

Л. Ф. Даргейко,

член-корреспондент НАН Украины **А. Д. Федоровский,**

член-корреспондент НАН Украины **А. Е. Лукин, А. Ю. Порушкевич**

Оценка нефтегазоперспективности участков территории методом пространственной интерполяции Колмогорова

Пропонується використання методу просторової інтерполяції Колмогорова для статистичного аналізу та отримання кількісних характеристик нафтогазоносності ділянок на досліджуваній території. Метод використовує інформацію про взаємне розташування всіх ділянок, а також відомі кількісні характеристики експлуатованих родовищ даної території. Наведено математичну модель. Розроблено, програмно реалізовано та апробовано алгоритм. Можливості розроблених програмних засобів ілюстровані результатами числового аналізу модельної задачі.

Для получения предварительных данных о нефтегазоперспективности пока не разведанных участков на территории с уже известными и эксплуатируемыми месторождениями целесообразно (до выполнения дорогостоящих и трудоемких полевых исследований) использовать математические методы пространственной интерполяции, направленные на получение регуляризованных, соответственно распределенных в заданной системе координат искомым данным, которые известны как даунскейлинг (downscaling). При условии однородности геологического строения исследуемой территории и общеизвестных информативных признаков месторождений использование методов даунскейлинга позволяет получить на основе существующих неравномерно распределенных месторождений регуляризованные массивы данных о нефтегазоперспективности на изучаемых участках [1].

Совокупность информативных признаков, определяющих наличие углеводородов, представляет собой поле природной среды в виде случайных функций пространственных координат. Допустим, что общее количество указанных признаков равно n , т. е. каждый участок характеризуется набором (вектором) из n признаков. Участки, на которых существуют месторождения углеводородов, будем считать эталонными. При этом известны значения признаков нефтегазоперспективности только в некоторых пространственно разнесенных точках поля, соответствующих эксплуатируемыми месторождениям, а для поисковых работ требуется карта дискретных значений всего поля. Для построения карты поля признаков необходимо выполнить интерполяцию из тех точек, где имеются измерения, во все узлы сеточной области, покрывающей заданную территорию. Поле признаков в каждом из узлов интерполяционной сетки связано со значениями признаков в известных месторождениях. Из всей сетки для интерполяции выделяется только множество перспективных узлов (участков) I_u , для которых случайное поле признаков однородно в широком смысле, т. е. стационарно и изотропно. При этом корреляция значений признаков для различных точек будет зависеть только от пространственного расстояния между ними (эталонными и исследуемыми участками).

Постановка задачи. В качестве примера рассматривается возможность использования метода оптимальной интерполяции Колмогорова (1941) для определения толщины нефтеперспективных пластов песчаников на выделенных участках территории [2].

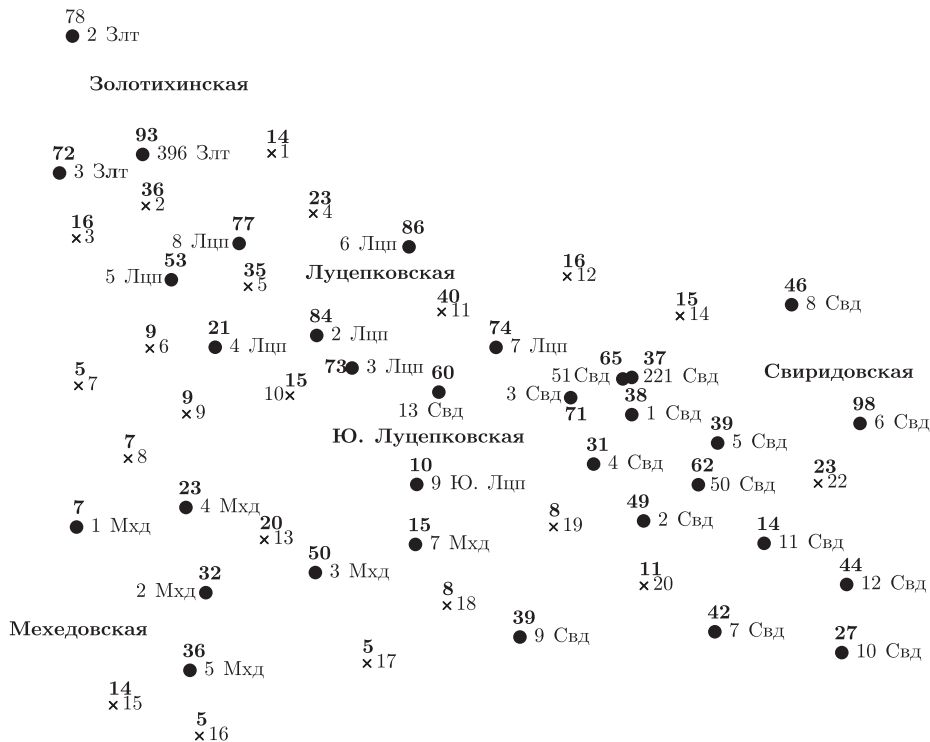


Рис. 1. Карта-схема исследуемого фрагмента территории Днепровско-Донецкой впадины

На площадях Днепровско-Донецкой впадины (ДДВ) — Золотихинская (Злт), Луцепковская (Лщп), Свиридовская (Свд) и Мехедовская (Мхд) — пробурено несколько скважин, для которых определена толщина пластов песчаника. На карте-схеме исследуемого региона ДДВ (рис. 1) имеющиеся скважины отмечены кружками (нижняя цифра — номер скважины, верхняя, выделенная полужирным шрифтом, — толщина пластов). Известные значения толщины пластов песчаника обозначим $f_0(x_i)$, где x_i принадлежит множеству скважин, принятых за эталон I_3 .

Необходимо на выбранных для исследования еще не разбуренных участках (обозначенных на рисунке крестиками) оценить возможную толщину пластов песчаника. Выбор для участков определялся на основе теории нечетких множеств и многокритериальной оптимизации по наибольшему соответствию совокупности всех информативных признаков изучаемых участков и эталонных скважин [3], что в данном случае обосновывает правомерность использования метода пространственной интерполяции.

Математически это можно представить следующим образом: известная информация по интересующей территории характеризуется набором из $n + 1$ информационных признаков:

$$f_j(x_i), \quad x_i \in I = I_3 \cup I_u \cup I_\varepsilon, \quad j = \overline{0, n}.$$

Здесь I — все участки территории; I_3 — эталонные участки с известным значением толщины пластов; I_u — исследуемые участки, для которых определяется значение толщины пластов; I_ε — бесперспективные участки, исключенные из дальнейшего рассмотрения.

Пусть I_3 содержит m участков ($m < M$, где M — общее количество участков (узлов интерполяции)). Для удобства и определенности обозначим эти участки p_i при $i = \overline{1, m}$; остальные исследуемые участки — q_j при $j = \overline{1, M - m}$, для которых определены значения

только для n признаков, и $j = \overline{1, n}$. Мы не рассматриваем участки, отсеявшиеся на этапе многокритериального анализа известных признаков.

Решение задачи. Принцип Колмогорова утверждает, что наилучшей оценкой (в классе линейных оценок) является условное, согласно наблюдениям, среднее значение:

$$f_0(q_j) = \sum_{i=1}^m h_{ji} f_0(p_i). \quad (1)$$

Задача поиска оптимальной оценки $f_0(q_j)$ таким образом сводится к поиску значений весовых коэффициентов h_{ji} .

Согласно методу Колмогорова, система уравнений

$$B_f(q_j - p_i) = \sum_{k=1}^N h_{jk}^* B_u(p_k - p_i) \quad (2)$$

позволяет определить все необходимые весовые коэффициенты интерполяции для вычисления значений $f_0(q_j)$, где $B_u(p_k - p_i)$ — матрица значений автокорреляционной функции (АКФ) между каждой парой точек, в которых известна величина этого поля (между каждой парой эталонных узлов), а $B_f(q_j - p_i)$ — вектор значений АКФ для расстояний от точки, для которой оценивается величина поля, до каждой из точек с известным значением поля.

Пространственные корреляционные функции интерполируемых полей обычно строят приближенно по отдельным значениям в сходных по пространственной изменчивости районах. Так как корреляционная функция — осредненная характеристика поля и в силу этого изменяется более медленно, чем само поле, то, получив ее оценку на одном участке поля, можно использовать данную функцию на других участках.

Смысл колмогоровской интерполяции состоит в том, что точка, в которой восстанавливается величина, связана с эталонными точками корреляционными и взаимно корреляционными зависимостями. Коэффициенты интерполяции в первом приближении пропорциональны коэффициентам корреляции между точкой интерполяции и точками измерений. Коэффициент взаимной корреляции учитывает влияние на значение функции в точке интерполяции значений, и в каждой из точек, для которых оно известно, т. е. коэффициент взаимной корреляции вычисляется для интерполируемой точки с каждой из эталонных точек, тем самым строится вектор значений корреляционной функции.

Так как рассматривается пространственная корреляция, то корреляционная функция является функцией расстояния и строится путем расчета значений для определенных расстояний.

Для удовлетворительной оценки значений корреляционной функции нужно набрать, по меньшей мере, 8–10 пар точек, находящихся примерно на одинаковом удалении друг от друга (одинаковых сдвигах). В данном случае $n = 2$, т. е. пространство двумерное и расстояние между точками определяется формулой

$$d(p_1, p_2) = \sqrt{(x(p_1) - x(p_2))^2 + (y(p_1) - y(p_2))^2}.$$

Определяем произведение значений поля в этих точках и вычисляем среднее арифметическое из этих произведений. Эта процедура даст одно значение корреляционной функции при приведенном аргументе — сдвиге. Получив таким способом несколько точек, можно построить аппроксимирующую функцию для оценки корреляционной функции.

Аппроксимировав корреляционную функцию, вычисляем матрицу и столбец свободных членов для системы уравнений Колмогорова (2); определяем коэффициенты для линейного разложения (1), которое дает нам значение искомого параметра (толщины пластов) в рассматриваемой точке. Для каждой точки множества I_u строим свой вектор свободных членов и решаем систему линейных уравнений (2).

Пространственная корреляционная функция — это функция, зависящая от одного аргумента — расстояния между двумя точками поля. Таким образом, при определении коэффициента корреляции между двумя точками поля измеряется расстояние между ними и вычисляется коэффициент корреляции как значение аппроксимированной корреляционной функции от полученного расстояния.

В системе уравнений оптимальной интерполяции (2) используются коэффициенты корреляции между точкой исследуемой территории, в которую выполняется интерполяция, и эталонными точками измерений, а также коэффициенты корреляции между эталонными точками. Учитываются взаимные статистические связи между эталонными точками. Их значения также вычисляются как значения аппроксимированной корреляционной функции от соответствующих расстояний между эталонными точками.

При решении контрольных примеров для аппроксимации корреляционной функции использовался метод аппроксимации кубическими сплайнами как наиболее точный. Построив корреляционную функцию, вычисляем матрицу и столбец свободных членов для системы уравнений Колмогорова. Оценки значений ширины пластов песчаника для исследуемых участков представлены на соответствующих точках рис. 1.

Таким образом, предлагаемый метод может быть использован для предварительного прогноза нефтегазоперспективности неразведанных участков в пределах разрабатываемых территорий.

1. *Заритов Р. Б.* Обзор современных методов повышения детализации метеорологических полей // Динамика окруж. среды и глобал. изменения климата. – 2010. – № 1. – С. 1–11.
2. *Даргейко Л. Ф., Сахацкий А. И., Федоровский А. Д.* Оценка влажности почвы по космическим снимкам ДЗЗ на основе метода пространственной интерполяции Колмогорова // Геоинформатика. – 2008. – № 4. – С. 49–51.
3. *Козлов З. В., Лукин А. Е., Федоровский А. Д.* Прогноз залежей углеводородов в Днепровско-Донецкой впадине на основе комплексной оценки космической информации ДЗЗ и наземных наблюдений // Доп. НАН України. – 2007. – № 2. – С. 111–115.

*Научный центр аэрокосмических исследований Земли
Института геологических наук НАН Украины, Киев*

Поступило в редакцию 01.06.2011

L. F. Dargeiko, Corresponding Member NAS of Ukraine **A. D. Fedorovsky**,
Corresponding Member NAS of Ukraine **A. E. Lukin**, **A. Yu. Porushkevich**

Evaluation of oil-gas-bearing capacity of territory sites by the Kolmogorov spatial interpolation method

The use of the method of spatial interpolation by Kolmogorov is offered for the statistical analysis and the estimation of quantitative descriptions of the oil-gas-bearing of areas on a territory. The method uses the information about the mutual location of all areas and the known quantitative parameters of on-the-road beds of the territory. An algorithm is developed, programmatically realized, and approved. Possibilities of the developed programmatic facilities are illustrated by the results of numerical analysis of a toy problem.