Геология и геофизика, 1996, т. 37, № 10, с. 76—81

УДК 553.062.98:56+55

ЛОГИКО-МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ХАРАКТЕРИСТИК ГИГАНТСКИХ НЕФТЯНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

А. Н. Дмитриев, В. С. Вышемирский, А. А. Бишаев, В. В. Золотухин, В. Н. Кандыба

Институт геологии СО РАН, 630090, Новосибирск, Университетский пр., 3, Россия

На основе нового алгоритм-программного комплекса «Целевая итерационная классификация» построена признаковая и объектная модели гигантских месторождений нефти, связанных брахиантиклинальными складками и расположенных в платформенных нефтегазовых провинциях. Выявлена информативная система признаков ($n = 31$) из 107 признаков месторождений-гигантов; для 21 месторождения построена объектная модель с указанием внутренней структуры класса и группирования месторождений в ранги по количественным величинам отклонений от запасов.

Нефтяные месторождения-гиганты, признаковая модель, объектная модель, информативный коэффициент, прогнозные запасы.

A LOGICAL AND MATHEMATICAL MODEL FOR CHARACTERISTICS OF THE CLASS OF GIANT OIL DEPOSITS

A. N. Dmitriev, V. S. Vyshemirskii, A. A. Bishaev, V. V. Zolotukhin, and V. N. Kandyba

On the basis of a new algorithm-program complex «Goal-oriented iteration classification», a sign and object model has been derived for giant oil deposits connected by brachyanticlinal folds and situated in platform oil and gas provinces. An informative sign system (ISS) was recognized, comprising 31 signs of giant deposits. An object model has been constructed for 21 deposits with indication of the inner structure of class and clustering of deposits into ranks according to quantitative assessment of reserves.

Oil giant deposits, sign model, object model, information coefficient, forecasted reserves

---

При сравнительном изучении месторождений [1, 2] различной крупности возникла необходимость построения укороченных характеристик, пригодных для прогнозных оценок месторождений класса «гиганты». Нефтяные гиганты мира во многих отношениях весьма разнообразны, и описать все их в каком-либо одном неизбыточном признаковом пространстве едва ли возможно. Авторы ограничились исследованием гигантов, связанных с брахиантиклинальными складками и расположенных в платформенных нефтегазоносных провинциях. Прогнозирование таких месторождений представляет наибольший интерес для российских нефтепоисковых организаций.

Мы приняли масштаб извлекаемых запасов гигантских нефтяных месторождений в интервале 0,5—3,5 млрд т. Более крупные, сверхгигантские месторождения, которых в мире всего три, не исследовались. В исходную матрицу были включены все месторождения рассматриваемого класса, имеющиеся в Западной Сибири, Урало-Поволжье, Северной Африке и США. На Ближнем Востоке гигантов так много, что если все их включить в исходную матрицу, информация по ним снизит диагностическое значение информации по всем другим провинциям. Поэтому по Ближнему Востоку мы ограничились десятью месторождениями.

С целью решения задачи обнаружения поискового критерия для гигантов было проведено детальное расчетное экспериментирование по количественному восстановлению запасов для каждого месторождения исследуемого класса. Это значительно продвигает проблему поиска гигантов, поскольку неизбыточный набор признаков составляется из характеристик месторождений сильно коррелированных с масштабом запасов. Таким образом, цель этой детализации состояла в том, чтобы:

1) выявить наиболее устойчивые и информативные системы косвенных диагностических признаков, дающих оценку запасов месторождений и построить модель поискового критерия для гигантов;

2) обнаружить структуру и построить модель заданного класса объектов, по которой в соответствии со значениями восстановленных запасов (прогнозных оценок), выявить ядро класса

© А. Н. Дмитриев, В. С. Вышемирский, А. А. Бишаев, В. В. Золотухин, В. Н. Кандыба, 1996

гигантских месторождений нефти и установить информационную значимость каждого объекта исследования.

Особенности методико-алгоритмического и программного обеспечения решения задачи по количественному прогнозу нефтяных гигантов сводятся к следующему.

1. На межрегиональном уровне исследований при постановке задачи была предложена поэтапная схема решения, которая состоит из последовательности шагов, обеспеченных новыми алгоритм-программными разработками на базе принципа «целевой итерационной классификации» (ЦИКЛ) [3, 4]. Наиболее существенным методико-алгоритмическим механизмом, определяющим выбор существенных параметров в виде информативной системы признаков (ИСП) и оптимизирующим решение задач количественных оценок запасов нефти на прогнозно-поисковой стадии, является совмещение критериев устойчивости и точности решения при поиске косвенных многомерных закономерностей в виде устойчивых целевых зависимостей регрессионного типа [4, 5].

В результате реализации такой разработки (по программе ЦИКЛ-3 на ПЭВМ) путем неполного перебора находились устойчивые признаковые совокупности. Основу полученных совокупностей составляли информационные системы признаков (ИСП), представляющие собой список существенных параметров. Далее производилось построение количественной прогнозно-поисковой модели для объектов, т. е. объектной модели исследуемого класса.

2. Решение задачи достигалось последовательностью изъятий каждого значения целевого признака месторождения из обучающей выборки класса. Было проведено 21 решение (по числу месторождений). Каждое решение анализировалось на величину отклонения оценок восстановленного значения целевого признака и на отклонения прогноза для всех объектов класса (20-ти месторождений). Таким образом, обнаруживалось информационное влияние каждого месторождения на прогнозные оценки объектов класса. При этом выявлялось разнообразие и поисковых критериев для гигантов, а также наиболее информоемкое месторождение для всего класса.

ПОИСКОВЫЙ КРИТЕРИЙ ГИГАНТСКИХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Поисковый критерий (табл. 1) был получен на базе 21 решения задачи с последовательным изъятием каждой строки из обучающей выборки. При каждом изъятии месторождения из класса находилась своя информационная поисковая система. Оказалось, что различные месторождения сильно влияют на состав поисковой системы (ИПС). Так, на вычисление прогнозных оценок, вошедших в поисковый критерий, при изъятии месторождения Нафора-Ауджила потребовалось лишь 9 признаков, а при удалении Самотлорского месторождения в обучающей выборке для получения ИПС потребовалось 18 признаков. Таким образом, характеристика месторождения Нафора-Ауджила обладает свойством слабого информационного влияния на общую характеристику класса, а характеристика Самотлора имеет сильное информационное влияние. И далее, например, из общего списка признаков, вошедших во все поисковые критерии (n = 31), трата признаков на вычисление прогнозных оценок для месторождений Дукхан, Арлан, Вафра на 23 % меньше, чем для Самотлорского (рис. 1).

Совокупность полученной последовательности существенности признаков, представленная в общей модели поискового критерия, позволяет провести полезный для геологической интерпретации анализ, вытекающий из решения формализованного характера:

а) по числу признаков, принявших участие во всех ИСП, на первом месте стоит группа признаков «нефтеносная свита» (n = 13), а на втором месте — «геотектоническая обстановка» (n = 6);

б) по усредненной оценке (суммарный коэффициент информативности — J_k) группы признаков ранжировались следующим образом:

	J_k
геотектоническая обстановка	— 6,34
нефтеносная свита	— 2,29
наднефтеносная свита	— 1,13
поднефтеносная свита	— 1,01
структурная ловушка	— 0,08;

в) в качественном составе признаков, вошедших в последовательность решений данного класса, выявилась совокупность отрицательно коррелирующих признаков (9 из 31 признака, что составляет 29 %). В модель вошло 23 признака (74,1 %), отражающих вещественный состав месторождений, из них:

— 12 признаков (38,6 %) из группы «нефтеносная свита»,

— 3 признака (9,7 %) из группы «наднефтеносная свита»,

— 7 признаков (22,6 %) из группы «поднефтеносная свита».

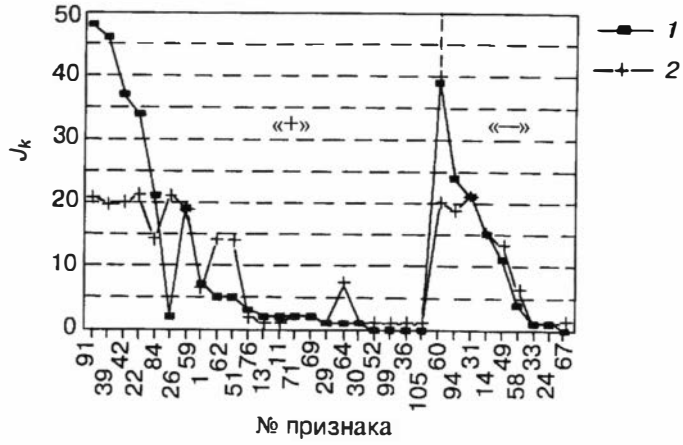
Таблица 1. **Поисковый критерий класса нефтяных гигантов**

№ п/п	№ признака	Содержание признаков	Количественные оценки $\sum_n J_k$	Количественные оценки $\sum_{n\,\text{сред}}$	Знак корреляции	Кол-во решений, участвующих в оценке	Группа признаков	Названия отдельных месторождений
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	91	Объем глинисто-алевритовых и карбонатных пород в зоне в поднефтеносной толще, тыс. км^3	10,03	0,48	+	21	ГО	—
2	89	Объем глинисто-алевритовых пород в нефтеносной толще, тыс. км^3	9,65	0,46	+	20	ГО	—
3	42	Проявления газа: имеются (отсутствуют)	7,84	0,37	+	20	НС	—
4	22	Залежи газа в нефтеносной свите в пределах месторождений: имеются крупные залежи (нет крупных залежей)	7,20	0,34	+	21	НС	—
5	84	Объем осадочного чехла в зоне месторождений, тыс. км^3	4,49	0,21	+	14	ГО	—
6	26	Вся нефтеносная свита находится в трансгрессивной части разреза (не вся находится)	4,16	0,20	+	21	НС	—
7	59	Количество региональных перерывов в поднефтеносной толще	4,04	0,19	+	19	ПдС	—
8	1	Средние дебиты скважин, т/с	1,41	0,07	+	6	НС	—
9	62	Суммарная мощность песчаных пород, м	1,04	0,05	+	14	ПдС	—
10	51	Роль проницаемых пород в разрезе наднефтеносной толщи, %	1,03	0,05	+	14	НдС	—
11	76	Площадь зоны, расположенной гипсометрически ниже объекта на структурной карте поднефтеносной толщи, тыс. км^2	0,58	0,03	+	2	ГО	—
12	13	Коллекторы все выдержанные (не все выдержанные)	0,46	0,02	+	1	НС	Зелтен
13	11	Имеются мощные проницаемые пласты (тонкое чередование)	0,45	0,02	+	1	НС	»
14	71	Распределение проницаемых пород в разрезе не внизу (внизу)	0,36	0,02	+	2	ПдС	—
15	69	Имеются мощные проницаемые породы (нет)	0,35	0,02	+	2	ПдС	Дукхан
16	29	Эвапоритовые породы в нефтеносной свите имеются (отсутствуют)	0,29	0,01	+	1	НС	Мамонтовское
17	64	Мощность эвапоритовых пород, м	0,20	0,01	+	7	ПдС	—
18	30	Суммарная мощность карбонатных пород в нефтеносной свите, м	0,13	0,01	+	1	НС	Федоровское
19	52	Количество региональных перерывов в разрезе толщи	0,10	0,005	+	1	НС	Федоровское
20	99	Площадь структурной ловушки, км^2	0,10	0,005	+	1	СЛ	Сабрия
21	36	Продолжительность накопления нефтеносной свиты, млн лет	0,05	0,00	+	1	НС	Дукхан
22	105	Пликативные осложнения крыльев и периклиналей структурные ловушки: имеются (отсутствуют)	0,05	0,00	+	1	СЛ	Самотлорское
23	80	Размеры в пределах впадины: имеются (отсутств.)	8,23	0,39	—	20	ГО	—
24	94	Порядок структурной ловушки	5,09	0,24	—	19	ГО	—
25	31	Суммарная мощность песчаных пород в нефтеносной свите, м	4,46	0,21	—	21	НС	—
26	14	В нефтеносной толще преобладают выдержанные коллекторы (преобладают невыдержанные)	3,10	0,15	—	15	НС	—
27	49	Суммарная роль всех непроницаемых пород в разрезе толщи, %	2,16	0,11	—	13	НдС	—
28	58	Продолжительность накопления поднефтеносной толщи, млн лет	0,90	0,04	—	6	ПдС	—
29	38	Продолжительность накопления наднефтеносной толщи, млн лет	0,19	0,01	—	1	НдС	Самотлорское
30	24	Значительная угленосность (нет значит. угленосн.)	0,19	0,01	—	1	НС	»
31	67	Суммарная роль глинисто-алевритовых и карбонатных пород в разрезе толщи, %	0,16	0,00	—	1	ПдС	»

Примечание: Группы признаков: ГО — «геотектоническая обстановка»; НС — «нефтеносная свита»; ПдС — «поднефтеносная свита»; НдС — «наднефтеносная свита»; СЛ — «структурная ловушка». $\sum_n J_k$, $n = 1, \ldots, 21$; — сумма всех оценок по данному признаку для всех объектов (решений), см. табл. 2. $\sum_{n\,\text{сред}}$ — средняя оценка по данному признаку для всех объектов (решений).

Рис. 1. Ранжирование признаков в модели класса «гиганты».

1 — конечный информационный вес признака (J_k).
2 — номер признака.



Всего 8 признаков вошло из пространственных (геометрически интерпретируемых) характеристик:

— 6 признаков (19,4 %) из группы «геотектоническая обстановка»,

— 2 признака (6,5 %) из группы «структурная ловушка».

Таким образом, наибольшая эффективность групп признаков в отношении их участия в информационной системе признаков для нефтяных гигантов выявлена детально. При этом со значительным преимуществом идут две группы признаков: «нефтеносная свита» и «геотектоническая обстановка». Касаясь общей оценки детализированной модели признакового пространства гигантских месторождений, можно отметить три уровня значимости групп признаков:

— 1-й уровень составляют две группы признаков: «геотектоническая обстановка» (J_k = 6,34) и «нефтеносная свита» (J_k = 2,29);

— 2-й уровень состоит из групп признаков: «поднефтеносная свита» (J_k = 1,01) и «наднефтеносная свита» (J_k = 1,13);

— 3-й уровень представлен группой: «структурная ловушка» (J_k = 0,08).

Такое подразделение значимости групп признаков в целом поддерживает рабочие предположения объемного метода, по которому прямым признаком запасов углеводородов является количество осадочного материала в бассейне. Обращает на себя внимание факт резкого снижения числа характеристических признаков (со 107 до 31). Поисковый критерий составлен признаками, пригодными для количественных прогнозных оценок, и является наиболее экономной характеристикой нефтяных гигантов исследуемого типа.

Таблица 2. **Общая модель класса нефтяных месторождений гигантов**

№ п/п	Название месторождения	Регион	Запасы, млн т	Прогнозные оценки, млн т	Отклонение оценки, млн т	Отклонение оценки, в %	Характер прогноза	Ранг прогноза
1	Самотлорское	ЗС	3388	752	2565	341,1	Занижен	4
2	Хасси-Мессауд	СА	713	1922	1209	169,6	Завышен	4
3	Прадхо-Бей	США	2700	1144	1556	136,0	Занижен	4
4	Сафания	БВ	3400	1588	1812	114,5	»	
5	Ромашкинское	У-П	2300	1098	1202	104,5	»	4
6	Сабрия	БВ	552	1012	460	83,3	Завышен	3
7	Вафра	БВ	600	1132	532	82,8	»	3
8	Манифа	БВ	1700	930	770	82,7	Занижен	3
9	Сарир	СА	1100	639	461	72,1	»	3
10	Зелтен	СА	1500	2321	821	64,7	Завышен	3
11	Абкаик	БВ	1700	2523	823	48,4	Завышен	2
12	Хураис	БВ	900	1345	445	48,9	»	2
13	Мамонтовское	ЗС	574	853	279	48,6	»	2
14	Федоровское	ЗС	786	536	250	46,6	Занижен	2
15	Раудхатайн	БВ	1100	814	286	35,1	»	2
16	Даммам	БВ	750	584	166	28,4	Занижен	1
17	Нафора-Ауджила	СА	700	593	107	18,0	»	1
18	Хурсания	БВ	900	1024	124	13,8	Завышен	1
19	Арлан	У-П	757	839	82	10,8	»	1
20	Зубейр	БВ	1020	925	95	10,3	Занижен	1
21	Дукхан	БВ	642	630	12	1,9	»	1

Примечание. ЗС — Западная Сибирь, СА — Северная Африка, БВ — Ближний Восток, У-П — Урало-Поволжье.

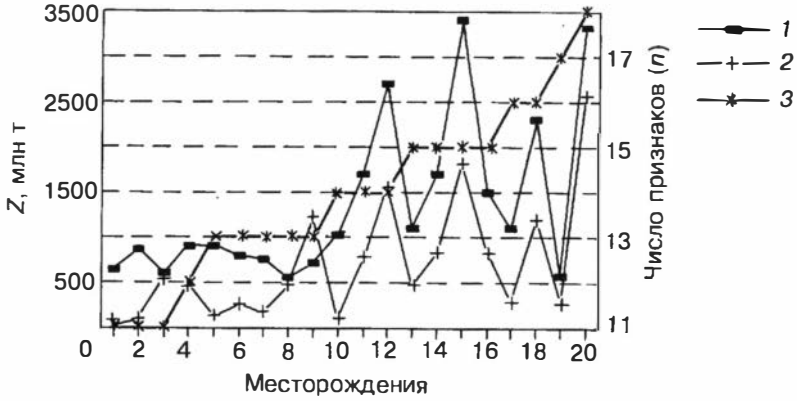


Рис. 2. Сравнение количественных характеристик объектов модели.

1 — конкретные запасы; *2* — отклонение прогнозной оценки, *3* — число признаков.

Месторождения: 1 — Дукхан, 2 — Арлан, 3 — Вафра, 4 — Хураис, 5 — Хурсания, 6 — Федоровское, 7 — Даммам, 8 — Сабрия, 9 — Хасси-Мессауд, 10 — Зубейр, 11 — Манифа, 12 — Прадхо-Бей, 13 — Сарир, 14 — Абкаик, 15 — Сафания, 16 — Зелтен, 17 — Раудхатайн, 18 — Ромашкинское, 19 — Мамонтовское, 20 — Самотлорское.

МОДЕЛЬ КЛАССА МЕСТОРОЖДЕНИЙ-ГИГАНТОВ

Построение общей модели класса месторождений-гигантов (табл. 2) нацелено на выявление структуры характеристик объектов. При этом существенными считаются вопросы [6]: выделения типичного ядра класса, группирования (ранговки) объектов класса, установления информационной существенности каждого объекта как носителя основных свойств класса. Выявление информационной роли объекта в классе устанавливалось по величине отклонения объекта.

В данной схеме решения мы руководствовались следующими предположениями.

Предположение I. Максимально информационному объекту класса соответствуют максимальные отклонения прогнозных оценок при его удалении из обучающей выборки.

Предположение II. Максимально информационному объекту класса соответствует наиболее обширная информационная система для вычисления прогнозных оценок.

Анализ результатов вычислительного эксперимента выявляет, что сделанные предположения оказались рабочими. При этом выявлено, что экономичность каждого решения, в смысле затраты числа признаков на получение прогнозных оценок, подчинена правилу типичности. По этому правилу затрата признаков на прогнозную оценку для месторождений с типичной характеристикой является минимальной. И, во-вторых, для типичных объектов характерна высокая точность прогнозных оценок. Из сделанных предположений и их подтверждений следует вывод: *наличие типичных объектов в классе избыточно и удаление одного из них не сказывается на результате решения, а удаление нетипичного объекта значительно деформирует информационную структуру класса, при этом возрастает число необходимых признаков и снижается точность прогнозных оценок.*

Касаясь конкретных данных решения, следует обратить внимание на сопряженность расчетных данных эксперимента по использованию признаков с величинами отклонений прогнозных оценок (рис. 2). Согласно этим данным видно, что с ростом числа признаков растет и величина отклонений прогнозных оценок. Можно утверждать и то, что с возрастанием отклонения прогнозных оценок растет оригинальность исследуемых объектов и их конкретные запасы.

Рассматривая полученную общую модель класса месторождений-гигантов (см. табл. 2), легко видеть, что 4-й и 3-й ранги объектов в классе составлены месторождениями с максимальными запасами. Именно эти ранги объектов составляют каркас уникальных месторождений и основу класса «гиганты». Объекты 4-го ранга — все из разных регионов. И то, что удаление каждого из них сильно модифицирует информационные условия класса и сказывается на точности прогноза, говорит о их неповторимости и отсутствии аналогов в исследуемой выборке.

1-й и 2-й ранги объектов в модели отделены большим скачком в средних значениях запасов и почти одинаковым значением средних между собой. Этот факт можно истолковать так, что априорно заданный класс гигантских месторождений нефти (с $Z > 500$ млн т) крайне неоднороден по геологической природе. По существу мы имеем дело с двумя подклассами (или типами) месторождений: с запасами более 1,5 млрд т и с запасами менее 1,5 млрд т. Характерно также, что, согласно модели, характеристики второго подкласса месторождений включены в характеристику первого подкласса и не превосходят их. Но характеристика первого подкласса превосходит характеристику второго подкласса. Это пополнение информации со стороны характеристик 1-го подкласса дает преимущество объектам 2-го подкласса в смысле их экономичности и точности в прогнозных оценках.

Вышеизложенные сведения накладывают некоторые ограничения на поиск гигантов 4-го ранга (см. табл. 2) по аналогии. Дело в том, что каждый гигант этого масштаба является «штучным изделием» и требует особых согласований геолого-геофизических качеств. Более успешным поиск аналогов может оказаться для месторождений с $Z \ll 1{,}5$ млрд т.

Таким образом, реализация расчетного эксперимента по детальному сравнительному изучению предъявленной выборки гигантских месторождений нефти позволила:

а) выявить информационную поисковую систему признаков (признаковая модель) для объектов исследуемого класса; указать наиболее существенную группу признаков из общего пространства свойств месторождений; сжать исходное число признаков (n = 107) до 31 и указать их наиболее информативную часть (см. табл. 1);

б) построить объектную модель (см. табл. 2), вскрывшую внутреннее соотношение месторождений в исследуемом классе; обнаружить ранговость прогнозных оценок, связанных масштабом запасов месторождений; выявить характеристическую уникальность гигантов с максимальными запасами в классе и сформулировать принцип, что более крупное месторождение обнаруживается большим числом признаков.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Моделирование** при логико-математической обработке геологических данных. Новосибирск, ИГиГ СО АН СССР, 1990, 129 с.
2. **Трофимук А. А., Вышемирский В. С., Дмитриев А. Н.** и др. Методы прогнозной оценки нефтегазоносных районов Сибири. Новосибирск, ИГиГ СО АН СССР, 1982, 48 с.
3. **Бишаев А. А.** Обобщенный алгоритмический подход к построению классификаций на основе прецедентности // Всесоюзная конференция «Теория классификаций и анализ данных». Новосибирск, ВЦ СО АН СССР, 1981, с. 34—35.
4. **Букреева Г. Ф., Вотах М. Р., Бишаев А. А.** Определение палеоклиматов по палинологическим данным (методами Целевой итерационной классификации и регрессионного анализа). Новосибирск, ИГиГ СО АН СССР, 1986, с. 53—74.
5. **Таксономия** в классификационных и прогнозных задачах. Новосибирск, ИГиГ СО АН СССР, 1989, 119 с.
6. **Трофимук А. А., Дмитриев А. Н.** Нефтепрогноз как информационная проблема // Математические методы решения прогнозных задач в нефтяной геологии. Новосибирск, ИГиГ СО АН СССР, 1978, с. 3—35.

Рекомендована к печати 8 февраля 1995 г.
А. Э. Конторовичем

Поступила в редакцию 18 июня 1994 г.,
после доработки — 31 января 1995 г.