
Научные статьи

УДК 550.8.05(470.324)

ИДЕНТИФИКАЦИОННЫЙ АНАЛИЗ ПЕТРОФИЗИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОРОД ОСАДОЧНОГО ЧЕХЛА ВОРОНЕЖСКОЙ АНТЕКЛИЗЫ

© 2013 О.М. Муравина

*Воронежский государственный университет, Воронеж, 394006;
e-mail: muravina@geol.vsu.ru*

Рассматриваются результаты идентификационного анализа, выполненного с целью установления аппроксимационных зависимостей для петрофизических параметров образцов керна пород осадочного чехла Воронежского кристаллического массива и сопредельных территорий. Задача решалась методом группового учета аргументов. Результатом работы стало построение структурно-параметрических уравнений (моделей) для пород различных возрастных групп. Полученные соотношения были необходимы для построения обобщенного начального приближения структурной петрофизической модели чехла региона.

Ключевые слова: идентификационный анализ, метод группового учета аргументов, петрофизика.

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

Исходным материалом для выполнения идентификационного анализа петрофизических параметров образцов керна пород осадочного чехла Воронежского кристаллического массива (ВКМ) и сопредельных территорий стала пространственная база петрофизических данных, интегрирующая значительный объем фактической информации – более 90000 петрофизических определений различных свойств пород керна почти по 4400 скважинам региона (Глазнев и др., 2013). Помимо физических свойств в базе данных содержатся сведения о геологической принадлежности образцов пород керна скважин к определенным типам пород, заданным в рамках достаточно подробной классификации.

Таким образом, созданная на основе современных геоинформационных технологий как составная часть проекта ГИС в системе ArcView 3.2, петрофизическая база данных имеет эффективную структуру, что позволяет решать всевозможные задачи, связанные с пространственным анализом информации и математическим моделированием. Сформированная пространственная база петрофизических данных является

наиболее полным петрофизическим описанием типичных кристаллических и осадочных пород территории ВКМ. Настоящая работа посвящена изучению петрофизических характеристик только пород осадочного чехла, что связано с необходимостью точного учета влияния самой верхней части разреза на результаты геофизического моделирования при решении задачи геофизического изучения строения литосферы (Глазнев, 2003).

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для построения обобщенного начального приближения структурной петрофизической модели чехла региона была сделана попытка выявления аппроксимационных зависимостей петрофизических параметров осадочных пород. С этой целью был выполнен идентификационный анализ методом группового учета аргументов (МГУА) (Ивахненко, 1982). Предпосылки применения МГУА в геофизической практике, структура используемых алгоритмов, некоторые теоретические аспекты метода рассмотрены в работе (Муравина, 2012). Примеры практического использования МГУА при анализе

петрофизических данных приводятся в работе (Муравина, 2009).

Структура стартовой петрофизической модели осадочного чехла определила необходимость группировки пород по возрастным группам. Выполненный начальный статистический анализ петрофизических характеристик сгруппированных пород позволил уточнить и отбраковать данные, а также протестировать их на статистическую однородность. В результате были сформированы репрезентативные таблицы входных данных нескольких петрофизических параметров для пород девонского, каменноугольного, пермского и мелового возрастов. Петрофизические данные включали такие характеристики как плотность, скорость распространения продольных упругих волн, магнитная восприимчивость, естественная остаточная намагниченность и поляризуемость.

Зависимой переменной поочередно назначалась одна из петрофизических характеристик, остальные рассматривались как переменные-аргументы. В роли аргументов выступали также литологические индексы и глубина отбора образцов.

Общее число вариантов, участвующих в переборе в одном ряду определяется формулой:

$$L = d \times C_m^2, \quad (1)$$

где d — число частных описаний, сформированных из полного частного описания, C_m^2 — число сочетаний из m по 2, m — число аргументов (Ивахненко, 1982). На первом ряду значение m зависит от числа переменных в экспериментальных данных, в последующих рядах от количества отбираемых лучших моделей. В используемой

программе $d = 7$, в каждый последующий ряд переходит 10 лучших моделей. Таким образом, если расчет модельных уравнений производится по 6 переменным и реализуется три ряда селекции, то число сгенерированных и проанализированных модельных уравнений составляет 735.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Рассмотрим некоторые структурно параметрические уравнения, полученные в процессе идентификационного анализа. Качество полученных зависимостей визуально можно оценить по совпадению экспериментальных и модельных значений петрофизических параметров (рис. 1-5).

Модель 1 (рис. 1) относится к породам мелового периода. Меловые породы широко распространены на территории Воронежской антеклизы, что отражает значительный объем входных данных (455 образцов с петрофизическими параметрами и геологическими атрибутами). Модельное уравнение связывает плотность горных пород (Y) с глубиной отбора образца (X_1) и скоростью распространения продольных упругих волн (X_2).

Модель получена на первом ряду селекции и определяется зависимостью вида:

$$Y = a_0 + a_1 X_1 + a_2 X_2 + a_3 X_1 \cdot X_2 \quad (2)$$

В уравнениях второго ряда, несмотря на увеличение степени полинома, значение критерия отбора ухудшается практически на порядок. Таким образом, модель характеризуется глубоким минимумом критерия отбора, что подтверждает ее оптимальную сложность и свидетельствует о хорошем качестве.

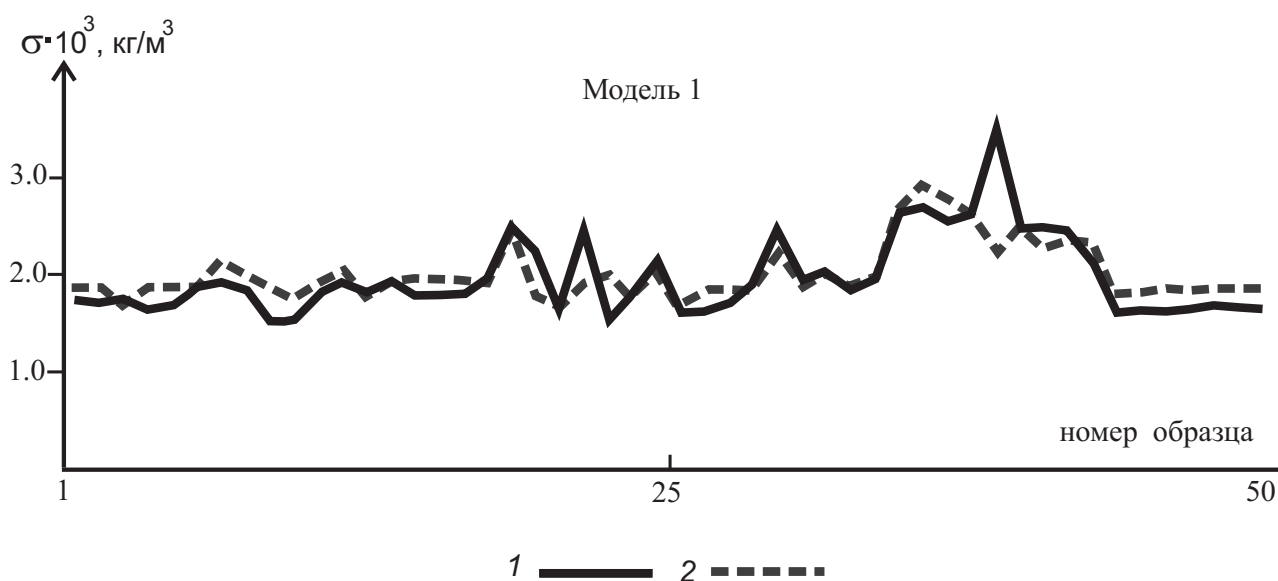


Рис. 1. Результаты моделирования плотности образцов мелового возраста: 1 — экспериментальные значения; 2 — модельные значения

На рис. 2 показаны экспериментальные и модельные значения, полученные для образцов юрского возраста. В модели 2 (рис. 2а) зависимой переменной (Y) назначалась плотность, первым аргументом является значение скорости распространения продольных упругих волн, а вторым аргументом — намагниченность. Кроме того удалось получить и более сложное обратное уравнение (модель 3), полученное на втором ряду селекции (рис. 2б):

$$Y = a_1 + a_2 Z_1 + a_3 Z_2 + a_4 Z_1 Z_2, \quad (3)$$

где $Z_2 = c_1 + c_2 X_1 + c_3 X_2 + c_4 X_1 X_2$,

$Z_2 = c_1 + c_2 X_1 + c_3 X_2 + c_4 X_1 X_2$, Y — скорость распространения продольных упругих волн, X_1 — плотность, X_2 — глубина отбора образца. Мо-

дельное уравнение позволяет оценить скорость распространения упругих волн по плотности и глубине отбора образца.

Модель 4 (рис. 2в) определяет зависимость намагниченности (Y) от таких параметров как плотность (X_1) и поляризуемость (X_2). Уравнение получено на первом ряду селекции и определяется зависимостью вида (2).

Модели 3 и 4 имеют очевидную практическую значимость, так как объем информации о плотности образцов керна пород существенно превышает количество данных о скоростных и магнитных свойствах.

В выборке данных по пермским отложениям были представлены шесть литологических типов пород. При выполнении идентификационного моделирования удалось получить модель 5, выражающую зависимость плотности (Y) от на-

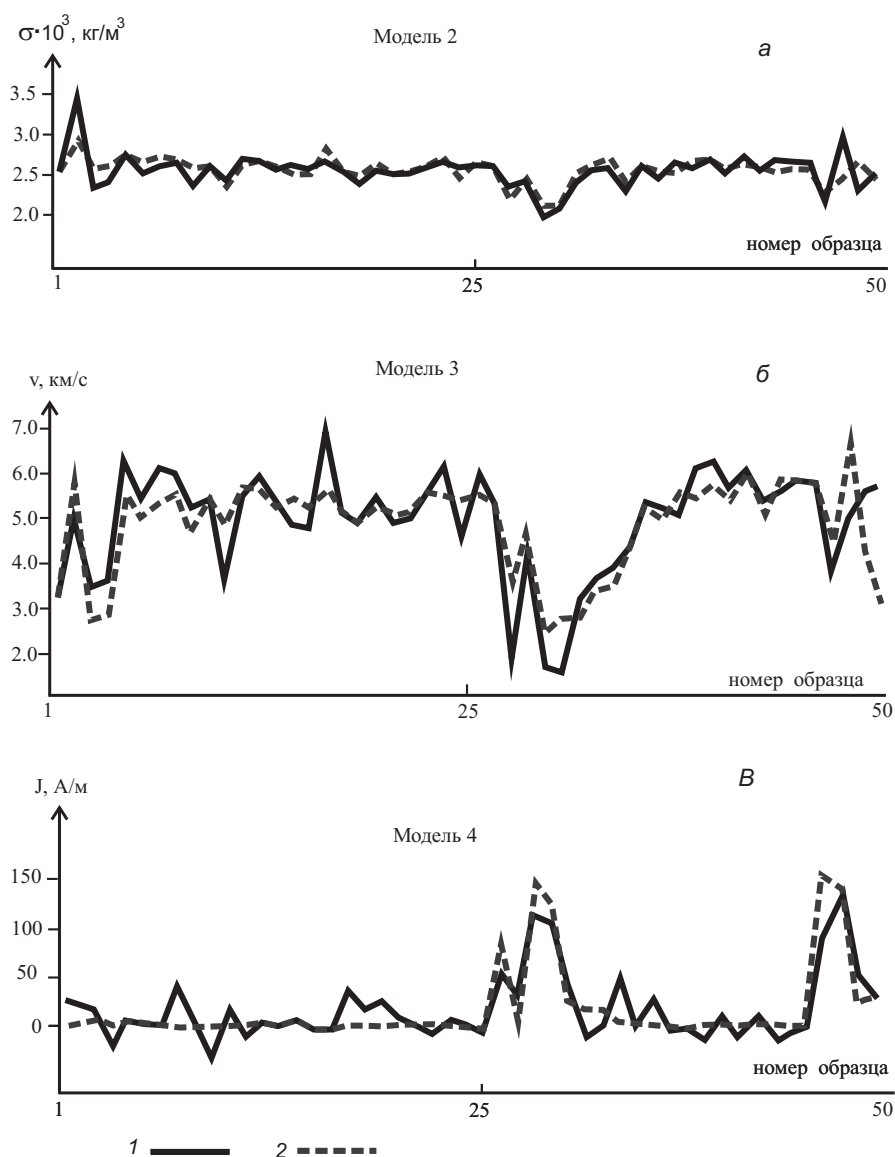


Рис. 2. Результаты моделирования физических параметров образцов юрского возраста: а — для плотности; б — для скорости распространения упругих волн; в — для естественной остаточной намагниченности; 1 — экспериментальные значения; 2 — модельные значения

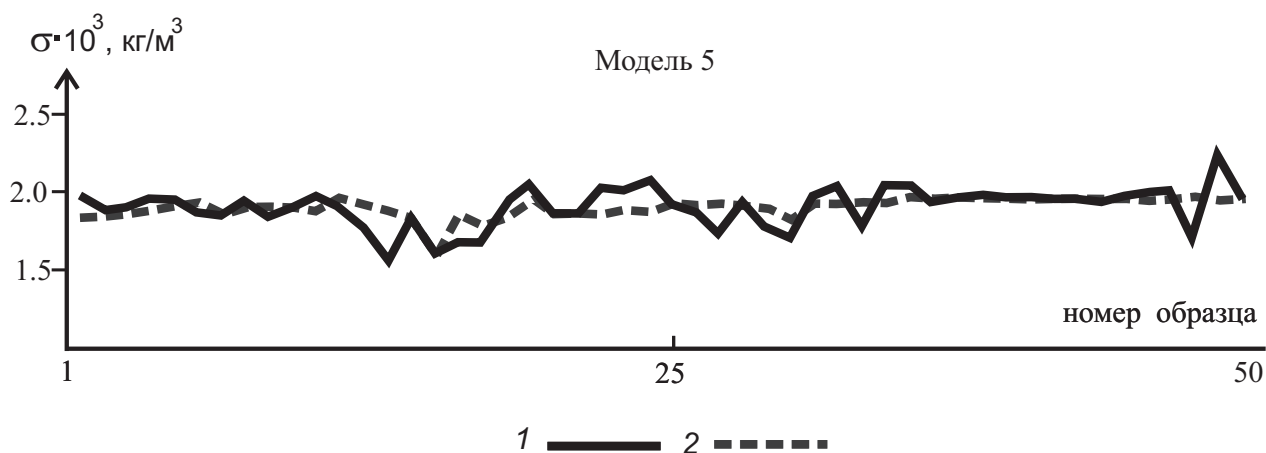


Рис. 3. Результаты моделирования плотности образцов пермских отложений: 1 – экспериментальные значения; 2 – модельные значения.

магнитности (X_1) и литологического индекса породы (X_2). Уравнение получено на втором ряду селекции и определяется уравнением (3). Графики теоретических и модельных значений плотности для модели 5 показаны на рис. 3.

На рисунке 4 показаны результаты моделирования по выборкам данных, соответствующих каменноугольным отложениям: модель 6 (рис. 4а) и модель 7 (рис. 4б). Модель 6 выражает плотность горной породы как функцию трех аргументов. Модельное уравнение получено на втором ряду селекции и определяется зависимостью вида (3),

где Y – плотность, $Z_2 = c_1 + c_2X_1 + c_3X_2 + c_4X_1X_2$,

$Z_2 = c_1 + c_2X_1 + c_3X_2 + c_4X_1X_2$, X_1 – остаточная намагнитенность, X_2 – скорость распространения продольных упругих волн, X_3 – поляризуемость.

Модель 7 позволяет оценить скорость упругих волн (Y) через значения плотности породы (X_1) и по литологическому типу (X_2). Модель получена на первом ряду селекции и определяется зависимостью вида (2).

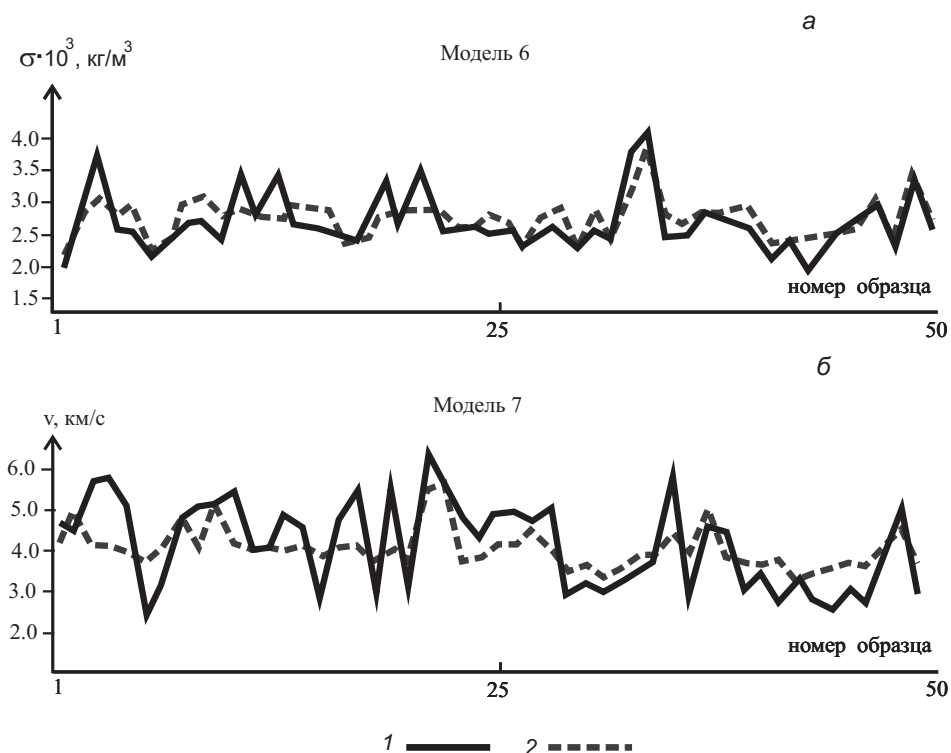


Рис. 4. Результаты моделирования физических параметров образцов каменноугольного возраста: а – для плотности; б – для скорости распространения упругих волн; 1 – экспериментальные значения; 2 – модельные значения.

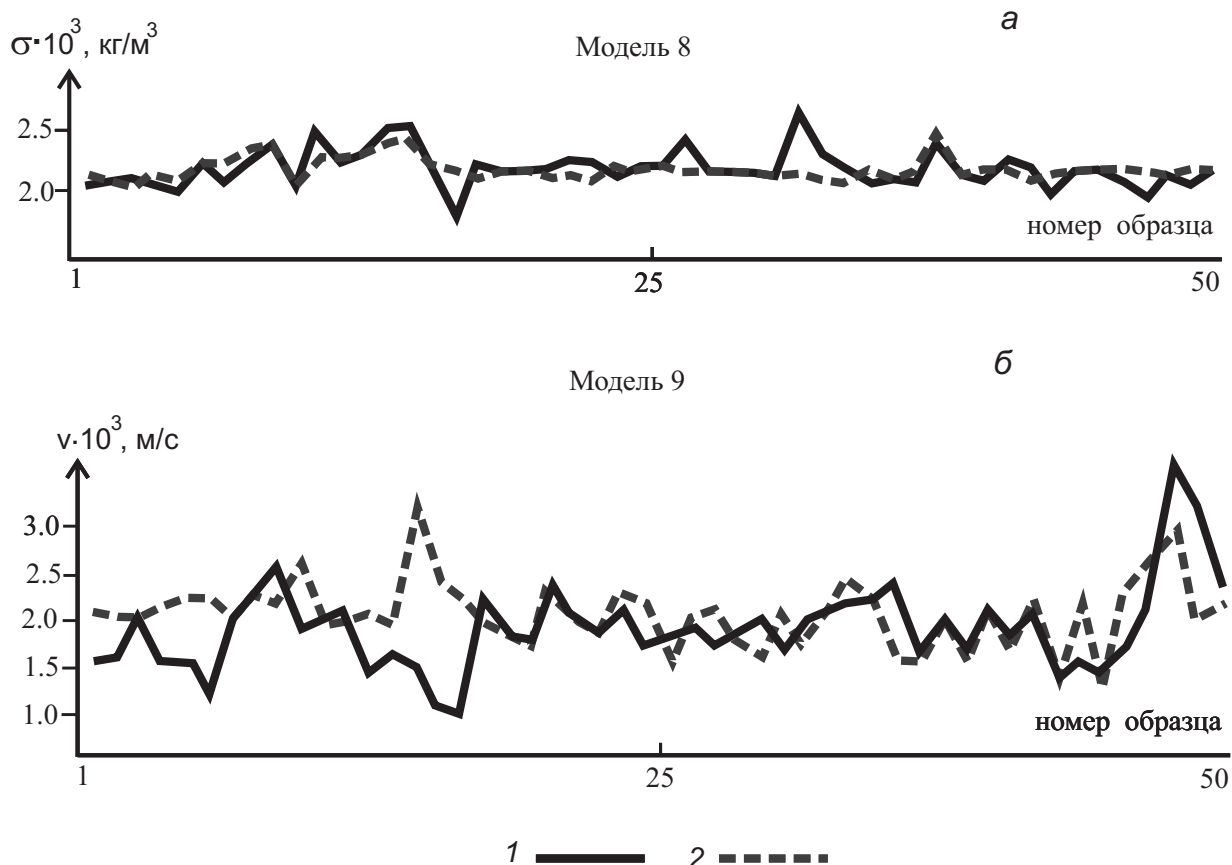


Рис. 5. Результаты моделирования физических параметров образцов девонского возраста: а — для плотности; б — для скорости распространения упругих волн; 1 — экспериментальные значения; 2 — модельные значения.

Модели 8 и 9 (рис. 5) получены по петрофизическим характеристикам образцов девонского возраста.

Модель 8 определяется уравнением вида (2). Зависимой переменной модели является плотность образца, переменные аргументы — намагниченность и скорость распространения упругих волн.

Модель 9 определяет скорость упругих волн как функцию плотности, намагниченности и глубины отбора образца. Как другие модели, полученные на втором ряду селекционного отбора, она определяется зависимостью вида (3), где Y — скорость распространения продольных упругих волн; $Z_2 = c_1 + c_2 X_1 + c_3 X_2 + c_4 X_1 X_2$;

$Z_2 = c_1 + c_2 X_1 + c_3 X_2 + c_4 X_1 X_2$; X_1 — плотность; X_2 — глубина отбора образца.

ВЫВОДЫ

Независимый идентификационный анализ петрофизических характеристик пород разных возрастных групп привел к выбору оптимальных уравнений сходных по структуре и набору

параметров. Для пород мелового, юрского и девонского возрастов получены уравнения, определяющие плотность образцов горных пород как функцию двух переменных, одной из которых является скорость распространения упругих волн (модели 1, 2, 6, 8). Вторым параметром уравнения может быть намагниченность (модели 2, 8) или глубина отбора образца (модель 1). Из общего ряда выпадает модели 5 и 6. В модели 5 плотность, помимо намагниченности связывается с литологическим индексом. Модель 6 получена только для пород каменноугольного возраста и связывает плотность, помимо скорости распространения упругих волн, с такими параметрами как остаточная намагниченность и поляризуемость.

Уравнения для скорости упругих волн получены для образцов осадочных пород юрского, каменноугольного и девонского возраста. Модели выражают скорости распространения упругих волн как функцию двух или трех переменных, одной из которых является плотность образцов горных пород. Другими переменными могут быть глубина отбора образца (модель 3), литологический индекс (модель 7) или намагниченность и глубина отбора образца

(модель 9). Уравнение для намагниченности получено только для образцов пород юрских отложений и связывает намагниченность с плотностью и поляризуемостью (модель 4). По структуре все уравнения являются функциями двух или трех переменных, что определяет необходимость использования для более глубокого исследований полученных зависимостей соответствующих приемов функционального анализа.

Идентификационные уравнения позволяют учесть влияние на петрофизические характеристики таких факторов как глубина и литологический тип породы, выявить стохастические связи между различными петрофизическими параметрами. Соотношения были использованы при формировании обобщенной пространственной структурной модели осадочного чехла региона, необходимой для выполнения комплексной интерпретации геофизических полей.

Работа выполнена в рамках научных исследований по гранту РФФИ № 11-05-00110-а.

Список литературы

- Глазнев В.Н.* Комплексные геофизические модели литосферы Фенноскандии. Апатиты: «КаэМ», 2003. 252 с.
- Глазнев В.Н., Жаворонкин В.И., Минц М.В. и др.* Петроплотностная модель и гравитационный эффект осадочного чехла Воронежского кристаллического массива и его обрамления // Материалы 40-ой сессии международного семинара им. Д.Г. Успенского «Вопросы теории и практики геологической интерпретации геофизических полей». М.: ИФЗ РАН, 2013. С. 107-112.
- Ивахненко А.Г.* Индуктивный метод самоорганизации моделей сложных систем. Киев: Наукова думка, 1982. 296 с.
- Муравина О.М.* Возможности метода группового учета аргументов при статистической обработке петрофизических данных // Вестник Воронежского государственного университета. Сер. Геология. 2009. № 2. С. 150-154.
- Муравина О.М.* Метод группового учета аргументов при анализе геофизических данных // Геофизика. 2012. № 6. С. 16-20.

IDENTIFICATION ANALYSIS OF PETROPHYSICAL CHARACTERISTICS OF SEDIMENTARY ROCKS FROM THE VORONEZH ANTECLISE

O.M. Muravina

Voronezh State University, Voronezh, 394006

The article presents results from the identification analysis, which was aimed at revealing the approximated dependences for petrophysical parameters of core samples from sedimentary rocks of the Voronezh crystalline massif and within the neighboring territories, using the method of the group account of arguments. The analysis resulted in construction of structurally parametric equations (models) for rocks of various age groups. These proportions were vital for construction of the initial approximation of the generalized structural petrophysical model of the cover in the region.

Keywords: identification analysis, the method of the group account of arguments, petrophysics.