

А. А. ТРОФИМУК, А. А. БИШАЕВ, В. С. ВЫШЕМИРСКИЙ,
А. Н. ДМИТРИЕВ, А. Д. СОКОЛОВ.

ДИАГНОСТИКА НЕФТЯНЫХ И ГАЗОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ЛОГИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ

На ранней поисковой стадии, до глубокого бурения, раздельное прогнозирование нефтяных и газовых месторождений представляет собой одну из наиболее сложных задач нефтяной геологии. Надежных методов такого прогнозирования пока не разработано. Вероятно, генетические различия между нефтяными и газовыми месторождениями обусловлены многими еще не выявленными признаками. Поэтому авторы изучили большое количество информации математическими методами, рассчитывая на то, что здесь может проявиться влияние тех признаков, от которых зависит фазовый состав месторождений.

Было исследовано 40 небольших месторождений с суммарными запасами нефти и газа не более 50 млн. тонн: 23 из южных районов Волго-Уральской провинции (Волгоградская и Саратовская области) и 17 — из юго-восточной части Западно-Сибирской провинции (Томская и Новосибирская области). В числе этих месторождений 16 нефтяных, 5 газовых и 19 нефтегазовых. Все месторождения характеризовались по единой формализованной схеме, отражающей только ту информацию, которая известна на ранней поисковой стадии.

Все месторождения обладают 76 признаками, разделенными на 6 групп: характеристика главной (по запасам) продуктивной свиты, общая характеристика всех продуктивных свит, свойства покрывающей толщи (часть разреза, расположенная выше всех продуктивных свит), свойства подстилающей толщи (часть разреза, расположенная между фундаментом и нижней продуктивной свитой), геотектоническая обстановка и свойства структурной ловушки.

Продуктивные свиты выделены с некоторой условностью, но одинаково для всех месторождений. Их подошвы проводились ниже нефтегазоносных горизонтов, поверх ближайших мощных водоносных коллекторов, а при отсутствии таковых — либо по кровле фундамента, либо по региональным перерывам, сопровождающимся резкими изменениями характера отложений. Кровля каждой продуктивной свиты определялась по кровле верхнего продуктивного пласта. При таком выделении продуктивных свит в их

состав включаются не только нефтегазоносные пласты, но и нефтегазопроизводящие отложения.

В группе признаков, характеризующих геотектоническую обстановку, большое место занимают объемные характеристики отложений в пределах зон возможного питания залежей углеводородами. Границы таких зон проводились на структурных картах по осям впадин, окружающих соответствующие месторождения, т. е. в пределах зон пласты повсюду воздымаются в сторону месторождений (Геолого-геохимические..., 1976).

Поскольку месторождения Западной Сибири и Урало-Поволжья существенно различаются по многим признакам, математическая обработка информации по тем и другим месторождениям производилась раздельно.

Прогнозирование объектов нефтяной геологии подразделяется на качественное и количественное. При качественном прогнозировании производится, например, сортировка объектов (проб) с неясной перспективностью на продуктивные и непродуктивные, т. е. целевой параметр принимает дискретные значения. При количественном прогнозировании устанавливается, например, масштаб запасов или количественное соотношение запасов нефти и газа в данном месторождении, т. е. целевой параметр принимает численные значения (Дмитриев, 1976).

Задача по раздельному прогнозу нефтяных и газовых месторождений, подлежащая решению логико-математическими методами, включает только качественное прогнозирование, т. к. разделение объектов обучающей выборки на классы представляется более достоверным, чем численные данные по соотношению запасов нефти и газа. На качественном уровне задачи выясняется ответ на вопрос «что?» — нефть, нефть + газ, газ. Цель, достигаемая решением данной задачи, состоит в том, чтобы получить результаты в следующих постановках:

1. Процедурами сравнительного изучения объектов (месторождений, представленных описаниями) из общей совокупности характеристических признаков выделить информативную систему признаков.

2. На основе информативной системы признаков для раздельного диагноза нефтяных, нефтегазовых и газовых месторождений провести внутренний экзамен системы обучения.

Используя результаты этих постановок решения задачи, можно производить раздельный диагноз проб, отнесенных в разряд перспективных.

Для решения задачи на качественном уровне из эталонных объектов были сформированы три упорядоченных (по соотношению запасов нефти и газа в месторождении) класса: I — нефтяные месторождения (Н), II — смешанные и III — газовые (Г). Смешанные месторождения в некоторых вариантах решения под-

разделялись на газонефтяные (гН) с соотношением запасов (Q), равным $\frac{Q_H}{Q_G} > 0,3$, и нефтегазовые (нГ) с соотношением $\frac{Q_H}{Q_G} \leq 0,3$. Значения целевого признака были представлены дискретно (3, 2, 1, 0).

Общий объем информации, заданный таблицей исходных числовых значений, составлял 40 строк и 76 столбцов. В процессе решения задачи исходная таблица в зависимости от постановки и результатов предыдущих решений неоднократно перекомпоновывалась так, что в целом на ЭВМ типа М-222 было просчитано 8 таблиц. Суммарное машинное время, потраченное на решение задачи, составило около 50 минут. Все варианты решения были реализованы алгоритмом «Целевая итерационная классификация» (Цикл) по программе «Цикл-2».

Метод «Целевая итерационная классификация» предназначен для: а) выбора информативной системы признаков на базе изучения эталонной совокупности объектов с известными значениями целевого признака (например, запасы); б) принятия решения по информативной системе признаков о значениях целевого признака объектов — проб. Особенности данного метода являются: 1) нежесткие ограничения на исходные данные как в информационном отношении (возможность совместного использования количественных, качественных или, например, бинарных признаков), так и в статистическом (без требований на независимость признаков, выявления закона распределения); 2) отсутствие полного перебора за счет последовательных приближений с помощью итерационных процедур; 3) целевой учет как индивидуальных мер значимости признаков, так и их меры значимости во взаимных сочетаниях «дополнительности» (Бишаев, 1976).

Обобщенная алгоритмическая основа метода состоит в следующем. Пусть на множестве эталонных объектов (например, месторождений), подлежащих исследованию (S_1, S_2, \dots, S_m , где m — число объектов), с известными значениями целевого признака ($X_0 = t_{10}, t_{20}, \dots, t_{m_0}$) заданы значения характеристических признаков (x_1, x_2, \dots, x_n), где $x_1 = t_{11}, t_{21}, \dots, t_{m_1}$, а n — число признаков). Заданы также начальные значения информационных весов характеристических признаков ($P_1^{(0)}, P_2^{(0)}, \dots, P_n^{(0)}$), например, при условии их равноценности $P_1^{(0)} = P_2^{(0)} = \dots = P_n^{(0)}$ и нормировки $\sum_{j=1}^n P_j = 1$. Далее для всех эталонов, по значениям характеристических признаков и их информационным весам, производится оценка ($d^0(S_i)$ $i=1, 2, \dots, m$) величин, сравниваемых с аналогичными оценками эталонов по значениям целевого признака $d_0(S_i)$. Такими оценками могут быть нормированные расстояния для всех пар эталонов либо просто нормированные целевые и ха-

ракетистические нагрузки объектов. В программных реализациях данного метода используются оба подхода (Бишаев, 1976). В методе указывается способ сравнения этих оценок как для каждого объекта (если оценками являются нагрузки), так и для каждой пары объектов (если оценками являются расстояния). Осуществляется сравнение с помощью отношения

$$d_0(S_i) / d^{(0)}(S_i) = D^{(0)}(S_i). \quad (1)$$

Но допустимы и процедуры логического сравнения (конечно, результаты сравнения будут в дискретном виде), вычитания и т. п.

Количественные результаты этого сравнения ($D^{(0)}(S_i) \ i=1, 2, \dots, m$) нами употребляются в качестве коэффициентов поощрения или наказания исходных информативностей каждого из признаков:

$$P^{(0)} \cdot j \left[\sum_{i=1}^m (D^{(0)}(S_i) \cdot t_{ij}) \right], \quad (2)$$

где i — номер объекта, j — номер признака. Наибольшие величины влияния коэффициентов поощрения-наказания признаков по сумме всех эталонов (в квадратных скобках) всегда приводят к возрастанию информационных весов соответствующих признаков, а наименьшие — к уменьшению этих весов. Если на основании (2) с последующей нормировкой вычислить новые информационные веса ($P_1^{(1)}, P_2^{(1)}, \dots, P_n^{(1)}$), то они при наличии дифференциации в значениях (2) уже не будут равноценными, а некоторые из них могут равняться нулю. Увеличение информационного веса признаков происходит по двум направлениям:

1. Вес растет у таких признаков, которые дают в соответствии с целевыми оценками объектов максимальный вклад в их характеристические оценки (такой вклад мы называем индивидуальной мерой значимости признака, пределом которой является сам целевой признак).

2. Поощряются также и те признаки, которые индивидуально не очень сильны, но вносят существенный вклад в характеристические оценки объектов (наряду с незначительным суммарным вкладом остальных признаков), с высоким значением целевых оценок.

Поощрение таких признаков в их общей системе обуславливает некоторую реализацию принципа дополнительности признаков при выборе их информативной системы.

Процедурами сравнения целевых и характеристических оценок объектов и поощрения-наказания признаков для получения новых информационных весов ($P_1^{(1)}, P_2^{(1)}, \dots, P_n^{(1)}$) производится некоторое приближение новых характеристических оценок объектов $d^{(1)}(S_i)$ к их целевым оценкам $d_0(S_i)$, то есть количественные результаты сравнения этих оценок $D^{(1)}(S_i)$ на основании применения (1) будут приближаться к единице.

Окончательное установление информативной системы признаков на базе созданных процедур проводится методом последовательных приближений с использованием обычного итерационного процесса:

$$K[D^{(\tau)}(S_i)] = D^{(\tau+1)}(S_i), \tau=0, 1, 2, \dots, C, \quad (3)$$

где C — конечное число шагов. Сходимость этого процесса в методе «Целевая итерационная классификация» («Цикл») подтверждается множеством численных машинных экспериментов (по программам для ЭВМ М-222, БЭСМ-6) как с модельными числовыми примерами, так и с конкретными геологическими задачами.

Принятие решений (на базе информативной системы признаков) о значениях целевого признака объектов-проб проводится в строгом соответствии со способом вычисления характеристических оценок для эталонных объектов.

Решение данной задачи по раздельному прогнозированию нефтяных и газовых месторождений осуществлялось так, что характеристические оценки объектов по заданной системе признаков находились в виде нормированных нагрузок каждого объекта с предварительным выявлением целевой направленности кода признаков. Направленность кода задавалась на основе вычисления знака парной линейной связи каждого из характеристических признаков с целевым (Бишаев, 1976). Кроме того, значения всех признаков путем нормировки приводились к диапазону чисел от 1 до 0.

Если признак x_j имел отрицательный знак связи, то он при вычислении характеристических оценок объектов заменялся обратным следующей операцией:

$$(1 - t'_{ij}) = t_{ij} \quad i=1, 2, \dots, m.$$

Далее, как нормированные нагрузки строк значений признаков простейшим путем вычислялись характеристические оценки объектов:

$$d^{(0)}(S_i) = \sum_{j=1}^n P^{(0)}_j \cdot t_{ij} \quad (4)$$

Для целевых оценок эталонов использовались нормированные значения целевого признака проб, решение о значении которого принималось по значению аналогичной (4) характеристической оценки, найденной на основе полученной в результате предварительного обучения информативной системы признаков.

При выяснении взаимоотношений объектов с различным соотношением запасов нефти и газа описанным методом было реализовано 5 вариантов решения задачи для Волго-Уральской и 3 варианта для Западно-Сибирской нефтегазоносных провинций (табл. 1, рис. 1).

Результаты обучения и внутреннего экзамена

Регион	№ варианта	Постановка	Расстояние	К-во признаков
Волго-Уральская НГП	1	I кл. — Н II кл. — гН+нГ+Г	0,06	16
	2	I кл. — Н+гН II кл. — нГ+Г	0,02	13
	3	I кл. — Н+гН+нГ II кл. — Г	0,14	16
	4	I кл. — Н II кл. — Г	1,00	4
	5	I кл. — Н II кл. — гН+нГ III кл. — Г	-0,01 -0,02	9

Регион	№ варианта	Постановка	Расстояние	К-во признаков
Западно-Сибирская НГП	1	I кл. — Н II кл. — гН+нГ	0,07	16
	2	I кл. — Н+гН II кл. — нГ	— 0,13	10
	3	I кл. — Н II кл. — гН III кл. — нГ	0 -0,03	12

Как видно из приведенных результатов, максимальные расстояния между классами достигаются выделением в отдельные классы нефтяных и газовых месторождений. Количество признаков, входящих в информативные системы, колеблется от 4 до 16. Некоторые из них являются общими в различных постановках задачи.

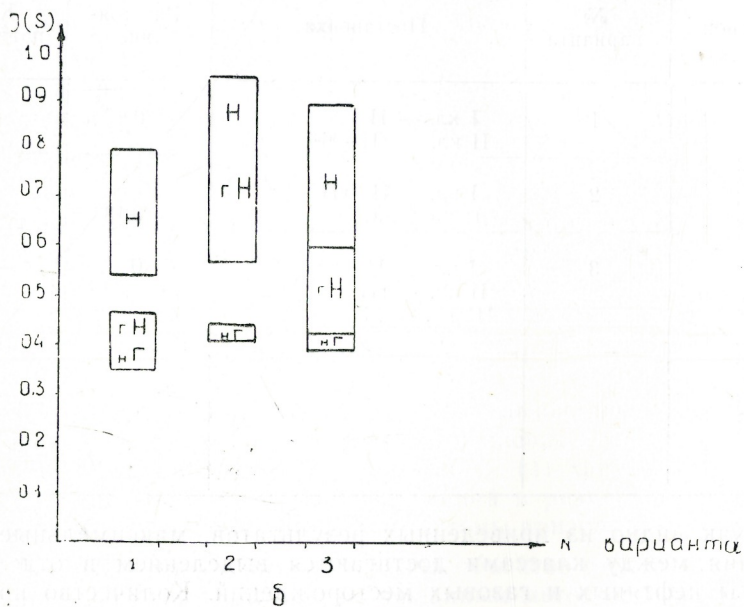
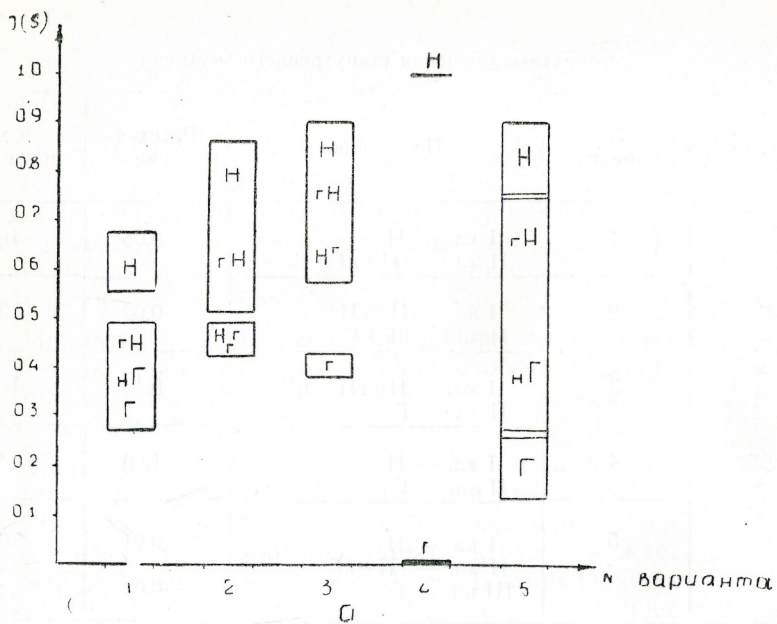


Рис. 1. Результаты внутреннего экзамена.
 а — Волго-Уральская НГП; б — Западно-Сибирская НГП.

Изложенный метод отдельного прогнозирования позволяет проводить более широкое развертывание решения задач подобного профиля. Внедрение аналогичных методов в практику поисково-разведочных работ позволит повысить их эффективность. Эти работы полезны не только в практическом, но и в теоретическом аспектах. Геологическая же интерпретация результатов решения сводится к следующему.

В Волго-Уральской области газовые месторождения хорошо отделились от всех остальных (постановка 3), тогда как нефтяные практически не обособились от газонефтяных и нефтегазовых. По изученному району Западной Сибири получилась сходная картина.

Из этих данных следует, что газовые месторождения отличаются от всех тех, в которых имеется нефть, хотя бы в небольших количествах. Видимо, эта особенность имеет генетическую природу. Для накопления даже малых количеств нефти необходим иной комплекс условий, чем для формирования газовых залежей. Причем количественная сторона нефтенакпления решающей роли не играет.

Разделение месторождений проведено по большому набору признаков, но лишь ограниченное число из них имеет существенный информационный вес. Так, о газоносности свидетельствуют преобладание резко невыдержанных коллекторов, перерывы в осадконакоплении продуктивной свиты, наличие проницаемых пород в непродуктивной части продуктивной свиты (т. е. среди материнских отложений), повышенная мощность покрывки над залежью, невысокая степень катагенеза органического вещества и некоторые другие.

Однако непосредственно использовать эти признаки в качестве диагностических было бы рискованно, поскольку разделение месторождений надежно осуществляется не по отдельным признакам, а только по комплексам признаков, взаимно влияющих друг на друга в процессе решения. Региональные особенности значительно отражаются на информативности признаков. Например, в Урало-Поволжье о газоносности свидетельствует малое превышение месторождения над ближайшей впадиной, а в Западной Сибири — большое. Возможно, это связано с какими-то, пока не выясненными различиями в условиях формирования газовых залежей той и другой провинций. Однако важно, что этот признак информативен в обеих провинциях, хотя и имеет разные знаки.

Имеющийся опыт показывает, что использованный математический аппарат вполне пригоден для выделения вероятных газо-

вых месторождений на ранней поисковой стадии. Эту задачу следует решать отдельно по регионам и на базе значительной по объему информации, в которую должны входить также и признаки, упоминавшиеся выше.

Л и т е р а т у р а

Геолого-геохимические критерии нефтегазоносности. Новосибирск, «Наука», 1976, с. 14—33. Авт.: А. А. Трофимук, В. С. Вышемирский, А. Н. Дмитриев, Ю. Н. Карогодин, В. И. Молчанов.

Дмитриев А. Н. Вопросы постановок геологических задач прогнозно-поискового профиля. — В кн.: Логико-математическая обработка геологической информации. Новосибирск, ин-т геол. и геофиз. СО АН СССР, 1976, с. 3—21.

Бишаев А. А. Целевая итерационная классификация. — В кн.: Логико-математическая обработка геологической информации. Новосибирск, ин-т геол. и геофиз. СО АН СССР, 1976, с. 71—92.