КАЗАНСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Институт геологии и нефтегазовых технологий

Кафедра геологии нефти и газа

Н.Г. НУРГАЛИЕВА

ПРАКТИКУМ ПО СТАТИСТИЧЕСКОЙ ОЦЕНКЕ ПАРАМЕТРОВ ЗАЛЕЖЕЙ УГЛЕВОДОРОДОВ

Методическое руководство
для студентов и аспирантов, обучающихся
по направлениям 05.03.01, 05.04.01, «Геология», 05.06.01 – «Науки о Земле»

КАЗАНЬ – 2019

УДК 55:550.4

Печатается по решению учебно-методической комиссии
Института геологии и нефтегазовых технологий КФУ
Протокол № 5 от 23 января 2019 г.

Составитель:
Н.Г. Нургалиева

Рецензент
зав. кафедрой геологии нефти и газа, профессор,
д.г-м.н. Успенский Б.В.

Практикум по статистической оценке параметров залежей углеводородов: методическое руководство для студентов и аспирантов, обучающихся по направлениям 05.03.01, 05.04.01 «Геология», 05.06.01 - Науки о Земле по курсам «Сложнопостроенные коллекторы», «Анализ бассейнов осадконакопления» /Н.Г. Нургалиева – Казань: Казан. ун-т. –2019. – 19 с.

Предназначено для теоретического и практического освоения способов изучения строения и статистической оценки нефтегазоносных геологических объектов.

Оглавление

Введение

В настоящем методическом руководстве содержится описание способов статистической оценки параметров залежей углеводородов на примере трех практических работ. Выполнение этих работ направлено на овладение некоторыми приемами статистической обработки геологических данных с целью формализации этих данных и рационализации исследовательского процесса при решении геологических задач, в частности, задач нефтяной геологии.

Практическая работа №1.
Статистическая оценка распределения значений параметров коллекторских свойств пород продуктивного пласта

Цель работы – овладение приемами выявления полезной геологической информации при предварительной статистической оценке распределения значений параметров коллекторских свойств пород – открытой пористости и проницаемости.

Подобные процедуры статистического исследования до установления кондиционных пределов параметров позволяют охарактеризовать представительность керновых данных; сопоставлять данные керна и ГИС; выделять основные литологические типы пород внутри продуктивного пласта и изучить характер распределения параметров каждого литологического типа.

Для выполнения работы предлагаются данные определения открытой пористости и проницаемости, привязанные к интервалам исследуемого пласта в каждой скважине.

По этим данным строятся кривые полигонов распределения и гистограммы. В зависимости от содержания в границах пласта пород-коллекторов и неколлекторов, полноты выноса керна, его представительности и изученности статистические кривые могут быть одно-, двух-, трехвершинными; симметричными или асимметричными, крутовершинными или пологими и т.п.

Симметричный вид одновершинных кривых свидетельствует об однородности распределения параметра продуктивного пласта. Величина минимального и максимального значений, моды распределения дают представление о типе породы-коллектора.

Например, если определения параметра имеют низкие значения, то терригенный продуктивный пласт может быть сложен низкопродуктивными алевролитами. Если значения параметра имеют высокие значения, то можно предположить об основной роли высокопродуктивных песчаников в строении пласта, при этом следует учитывать, что понятия «низкое» и «высокое» значения параметров являются относительными в силу многообразия литологических типов пород.

Отклонения от симметричного вида одновершинных полигона и гистограммы могут быть связаны с преимущественным учетом значений керна, представляющего низкопродуктивные интервалы (правосторонняя асимметрия) или высокопродуктивные интервалы (левосторонняя асимметрия), неоднородностью продуктивного пласта по площади и разрезу. Таким образом, асимметрия распределения может быть вызвана как собственно геологической неоднородностью, так и непредставительностью выборки, которая устанавливается при совместном анализе распределения параметра по данным керна и ГИС.

Статистическое распределение может быть двухвершинным, если низкопродуктивный и высокопродуктивный породы-коллекторы имеют примерно одинаковую долю распространения с низкопродуктивными породами. Если непроницаемые породы, породы низкопродуктивных и высокопродуктивных пород-коллекторов имеют примерно одинаковое распространение, то распределение будет трехвершинным.

Исходными данными для выполнения работы являются выборки данных по параметрам коллекторских свойств пород.

Рекомендуется следующий порядок выполнения работы:

1. Находятся максимальное и минимальное значения параметров в предложенной выборке, разница между ними, называемая размахом выборки $R_{\hat{a}}$.
2. Весь диапазон значений выборки разбивается на равновеликие интервалы, величина которых определяется по формуле:
   $\Delta = R_{\hat{a}} / (5 \cdot \lg n)$
3. Определяется частота значений в каждом интервале Z_i (число замеров параметров, попадающих в каждый интервал), частость $w_i = Z_i / n$ и плотность частости $\delta w_i = w_i / \Delta$. При определении частоты следует учесть то, что могут встретиться значения параметра, соответствующие границе класса. Если значение параметра, соответствующее границе класса, в единственном числе, то оно относится к меньшему классу. Если таких значений четное число, то они разносятся в соседние классы поровну. Если число значений является нечетным, то в меньшем классе будет на одно значение больше.
4. Строятся полигон распределения (для непрерывной случайной величины) и гистограмма. На обоих графиках по оси абсцисс откладываются размеры классов Δ изучаемого параметра. При построении полигона распределения по оси ординат указывают частоты или частости. Полученные значения частот (частостей) относят к серединам классов и затем последовательно соединяют ломаной линией. Для построения гистограммы на оси ординат откладывают плотности частостей, относимые ко всему классу.

Графики распределения строятся для пористости в истинных значениях, а для проницаемости – в десятичных логарифмах.

Пример.

Построить и проанализировать гистограмму распределения значений коэффициента открытой пористости терригенных пород по выборке данных, представленных в таблице 1.1.

Таблица 1.1.

Выборка данных (число наблюдений в выборке n=50) по значениям коэффициента открытой пористости m, %

6,5	6,4	7,2	7,8	6,1
6,8	9,1	9,3	10,8	9,6
8,5	12,1	16,7	17,1	17,0
18,1	22	20,2	20,0	19,3
15,8	15,5	17,6	16,3	19,8
16,1	16,8	18,0	17,1	18,7
17,7	19,5	10,3	5,7	4,9
6,1	13,8	11,7	3,5	3,0
15,1	13,8	14,2	16,4	14,8
15,0	14,9	17,2	19,7	18,3

Решение:

Согласно порядку выполнения работы:

1. Минимальное значение составляет 3,0. Максимальное значение равно 22,0. Размах выборки $R_{в}$ = 22,0-3,0=19,0.
2. Величина класса $\Delta = R_{в} / (5 \cdot \lg n) = 19{,}0 / (5 \cdot \lg 50)$ округленно составляет 2. Классы находятся в диапазоне значений от 0 до 22.

Определим частоту значений Z_i в каждом классе, расположив значения по возрастанию (таблица 1.2.)

Таблица 1.2.

Классы значений	Значения m, %	Z_i
0-2	нет	0
2-4	3; 3,5	2
4-6	4,9; 5,7	2
6-8	6,1; 6,1; 6,4; 6,5; 6,8; 7,2; 7,8	7
8-10	8,5; 9,1; 9,3; 9,6	4
10-12	10,3; 10,8; 11,7	3
12-14	12,1; 13,8; 13,8	3
14-16	14,2; 14,8; 14,9; 15; 15,1; 15,5; 15,8;	7
16-18	16,1; 16,3; 16,4; 16,7; 16,8; 17,0; 17,1; 17,1; 17,2; 17,6; 17,7 ; 18	12
18-20	18,1; 18,3; 18,7; 19,3; 19,5; 19,7; 19,8;	7
20-22	20; 20,2; 22	3

3. Построим гистограмму (рис.1.1).

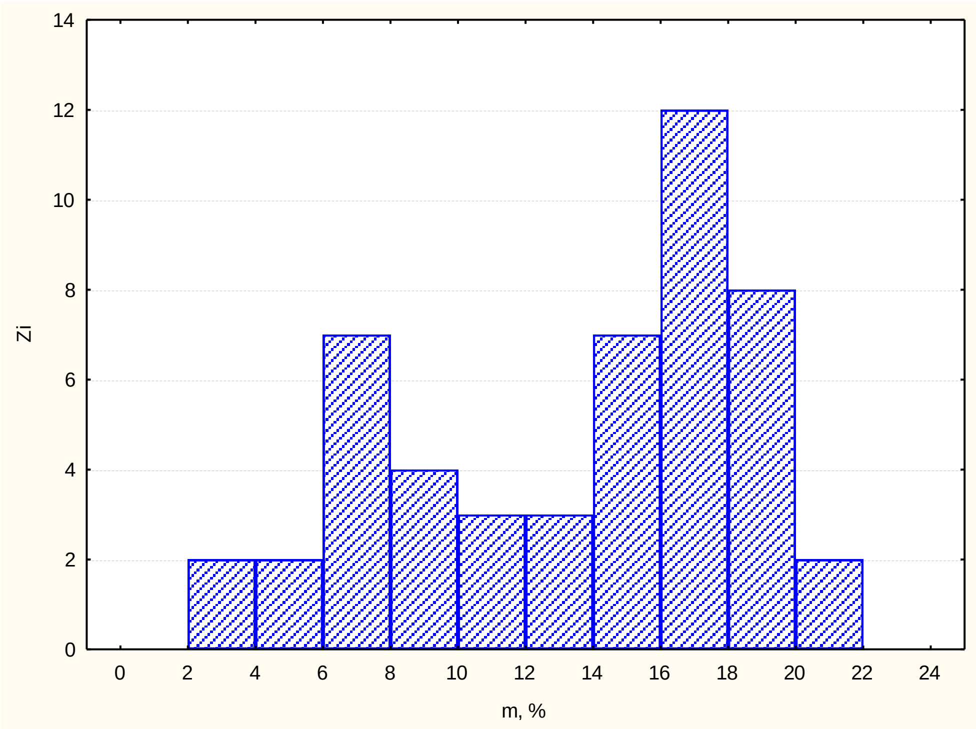

Рис.1.1. Распределение значений m по классам (см. таблицу 1.2).

Анализ гистограммы: гистограмма пористости является двухвершинной. Это свидетельствует о том, что в пределах геолого-нефтяного объекта, по которому проведены измерения пористости, присутствуют два типа пород-коллекторов с пониженной и повышенной пористостью. Большая площадь правой вершины по сравнению с площадью левой вершины указывает на преобладание высокоемких пород-коллекторов.

Практическая работа №2.
Статистическая оценка информативности параметров коллекторских свойств пород

Цель работы – оценка информации, получаемой в результате статистической обработки выборки данных по набору параметров, характеризующих коллекторские свойства пород.

Предлагается следовать следующим первым шагам в статистической обработке данных:

- получение элементарных статистик параметров (минимум, максимум, среднее, стандартное отклонение, вариация, асимметрия, эксцесс);

- определение нормальности распределения;

- определение доверительных интервалов статистик при доверительной вероятности 0,95 (α=0,05); доверительные границы статистических параметров определяются с помощью ошибок статистик, вычисляемых по следующим формулам [1]: $\delta_X = s/\sqrt{n}$; $\delta_S = s/\sqrt{2n}$; $\delta_V = V\sqrt{(1+2V^2)}/\sqrt{2n}$, $\delta_{\grave{A}} = \sqrt{\frac{6}{n}}$;

$$\delta_E = 2\sqrt{\frac{6}{n}},$$

где δ_X; δ_S; δ_V; $\delta_{\grave{A}}$; $\delta_{\grave{A}}$- ошибки, определяемые для среднего X, стандартного отклонения s, вариации V, асимметрии A, эксцесса E; n – объем выборки. Общий вид формулы для определения доверительных интервалов:

$\Theta - t_\alpha \delta_\Theta \leq \bar{\Theta} \leq +t_\alpha \delta_\Theta$, где Θ - выборочная оценка соответствующего параметра $\bar{\Theta}$, t_α - относительное отклонение выборочного среднего оцениваемого параметра от истинного в долях среднего квадратического отклонения. Распределение величины t_α зависит от числа степеней свободы f=n-1 зафиксировано в известной таблице и называется распределением Стьюдента.

Нормальное распределение обычно возникает, когда производятся повторные замеры некоторой фиксированной величины. Каждое индивидуальное измерение претерпевает флуктуацию в силу многих случайных воздействий, которые складываются с измерением, действуя иногда в одном, а иногда в противоположном направлениях. Обычно эти случайные воздействия взаимно уничтожаются, и окончательное измерение близко к истинному значению. Критерием нормальности распределения является, например, равенство нулю показателей асимметрии и эксцесса (А и Е). Однако часто оценки этих показателей, вычисленные для выборок, взятых даже из нормально распределенной совокупности, могут отличаться от нуля. Возникает необходимость определить, существенно ли отличаются полученные значения показателей асимметрии и эксцесса от нуля. Если выборка достаточно большая (n>30) и выполняются критерии $\gamma_1 = A/\delta_A \leq 3$, $\gamma_1 = E/\delta_E \leq 3$ [1], то гипотеза о нормальности распределения не отвергается.

Логнормальное распределение может возникнуть при тех же обстоятельствах, если случайные воздействия не аддитивны, а мультипликативны. В редких случаях при случайном выборе все возмущения могут оказаться большими, и их произведение будет экстремально большим значением. Результатом многих случайных реализаций будет распределение, которое начинается в нуле и возрастает до своего максимума, затем спускается вниз, достигая экстремально больших значений.

Множество факторов управляет коллекторскими свойствами. К этим факторам относятся литогенез, вторичные процессы растворения, выщелачивания, переотложения вещества, перекристаллизации, вторичной минерализации, формирования и трансформации залежей.

Например, для нефтенасыщенности часто наблюдается логнормальное распределение, происхождение которого можно связать с действием «закона пропорционального эффекта», состоящего в том, что изменение переменной в течение процесса есть случайная величина, пропорциональная исходному значению этой переменной. Возможно, залежи углеводородов формировались так, что в течение миграции и аккумуляции углеводородов большие скопления стремились увеличиваться с пропорционально большей скоростью, чем это происходило с малыми скоплениями, а разделение скоплений на большие и малые контролировались коллекторскими свойствами пород, в первую очередь объемом и структурой пустотного пространства. Поэтому такие процессы отражаются в логнормальных распределениях характеристик этих процессов.

Задание: произвести статистическую обработку данных по коллекторским свойствам пород (коэффициенты пористости, нефтенасыщенности, проницаемости) с определением элементарных статистик, с проверкой гипотезы о нормальности распределения, с определением доверительного интервала среднего при доверительной вероятности 0,95 (α=0,05).

Пример выполнения задания на примере значений коэффициента открытой пористости m, %, входящих в выборку:

11,7; 12,1; 13,8; 13,8; 14,2; 14,8; 14,9; 15; 15,1; 15,5; 15,8; 16,1; 16,3; 16,4; 16,7; 16,8; 17; 17,1; 17,1; 17,2; 17,6; 17,7; 18; 18,1; 18,3; 18,7; 19,3; 19,5; 19,7; 19,8; 20; 20,2; 22

Решение:

Элементарные статистики:

Размер выборки n=33

Минимум = 11,7

Максимум=22,0

Среднее $\bar{X}$ = 16,9

Стандартное отклонение s= 2,4

Вариация V= 0,14

Асимметрия A=-0,13

Эксцесс E= -0,15

Вычислим *ошибки* статистик:

$$\delta_X = s/\sqrt{n} = 2{,}4/\sqrt{33} = 0{,}42;$$

$$\delta_S = s/\sqrt{2n} = 2{,}4/\sqrt{2 \cdot 33} = 0{,}30;$$

$$\delta_V = V\sqrt{(1+2V^2)}/\sqrt{2n} = 5{,}6\sqrt{(1+2\cdot 5{,}6^2)}/\sqrt{2\cdot 33} = 5{,}50;$$

$$\delta_A = \sqrt{6/n} = \sqrt{6/33} = 0{,}43;$$

$$\delta_E = 2\sqrt{6/n} = 0{,}86.$$

Критерии нормальности распределения $\gamma_1 = A/\delta_A \le 3$, $\gamma_1 = E/\delta_E \le 3$ выполняются, следовательно, гипотезу о нормальности распределения можно принять.

На рис.2.1 показана гистограмма пористости и ожидаемое нормальное распределение.

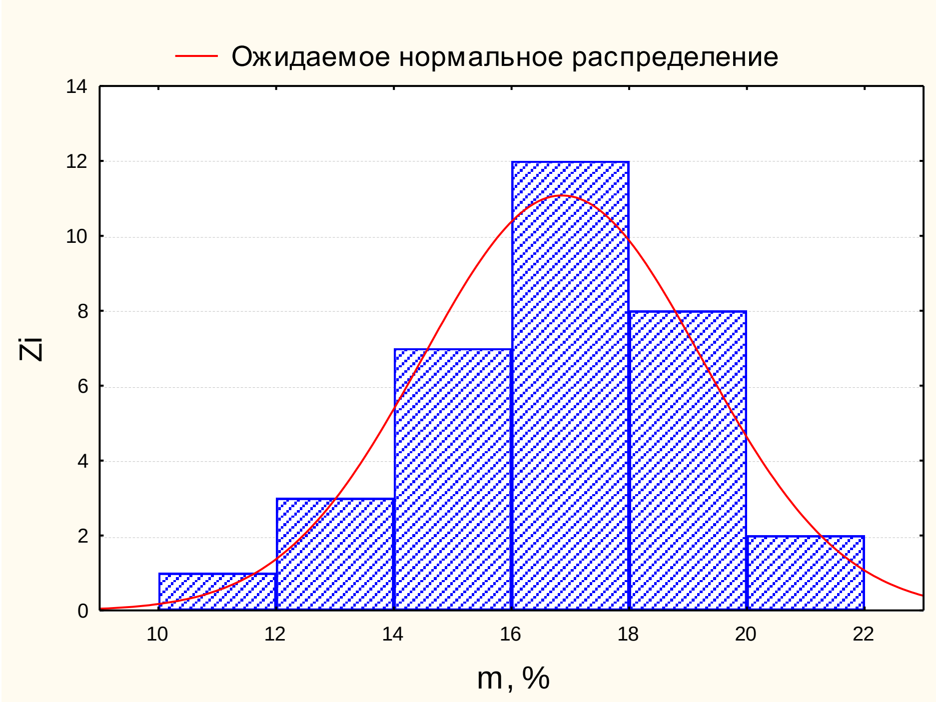

Рис.2.1. Гистограмма пористости и проверка нормальности распределения.

Общий вид формулы для определения доверительных интервалов: $\Theta - t_\alpha \delta_\Theta \le \bar{\Theta} \le \Theta + t_\alpha \delta_\Theta$, где Θ - выборочная оценка соответствующего параметра $\bar{\Theta}$, а распределение величины t_α зависит от числа степеней свободы f=n-1, где n – число наблюдений в выборке.

В нашем случае f=33-1=32, и табличное значение $t_{0,05}$ при f=31 составляет $t_\alpha = 2{,}04$ (таблица 2.1).

Таблица 2.1

Распределение Стьюдента (фрагмент)

f	$t_{0,05}$	f	$t_{0,05}$	f	$t_{0,05}$	f	$t_{0,05}$	f	$t_{0,05}$
1	12,71	8	2,31	15	2,13	22	2,07	29	2,05
2	4,3	9	2,26	16	2,12	23	2,07	30	2,04
3	3,18	10	2,23	17	2,11	24	2,06	40	2,02

4	2,78	11	2,20	18	2,10	25	2,06	60	2,00
5	2,57	12	2,18	19	2,09	26	2,06	120	1,98
6	2,45	13	2,16	20	2,09	27	2,05	∞	1,96
7	2,37	14	2,15	21	2,08	28	2,05		

Теперь определим доверительный интервал среднего значения пористости.

Имеем x=16,9; $\delta_X = 0{,}42$, $t_\alpha = 2{,}04$

$$16{,}9 - 2{,}04 \cdot 0{,}42 \le X \le 16{,}9 + 2{,}04 \cdot 0{,}42$$

Исходя из неравенства $16{,}04 \le X \le 17{,}76$ с вероятностью 0,95 можно утверждать, что среднее значение коэффициента открытой пористости в изучаемых породах не меньше 16,04%, но не больше 17,76% (рис.2.2).

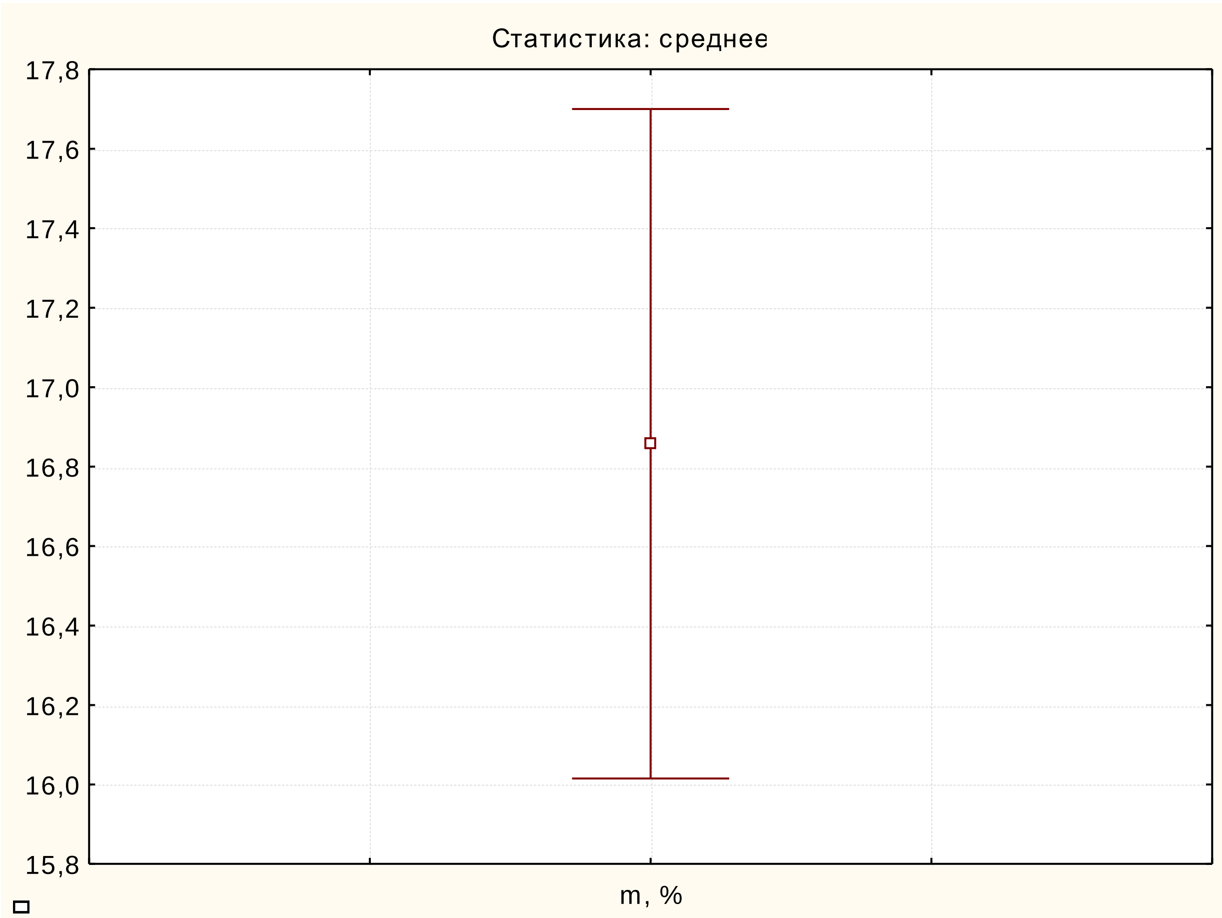

Рис.2.2. Графическое представление доверительного интервала среднего.

Практическая работа №3.
Применение метода распознавания образов в оценке информативности различных параметров геолого-нефтяных объектов

Для приближенной оценки подобия сложных геологических объектов используют метод распознавания образов [1, 2]. Термин «образ» обозначает совокупность объектов определенного класса, характеризующихся рядом общих признаков.

Задача распознавания образов состоит в выборе решающих правил разделения изучаемых объектов на родственные совокупности и в отнесении объектов неизвестной природы к определенному образу.

Для распознавания необходимо предварительно изучить признаки (параметры) на совокупностях объектов, характеризующих каждый из распознаваемых образов, причем для правильного отнесения объектов к одному из образов важна информативность и взаимосвязь признаков.

Задачи распознавания делятся на три типа [2]: заданы образы, указаны признаки, необходимо найти решающее правило, согласно которому объекты неизвестной природы можно было бы относить к одному из заданных образов; заданы образы, решающее правило, необходимо найти систему признаков, которая обеспечивала бы разделение объектов с минимальными затратами на их получение; заданы объекты, охарактеризованные m признаками, необходимо на основе определенных правил разделить их на классы.

В настоящей работе для решения предлагаются задачи первого типа.

Существует множество алгоритмов, применяющихся при распознавании (метод эвклидова расстояния, корреляционный метод, вероятностный метод и др.).

<u>Метод эвклидова расстояния</u>. Данный метод сравнивает эвклидово расстояние между объектом неизвестной природы и обобщенными характеристиками эталонных объектов заданных образов. Расстояние между

неизвестным объектом P и обобщенной характеристикой образа E определяют по формуле:

$$d(P,E)=\sqrt{\sum_{i=1}^{m}(P_i-x_{iE})^2}\ , \qquad (3.1)$$

где x_{iE} - средние значения i-ого признака для объектов образа E; i=1, 2,…, m.

Расстояние между P и эталоном H определяется по формуле:

$$d(P,H)=\sqrt{\sum_{i=1}^{m}(P_i-x_{iH})^2} \qquad (3.2)$$

Если $d(P,E)\langle d(P,H)$, тогда P принадлежит образу E, в противном случае – образу H (при равенстве обеих частей – неопределенность решения).

Значение расстояний d - мера подобия объекта неизвестной природы объектам заданного образа.

Пример. Определить принадлежность объекта P к одному из заданных образов, каждый из которых представлен тремя объектами, охарактеризованными тремя признаками (таблица 3.1).

Таблица 3.1

Признак	Объекты класса E			Объекты класса H			Объект P
	1	2	3	1	2	3	
1	1,10	1,25	1,55	0,9	1,1	1,0	1,2
2	0,4	0,3	0,8	0,7	0,6	0,5	0,5
3	4,2	3,7	4,1	4,0	5,5	4,0	4,0

Решение:

Определяем средние значения признаков:

x_{1E} = (1,10+1,25+1,55)/3=1,3; x_{1H} = (0,9+1,1+1,0)/3=1,0;

x_{2E} = (0,4+0,3+0,8)/3=0,5; x_{2H} = (0,7+0,6+0,5)/3=0,6;

x_{3E} = (4,2+3,7+4,1)/3=4,0; x_{3H} = (4,0+5,5+4,0)/3=4,5.

На основе полученных средних значений признаков оцениваем по формулам 3.1 и 3.2, что

$d(P,E)= 0{,}1$ и $d(P,H) =0{,}55$.

$d(P,E) \langle d(P,H)$, отсюда следует, что объект Р более похож на объекты образа Е, чем на объекты образа Н.

<u>Корреляционный метод.</u> Данным методом определяется корреляция между значениями признаков объекта неизвестной природы и значениями их на объектах заданных образов. Мерой связи является коэффициент корреляции, равный косинусу угла между вектором Р и обобщенными характеристиками эталонных объектов заданных образов. При задании образов Е и Н имеем:

$$\cos\alpha = \sum_{i=1}^{N} P_i \bar{x}_{iE} /(\sqrt{\sum_{i=1}^{N} P_i^2} \sqrt{\sum_{i=1}^{N} \bar{x}_{iE}^{\,2}} \;; \qquad (3.3)$$

$$\cos\beta = \sum_{i=1}^{N} P_i \bar{x}_{iH} /(\sqrt{\sum_{i=1}^{N} P_i^2} \sqrt{\sum_{i=1}^{N} \bar{x}_{iH}^{\,2}} \;, \qquad (3.4)$$

где $\bar{x}_{iE}, \bar{x}_{iH}$ - координаты векторов Е и Н, то есть показатели, каждый из которых характеризует одно из свойств; P_i - соответственно показатели (координаты) оцениваемого объекта.

Решающее правило: Р относится к образу Е, если $\cos\alpha \rangle \cos\beta$ и наоборот.

Пример. Используя данные таблицы 3.1, оценить принадлежность объекта Р к одному из заданных образов Е и Н.

Решение: На основе формул 3.3 и 3.4 определяем

$$\cos\alpha = (1{,}2\cdot 1{,}3 + 0{,}5\cdot 0{,}5 + 4{,}0\cdot 4{,}0)/(\sqrt{(1{,}2^2+0{,}5^2+4{,}0^2})(\sqrt{1{,}3^2+0{,}5^2+4{,}0^2}) = 17{,}81/17{,}8145 =$$
$$= 0{,}9997$$

$$\cos\beta = (1{,}2\cdot 1{,}0 + 0{,}5\cdot 0{,}6 + 4{,}0\cdot 4{,}5)/(\sqrt{(1{,}2^2+0{,}5^2+4{,}0^2})(\sqrt{1{,}0^2+0{,}6^2+4{,}5^2}) = 19{,}50/19{,}552 =$$
$$= 0{,}9973$$

На основе полученных данных имеем, что $\cos\alpha \rangle \cos\beta$, то есть объект более сходен с объектами образа Е, что подтверждает результат применения метода эвклидова расстояния.

Вероятностный метод. Основан на использовании формулы Байеса. Алгоритм применим при числе образов (проверяемых гипотез) не менее двух. Число объектов задаваемых образов должно быть достаточным для получения объективных значений частости появления различных градаций признаков.

Принимая, что оцениваемые гипотезы равновероятны, формула Байеса будет иметь вид:

$$P(H_i) = \prod_{j=1}^{m} P_{Hi}(A_j) / \sum_{i=1}^{n} \prod_{j=1}^{m} P_{Hi}(A_j)), \qquad (3.5)$$

где $P(H_i)$ - вероятность i-ой гипотезы (вероятность принадлежности объекта i-му образу); $P_{Hi}(A_j)$ - частости (принимаемые за вероятности встречи j-го признака на объектах i-ой гипотезы (i-ого образа); i=1, 2, …, n – число образов; j=1, 2,…, m – число признаков, на основе которых осуществляет распознавание.

Пример. На основе изучения водоносных и нефтеносных структур определенной площади установлены частости появления различных градаций трех параметров (таблица 3.2). В результате проведения геофизических работ в пределах площади выявлены три дополнительные структуры, имеющие значения параметров (градации), соответственно, (1, 5, 3), (4, 5, 4) и (2, 3, 1). Определить возможность их принадлежности к нефтеносным и наметить первоочередной объект к постановке разведочных работ.

Таблица 3.2

Параметр	**Градации**	**Частости проявления градаций параметра**	
		на объектах нефтеносных структур Н	на объектах водоносных структур В
Пористость (I)	1 2 3 4	0,1 0,2 0,3 0,4	0,4 0,3 0,2 0,1
Амплитуда структуры (II)	1 2 3 4	0,1 0,1 0,1 0,3	0,2 0,4 0,2 0,1

	5	0,4	0,1
Дифференцированность структуры (III)	1 2 3 4 5	0,1 0,1 0,2 0,4 0,2	0,4 0,3 0,1 0,1 0,1

Решение: Применим вероятностный метод.

Определяем вероятности принадлежности выявленных структур к нефтеносным структурам по формуле 3.5:

для первой структуры (1, 5, 3) $P_1 = (0{,}1 \cdot 0{,}4 \cdot 0{,}2)/(0{,}1 \cdot 0{,}4 \cdot 0{,}2 + 0{,}4 \cdot 0{,}1 \cdot 0{,}1) = 0{,}66$;

для второй структуры (4, 5, 4) $P_2 = (0{,}4 \cdot 0{,}4 \cdot 0{,}4)/(0{,}4 \cdot 0{,}4 \cdot 0{,}4 + 0{,}1 \cdot 0{,}1 \cdot 0{,}1) = 0{,}99$;

для третьей структуры (2, 3, 1) $P_3 = (0{,}2 \cdot 0{,}1 \cdot 0{,}1)/(0{,}2 \cdot 0{,}1 \cdot 0{,}1 + 0{,}4 \cdot 0{,}2 \cdot 0{,}4) = 0{,}08$

Таким образом, третья структура не принадлежит множеству нефтеносных структур, а первоочередной для проведения разведочных работ является вторая структура.

Список рекомендуемой литературы

1. Шестаков Ю.Г. Математические методы в геологии. – Красноярск: Изд-во Красноярского университета, 1988. – 206 с.

2. Загоруйко Н.Г. Методы распознавания и их применение: Сов. Радио, 1972. – 208 с.