

5ФЛ  
М433

46228

СИ СД-8

# СПЕЦИАЛЬНЫЙ ДОКЛАД

ПОИСКОВЫЕ ПРИЗНАКИ  
ГИГАНТСКИХ  
НЕФТЯНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ



13—19 июня 1971 г.  
Москва

942  
9

ОРГАНИЗАЦИОННЫЙ КОМИТЕТ СССР  
НАЦИОНАЛЬНЫЙ КОМИТЕТ СССР ПО НЕФТИ

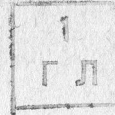
ПОИСКОВЫЕ ПРИЗНАКИ  
ГИГАНТСКИХ  
НЕФТЯНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

*В. С. ВЫШЕМИРСКИЙ, А. Н. ДМИТРИЕВ, А. А. ТРОФИМУК*

(Институт геологии и геофизики Сибирского отделения АН СССР)

МОСКВА 1971

59А  
М 433



пр

## ЛИТЕРАТУРА

1. Базанов Э. А., Золотов А. Н., Мандельбаум М. М., Самсонов В. В. Геология нефти и газа, № 2, 1969.
2. Чегис И. А., Яблонский С. В. Труды ин-та им. В. А. Стеклова, т. 51, 1958.
3. Дмитриев А. Н., Журавлев Ю. Н., Кренделев Ф. П. Дискретный анализ, вып. 7, 1966.
4. Дмитриев А. Н., Смертин Е. А. Всесоюзная конференция по проблемам теоретической кибернетики. Изд. «Наука», 1969.
5. Карагодин Ю. Н. Геология и геофизика, № 5, 1967.
6. Мацак А. П. Изв. АН Каз. ССР, сер. физ-мат., № 5, 1969.
7. Сулимов И. Н. и др. Геология и перспективы нефтегазоносности юго-запада Сибирской платформы. Изд. «Недра», 1966.

НАУЧНАЯ БИБЛИОТЕКА  
им. Горького  
М Г У

5337-9-41 пр 11

Ведущий редактор А. И. Кунина

Технический редактор И. С. Леканова

Корректор Л. С. Гайсинская

ВНИИОЭНГ № 438 Сдано в набор 21/IV-71 Подписано в печать 19/V-71  
Формат 60×90<sup>1</sup>/<sub>16</sub> Печ. л. 1 Уч.-изд. л. 0,83  
Тираж 530 экз. Заказ 680 Бесплатно

Типография ХОЗУ Миннефтепрома

Современное состояние и последующее развитие нефтедобывающей промышленности определяется главным образом наличием гигантских нефтяных месторождений. Поэтому открытие таких месторождений является основной целью поисковых работ. К сожалению, о наличии или отсутствии гигантского месторождения мы обычно узнаем только после бурения значительного количества скважин, тогда как надежные признаки для прогнозирования гигантских нефтяных месторождений на ранней поисковой стадии пока не установлены. Тем не менее по каждому даже мало изученному району имеется обширная и весьма разнообразная геологическая информация. Она может быть представлена в виде набора конкретных признаков, часть из которых хотя бы косвенным образом, возможно, связана с наличием или отсутствием гигантских нефтяных месторождений. Такие признаки можно рассматривать в качестве поисковых. Они не известны нам заранее, но их можно выделить путем математической обработки информации. Для этой цели удобны методы дискретного анализа, поскольку поисковые признаки выражаются как в виде чисел, так и в виде логических формулировок.

Авторами была собрана и изучена информация по гигантским месторождениям мира, расположенным в платформенных областях и связанным со структурными ловушками. Изучено 10 месторождений на Аравийской платформе, 2 — на Северо-Африканской, 4 — на Русской платформе, 3 — на Западно-Сибирской плите и 1 — на Туранской плите.

Объем и характер информации были установлены в соответствии с целью исследования и требованиями используемого метода логико-дискретного анализа. При этом соблюдены следующие условия.

1. По всем месторождениям охарактеризованы одни и те же свойства. Если какое-либо свойство не известно хотя бы для одного месторождения, то оно не учитывалось и для всех остальных месторождений.

2. Информация ограничивалась такими свойствами, какие обычно известны на ранней поисковой стадии, еще до открытия месторождения, но при наличии общих сведений о геологическом разрезе и структурной ловушке.

3. Набор признаков обеспечивал всестороннее освещение геологического строения районов расположения месторождений и содержал признаки, соответствующие самым разнообразным генетическим представлениям.

4. Объем информации был достаточно велик для получения в ходе ее математической обработки большого количества разнообразных сочетаний признаков.

Объем информации по каждому месторождению зависит от количества свойств и признаков. Под свойствами понимаются отдельные качества, а под признаками — конкретные выражения этих качеств. Например, литологический состав коллекторов — это свойство, которое в решаемой задаче выражается двумя признаками: терригенным или карбонатным составом. По каждому месторождению общий объем информации состоял из 99 свойств, выраженных посредством 179 признаков и объединенных в 5 групп (рис. 1, 2): 1) свойства нефтеносной свиты; 2) свойства толщи, расположенной между нефтеносной свитой и кристаллическим фундаментом (т. е. поднефтеносной толщи); 3) свойства толщи, расположенной между нефтеносной свитой и земной поверхностью (т. е. наднефтеносной толщи); 4) свойства геотектонической обстановки; 5) свойства структурной ловушки.

Ниже кратко изложено содержание логико-дискретного метода анализа геологических сообщений в той его части, которая была использована для решения данной задачи.

Исследуются геологические сообщения, представленные бинарными матрицами  $T_{mn}$  из  $m$  строк (объектов) и  $n$  столбцов (признаков). Матрицы ( $T_{mn} = \{a_{ij}\}; a_{ij} = 1 \vee 0, i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, m$ ) изучаются на базе построения всех тупиковых тестов [2]. Цели обработки матриц задаются геологической постановкой конкретных задач. Чаще всего эти задачи (как и в данном случае) связаны с вопросами распознавания образов, минимизации признаков, ранжирования объектов и другими подобными вопросами [3].

Пусть задано конечное множество объектов  $M = \{S_1, S_2, \dots, S_m\}$ , на элементах которого определены предикаты (признаки)  $x_1, x_2, \dots, x_n, x_{n+1}$ .

Признаки  $x_1, x_2, \dots, x_n$  назовем характерными, а признак  $x_{n+1}$  — целеобразующим. Далее характерные признаки будем

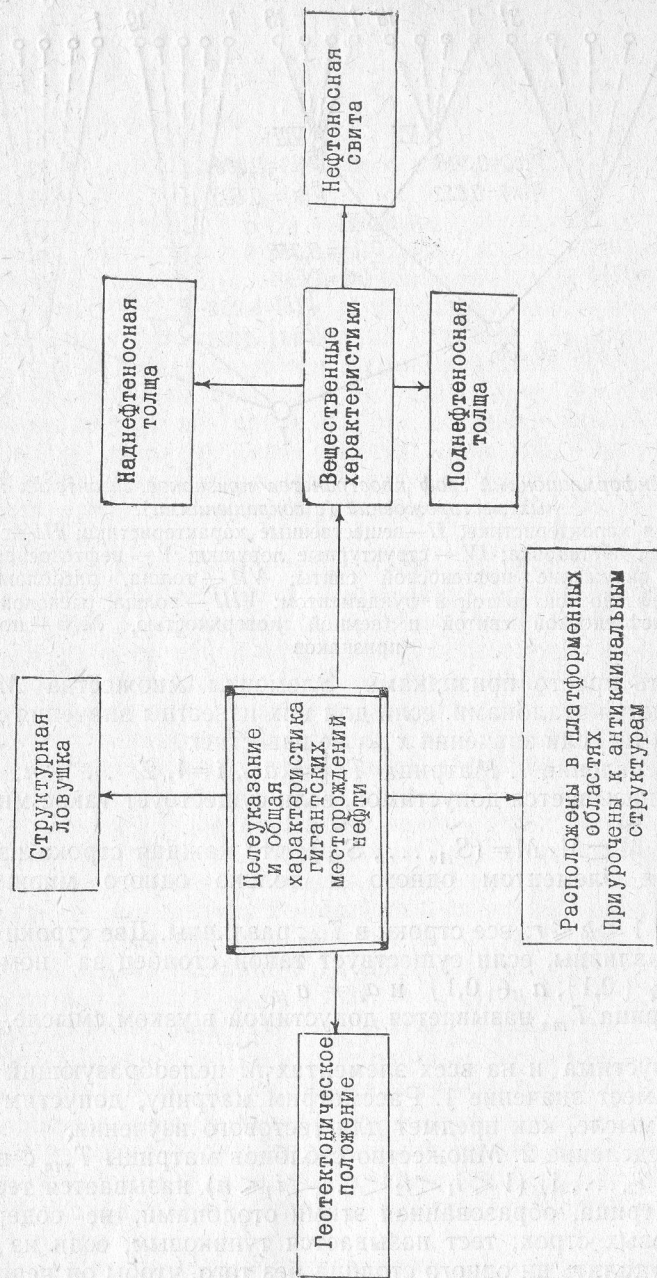


Рис. 1. Схема деления учебной и обработанной информации



Определение 4. Матрица, составленная столбцами с  $r(x) = 1$ , называется неизбыточной матрицей  $T^*$ ; если число столбцов матрицы  $T^*$  равно  $n = 2^{m-1} - 1$ , то такая матрица называется максимально неизбыточной  $T^*_{max}$ .

Пусть наращивание столбца  $x$  до теста  $t$  называется расширяемостью столбца. Если тест  $x_1, x_2, \dots, x_n$  не содержит в себе  $x$ , то число, выражающее расширяемость  $x$ , равно нулю. Если  $x$  включается в тест  $t$ , то число, выражающее расширяемость  $x$ , равно

$$d = \frac{r(x_1) \times \dots \times r(x_n)}{r(x)} \quad (1)$$

Опираясь на особенность теста  $t$ , перепишем его в виде произведения повторяемостей  $\Pi(t) = r(x_1) \times \dots \times r(x_n)$  матрицы. На базе введенных понятий доказывается теорема о том, что

$$K = \sum_t \Pi(t); \quad K_i = \sum_t d(x_i), \quad (2)$$

где суммирование ведется по всем  $t$  матрицам. Через  $K$  обозначено число всех тупиковых тестов, а через  $K_i$  — число тестов матрицы, в которые вошел  $i$ -й столбец.

Уравнения (2) легли в основу отладки решающей программы для ЭВМ. Укажем на большую громоздкость уравнений для алгебраического построения всех тупиковых тестов и быстрый рост трудоемкости с ростом числа строк  $m$  матрицы.

Вычисленные меры существенностей столбцов матриц в процессе сравнительного изучения объектов позволяют ввести новые величины для оценки важности строк (объектов) матрицы. В данной задаче применялись такие способы оценки веса строк матрицы  $T_{mn}$ .

Пусть информационные веса признаков равны  $P(i), \dots, P(n)$ . Возьмем произвольную строку  $S$ , в которой на местах  $i_1, \dots, i_l$  стоят единицы. Тогда

$$I(S) = \sum_{j=1}^l P(i_j) \quad (3)$$

называется информационным весом строки  $S$  матрицы  $T_{mn}$ . В ряде задач величина  $I(S)$  упорядочивает объекты исследования в соответствии с упорядоченностью по степени проявления свойства  $x_{n+1}$ . Очевидно, что  $I(S)$  зависит от направленности кодирования признаков. Поэтому для случаев, где важно соблюдение правила независимости от направленности кодирования, лучше пользоваться другой величиной.

Определение 5. Пусть  $t_{ij}$  элемент матрицы  $T_{mn}$  и  $t_{ij} \in \{0, 1\}$ . Тогда величина, вычисляемая по уравнению

$$I(P) = \sum_{i=1}^n P(i) - \sum_{i=1}^n P(i) (t_{ij} - [R_i]), \quad (4)$$

называется взвешенным информационным весом строки матрицы  $T_{mn}$ . В уравнении (4)  $R_i$  есть пропорциональность  $i$ -го столбца матрицы  $T_{mn}$ :

$$R_i = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m |t_{ij}|. \quad (5)$$

По  $R_i$  корректируется ориентация кода в  $T_{mn}$  (с элементами  $t_{ij}$ ), причем принимается, что

$$R_i = \begin{cases} 1, & \text{если } R_i > 0,5; \\ 0, & \text{если } R_i < 0,5; \\ \text{значение (0 или 1) выбирается случайным образом,} & \text{если } R_i = 0,5. \end{cases}$$

Взвешенные информационные веса строк  $I(P)$  вычисляются суммированием только тех значений  $P(i)$  в строке  $T_{mn}$ , которые соответствуют большей условной вероятности вхождения 0 или 1 в целом для столбца. Эта величина применяется для случаев, когда большинство признаков задано в количественном виде и ориентация кода по критерию истинности переменных затруднена.

Укажем также, что величины  $I(S)$  и  $I(P)$  по-разному выражают общее отношение строк исследуемой матрицы. По  $I(S)$  устанавливается близость данной строки к условно наилучшей строке матрицы (в пределе состоящей только из единиц). Ранжирование строк по величине  $I(P)$  показывает, насколько каждая из строк данной матрицы отстоит от некоторой усредненной строки ее.

Перейдем к интерпретации результатов обработки информации по вышеизложенным алгоритмам. Информационные веса строк матрицы хорошо коррелируются с запасами нефти ( $r = +0,814$ ;  $t = 5,98$  при  $t_{0,001} = 3,88$ ), несмотря на то, что величина запасов при решении задачи не учитывалась. Корреляция проводилась после определения информационных весов. У крупнейшего месторождения-гиганта Бурган максимальный информационный вес (29,5), а у наименее крупного гиганта — Соснинско-Советского месторождения — минимальный (16,0). Остальным месторождениям-гигантам соответ-

вуют промежуточные значения информационных весов, пропорциональные запасам. Имеющиеся отклонения относятся к недостаточно разведанным месторождениям Западной Сибири и акватории Персидского залива.

Такая убедительная корреляция свидетельствует о том, что использованные признаки вполне достаточны для характеристики месторождений и что примененные алгоритмы обеспечивают правильную оценку информационных весов. Очевидно, чем крупнее месторождение-гигант, тем в большей мере комплекс характеризующих его признаков отражает особенности класса гигантских месторождений в целом. Рассмотренная закономерность дает возможность предсказывать вероятные запасы нефти на неразведанных площадях. Соответствующие примеры приводятся ниже.

Поисковые признаки выделяются по высокому отождествляющему информационному весу (от 0,7 до 1,0). Две трети таких признаков приходится на группы, характеризующие геотектоническую обстановку и нефтеносную свиту. Существенное количество поисковых признаков имеется в группе поднефтеносной толщи, а в группе наднефтеносной толщи и структурной ловушки они единичны (см. рис. 2).

Из изученных признаков наднефтеносной толщи существенный отождествляющий информационный вес имеет низкая суммарная мощность песчаных пород ( $< 450$  м), а из признаков структурной ловушки — проявления неотектонических движений, рост ловушки в период накопления нефтеносной свиты и амплитуда свода, к которому приурочена ловушка. Амплитуда и площадь самой ловушки не имеют значительно информационного веса.

Из признаков поднефтеносной толщи высокий отождествляющий информационный вес имеют мощности глинистых пород, переслаивание проницаемых и непроницаемых пород, расстояние по разрезу от подошвы нефтеносной свиты до ближайшего регионального перерыва. Из признаков нефтеносной свиты высокий отождествляющий информационный вес имеют чередование проницаемых и непроницаемых пород, суммарные мощности пород различного типа (главным образом, глинистых пород), поровый тип коллекторов и выдержанность их по простиранию, место свиты в осадочном цикле (наиболее благоприятна трансгрессивная обстановка, сменяющаяся вверх по разрезу нефтеносной свиты регрессией).

Из геотектонических признаков высокий отождествляющий информационный вес получили такие признаки, как положение в приосевой зоне осадочного бассейна в период накопления осадков нефтеносной свиты, приуроченность ловушек к сводам, расположенным в крупных впадинах, и ряд признаков, характеризующих объемы пород. Причем суммарные объ-

емы глинистых и карбонатных пород по отождествляющему информационному весу несколько превосходят объемы глинистых пород и значительно превосходят объемы всех пород, вместе взятых. С другой стороны, объемы пород нижней части разреза, от кровли нефтеносной свиты до фундамента, имеют больший отождествляющий информационный вес, чем объемы пород по всему разрезу. Наконец объемы пород, взятые по всему осадочному бассейну, по отождествляющему информационному весу значительно уступают объемам пород в пределах зон вероятного питания залежей углеводородами. Эти зоны оконтуривались по впадинам, окружающим месторождения.

На крупнейших месторождениях Аравийской платформы все указанные признаки, характеризующие объемы и мощности осадочных пород, представлены большими величинами отождествляющих информационных весов, чем на менее крупных месторождениях других регионов.

Рассмотренные признаки с высоким отождествляющим информационным весом можно использовать в качестве поисковых критериев гигантских нефтяных месторождений, связанных со структурными ловушками платформенного типа. Они являются также убедительным подтверждением господствующих представлений об образовании нефти и формировании нефтяных залежей. В частности, они свидетельствуют о правомерности объемно-генетического метода оценки прогнозных запасов нефти. При этом следует опираться, главным образом, на объемы глинистых и карбонатных пород ниже кровли предполагаемой нефтеносной свиты в зоне возможного питания залежи углеводородами.

Поисковая задача может быть решена более уверенно посредством распознавания образов. В этом случае матрица всех признаков исследованных нами гигантских нефтяных месторождений принимается за эталон, а в качестве объектов распознавания выбираются такие перспективные районы, по которым имеется геологическая информация, достаточная для заполнения аналогичной матрицы.

Задача распознавания образов решалась для двух объектов Западной Сибири и трех объектов Сибирской платформы (рис. 3).

Оба исследованных объекта в Западной Сибири приурочены к Красноленинскому своду, расположенному в центральной части Мансийской синеклизы. К востоку от нее, на Сургутском и Нижневартовском сводах, уже открыты гигантские месторождения. Первый объект — юрские отложения всего Красноленинского свода, второй — нижеальбские отложения Ендырского куполовидного поднятия. Тектоническое строение Красноленинского свода, а также стратиграфия и литология

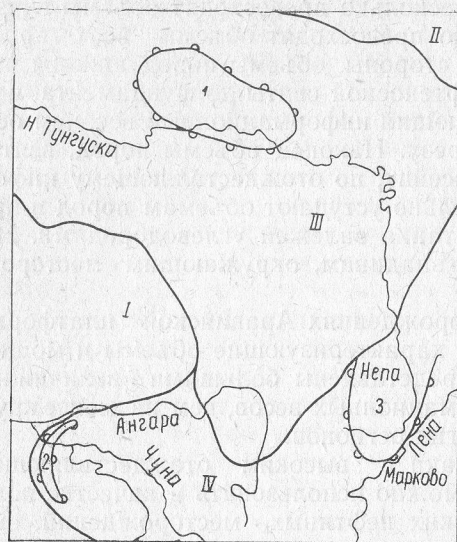


Рис. 3. Расположение проб на Сибирской платформе:  
 пробы: 1 — зона Центрально-Тунгусских погребенных поднятий, 2 — Троицко-Кокуйский вал, 3 — Непский свод; антеклизы: I — Енисейская, II — Анабарская; синеклизы: III — Тунгуская; IV — Ангарская

всего осадочного комплекса хорошо изучены по данным бурения и сейсморазведки. Из юрских и из нижнеальбских отложений получены притоки нефти (в нескольких случаях промышленного значения) [5]. Крупных месторождений не найдено, поэтому поисковые работы ведутся в малом объеме.

Вероятность открытия крупных нефтяных месторождений на Сибирской платформе не вызывает сомнений. Из множества перспективных районов этой обширной территории выделены как наиболее интересные три района (см. рис. 3).

Зона Центрально-Тунгусских нижнепалеозойских поднятий выявлена главным образом геофизическими методами под верхнепалеозойским чехлом во внутренней части крупнейшей на Сибирской платформе Тунгусской синеклизы, площадь которой достигает 1,5 млн. км<sup>2</sup>. В зоне погребенных поднятий глубоких скважин пока нет, поэтому о характере разреза приходится судить по геофизическим данным и данным о геологическом строении обрамления синеклизы, где имеются единичные скважины. Это вносит в матрицу признаков элемент условности. Задача решалась в отношении возможной нефтеносности ниже- и среднекембрийских отложений, в которых имеются нефтепроявления и битумы на большей части Сибирской платформы.

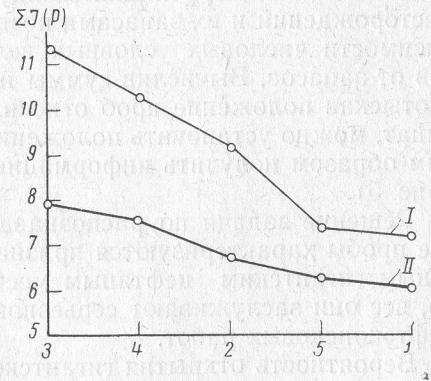
Троицко-Кокуйский вал расположен в Присяяно-Енисейском нижнепалеозойском прогибе, площадь которого достигает 200 тыс. км<sup>2</sup>. Вал прослеживается в меридиональном на-

правлении на 180 км. В его осевой зоне выявлено шесть брахиантиклинальных структур. Продуктивные горизонты предполагаются в мотской свите нижнего кембрия [7].

Непский свод является крупнейшей положительной структурой в зоне сочленения Тунгусской синеклизы и Иркутского амфитеатра. Он окружен впадинами с мощными толщами нижнепалеозойских пород. Еще до выявления Непского свода в Приленском районе было открыто Марковское нефтегазовое месторождение и получены притоки нефти и газа еще на нескольких площадях [1]. Эти площади расположены на юго-восточном погружении Непского свода, что свидетельствует об его высокой перспективности на нефть и газ в нижнекембрийских отложениях.

Решаемая задача распознавания образов делится на два этапа. На первом этапе производится сравнительное изучение объектов экзамена (проб), на втором — диагностика проб. Сравнительное изучение проб, охарактеризованных в том же пространстве признаков, что и эталоны, проводилось зависимым и независимым способами. В первом случае величины  $I(S)$  и  $I(P)$  вычислялись по информационным весам столбцов матриц для эталонов. Во втором случае веса проб устанавливались непосредственно по матрицам проб. Вычисление  $P(i)$  столбцов матрицы проб проводилось по программе на основе уравнения (2). Характерно, что упорядочивание проб по убыванию их информационных весов идентично для зависимого и независимого пути решения (рис. 4).

Рис. 4. Упорядочивание (ранжирование) проб по информационным весам:  
 I — кривая независимого решения, II — кривая зависимого решения; пробы: 1 — Красноленинский свод, 2 — Ендырское куполовидное поднятие, 3 — зона Центрально-Тунгусских погребенных поднятий, 4 — Троицко-Кокуйский вал, 5 — Непский свод



Изучение степени «погружения» проб в эталоны и установление родства между отдельными пробами и эталонами проводилось с помощью процедур голосования по тестам [6].



Пусть задана матрица  $T_{mn} = \{a_{ij}\}$ , где  $a_{ij} \in \{0,1\}$ , а  $i=1, 2, \dots, n$ ;  $j=1, 2, \dots, m$ , составленная из  $m$  эталонов и  $n$  признаков. Задана также проба  $S_\gamma = \{a_{1\gamma}, a_{2\gamma}, \dots, a_{n\gamma}\}$ , которую требуется отнести к одному из  $m$  классов, представителями которых являются выбранные эталоны. Имеется  $\{a_{i'j}\}$ ,  $i'=1, 2, \dots, l$ , — некоторый тупиковый тест матрицы  $T_{mn}$ . В таблице  $T$  выделяем подмножество столбцов  $x_i$  с номерами  $(1, 2, \dots, l)$ . Тогда, если для данного  $S_j$  ( $j=1, 2, \dots, m$ ) выполняется равенство

$$a_{i'j} = a_{i'\gamma}, \quad (6)$$

то считаем, что выбранный тест «голосует» за отнесение пробы  $S_\gamma$  к  $j$ -му эталону. Если хотя бы в одном из  $l$  имеем  $a_{i'j} \neq a_{i'\gamma}$ , то данный тест «воздерживается» от голосования.

Очевидно, что пробу  $S_\gamma$  следует отнести к эталону  $S_j$ , если для него выявлено, что  $K_j = \max_{1 \leq j \leq m} \{K_j\}$ . Если голоса распре-

лены равномерно между всеми эталонами, то решение о принадлежности данной пробы к данному эталону не принимается. Конечно, в реальной работе приходится вводить пороговые значения для  $K_j$ . «Погружение» данной пробы в совокупность эталонов оценивается отношением числа тестов, «принявших участие» в голосовании, к общему числу всех тупиковых тестов, построенных для данной матрицы.

Также осуществлена попытка прогнозирования запасов нефти для каждого экзаменуемого объекта. Вышеупомянутая положительная корреляция между информационными весами месторождений и их запасами позволяет построить график зависимости числовых условных величин информационных весов от запасов. Вычислив суммы информационных весов проб и отыскав положение проб относительно эталонов по оси ординат, можно установить положение проб на оси абсцисс и таким образом получить информацию о масштабе запасов проб (рис. 5).

Решение задачи по распознаванию образов показало, что все пробы характеризуются признаками, свойственными известным гигантским нефтяным месторождениям. Следовательно, все они заслуживают серьезного внимания как объекты нефтепоисковых работ.

Вероятность открытия гигантского месторождения убывает в такой последовательности: Зона Центрально-Тунгусских поднятий — Троицко-Кокуйский вал — Ендырское куполовидное поднятие — Непский свод — Красноленинский свод. Размеры ожидаемого месторождения уменьшаются в иной последовательности: Непский свод — Красноленинский свод — Ен-

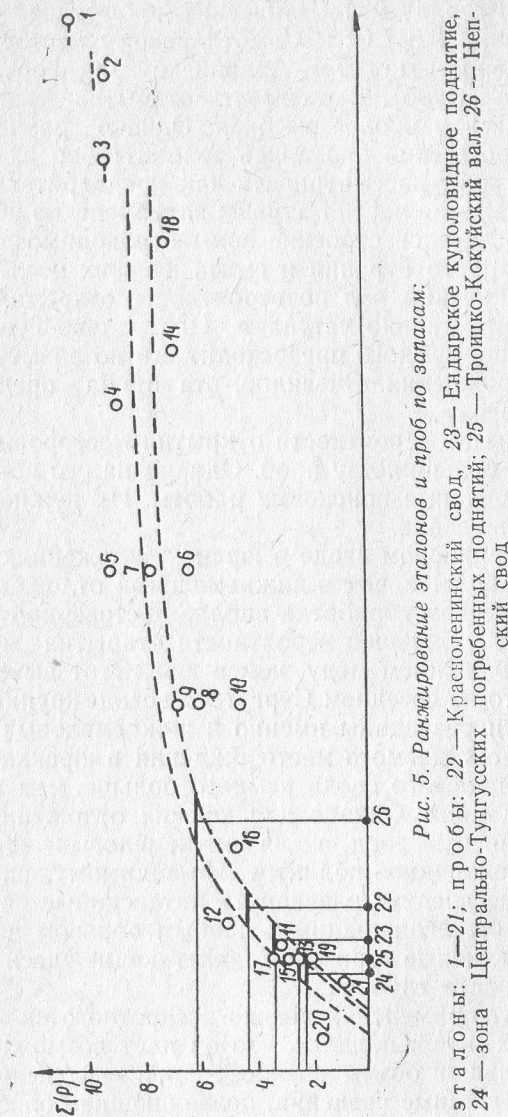


Рис. 5. Ранжирование эталонов и проб по запасам:

эталон: 1—21; пробы: 22 — Красноленинский свод, 23 — Ендырское куполовидное поднятие, 24 — зона Центрально-Тунгусских погруженных поднятий; 25 — Троицко-Кокуйский вал, 26 — Непский свод

дырское поднятие — Троицко-Кокуйский вал — Зона Центрально-Тунгусских поднятий.

Зона Центрально-Тунгусских поднятий безусловно высокоперспективна. По ряду математических показателей она тяготеет к крупнейшему в СССР Самотлорскому месторождению и к месторождениям-гигантам Аравийской платформы (единственная из всех проб). Вероятность открытия месторождения-гиганта здесь наиболее высокая. Однако размеры ожидаемого месторождения оказались сравнительно скромными. Эти оценки следует рассматривать как предварительные, поскольку значительная часть матрицы заполнена по косвенным данным. Геологическое строение зоны необходимо уточнить с помощью опорного бурения и геофизических исследований.

Троицко-Кокуйский вал по вероятности открытия месторождения-гиганта сильно уступает Центрально-Тунгусскому поднятию и лишь немного превосходит его по размерам ожидаемого месторождения. Очевидно, эта проба представляет меньший интерес.

Непский свод по вероятности открытия месторождения-гиганта уступает большинству проб. Однако на его погружении уже ведутся успешные поисковые работы. Их нужно продолжить на вершине свода.

На Красноленинском своде в юрских отложениях найдено залежей нефти больше, чем в нижнемеловых отложениях. Однако математическая обработка вполне достоверной матрицы свидетельствует о большей вероятности открытия месторождения-гиганта в нижнем мелу, чем в юре. Этот вывод согласуется с тем, что на соседнем Сургутском своде крупные месторождения нефти разведаны именно в нижнемеловых отложениях. Размеры ожидаемого месторождения в юрских отложениях Красноленинского свода немного больше, чем в нижнемеловых отложениях. Однако для юрских отложений расчет производился на весь свод, а для нижнемеловых — только на Ендырское куполовидное поднятие. По-видимому, на Красноленинском своде следует развернуть интенсивные нефтепоисковые работы, ориентированные главным образом на нижнемеловые продуктивные горизонты, залегающие здесь на сравнительно небольших глубинах.

Первый опыт применения логико-дискретного анализа для нефтепоисковых целей показал, что он дает возможность обрабатывать большой объем разнообразной информации и извлекать из нее важные сведения, позволяющие более обоснованно выбирать объекты для поисковых работ. Очевидно, эта методика заслуживает более широкого применения и дальнейшего совершенствования, как и другие математические методы в геологии.