots, b_m\}$, где a – параметры эталона; b – параметры объекта. Для решения таких задач используются алгоритмы, которые состоят из следующих этапов: вычисление функции близости сравниваемых величин a и b – S и функции соответствия F исследуемого объекта эталону по множеству параметров. Функция соответствия описывает степень совпадения значений сравниваемых величин [7].

Для оценки степени нефтегазоперспективности исследуемых точек-участков использовалась функция соответствия как единый обобщенный критерий:

$$F(B, A) = \sum_{j=1}^n \rho(b_j, a_j) [1 - S(b, a)], \quad (3)$$

где $\rho(b_j, a_j)$ – весовой коэффициент сравниваемых параметров. Наибольшего значения функция соответствия достигает при равенстве значений всех параметров, а наименьшего, равного нулю, – если не соответствует ни одному параметру.

На рис. 2 показан результат комплексной оценки и прогнозирования наличия залежей уг-

леводородов на 35 точках-участках исследуемой трассы по значениям функции соответствия F . Вероятность наличия углеводородов пропорциональна значению функции соответствия. Максимальные значения функции соответствия F находятся между точками-участками 1–9, нефтегазоперспективность которых была подтверждена в результате разведочного бурения.

Таким образом, рассмотренная комплексная методика оценки нефтегазоперспективности исследуемых участков может быть использована как предварительная и дополнительная информация при планировании разведочных работ, что позволит дополнить результаты геофизического (сейсмического) методов поиска.

1. *Перерва В.М., Архипов О.И., Левчик О.И. та ін.* Оптичні аномалії рослинності як індикатор покладів вуглеводнів // Теоретичні та прикладні проблеми нафтогазової геології. – К., 2000. – С. 52–56.
2. *Архипов А.И., Станкевич С.А., Титаренко О.В.* Определение границы контура залежи углеводородов по признаку статистической разделимости спектрограм растительного покрова // Материалы Всерос. конф. “Дегазация Земли: геодинамика, геофлюиды, нефть, газ и их парагенезы”. – М.: ИПНГ РАН, 2008. – С. 33–36.
3. *Станкевич С.А., Титаренко О.В.* Оптимізація даних наземного спектрометрування при картуванні меж фитоіндикаційних аномалій // Наук. вісн. Нац. аграр. ун-ту. – 2008. – Вип.128. – С. 312–319.
4. *Stankevich S.A., Arkhipov A.I., Titarenko O.V.* Registration of the Spectral Phyto-Indicative Anomaly over Oil and Gas Fields // Proc. of the 10th Int. conf. on Pattern Recognition and Information Processing (PRIP'2009). – Minsk: Belarusian State Univ., 2009. – P. 368–370.
5. *Кендал М., Стьюарт А.* Многомерный статистический анализ и временные ряды. – М.: Наука, 1976. – 736 с.
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.

Поступила в редакцию 24.03.2010 г.

А.Д. Федоровский, В.Г. Якимчук, А.И. Архипов, С.А. Станкевич, А.Ю. Порушкевич, К.Ю. Суханов, О.В. Титаренко

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ И ПОИСК МЕСТОРОЖДЕНИЙ НЕФТИ И ГАЗА НА ОСНОВЕ СПЕКТРОФОТОМЕТРИРОВАНИЯ РАСТИТЕЛЬНОГО ПОКРОВА

Рассмотрены подходы к обработке результатов полевого спектрометрирования растительности в задаче прогнозирования наличия месторождения углеводородов. Предложена комплексная методика поиска месторождений на основе метода многокритериальной оптимизации с использованием информации спектрометрирования растительности. Выполнена апробация методики на участке Восточно-Рогинцевского нефтяного месторождения Днепровско-Донецкой впадины.

Ключевые слова: многокритериальная оптимизация, спектрограмма, углеводороды, фитоиндикация.

О.Д. Федоровський, В.Г. Якимчук, О.І. Архипов, С.А. Станкевич, А.Ю. Порушкевич, К.Ю. Суханов, О.В. Титаренко

ПРОГНОЗУВАННЯ І ПОШУК РОДОВИЩ НАФТИ І ГАЗУ НА ОСНОВІ СПЕКТРОФОТОМЕТРУВАННЯ РОСЛИННОГО ПОКРИВУ

Розглянуто підходи до обробки результатів польового спектрометрування рослинності у задачі прогнозування наявності родовищ вуглеводнів. Запропоновано комплексну методику пошуку родовищ на основі методу багатокритеріальної оптимізації з використанням інформації спектрометрування рослинності. Методику апробовано на ділянці Східнорогинцівського нафтового родовища Дніпровсько-Донецької западини.

Ключові слова: багатокритеріальна оптимізація, спектрограма, вуглеводні, фітоіндикація.