



Ф.З. Хафизов
д-р геол.-мин. наук
НАЦ РН ХМАО
главный научный консультант
Западно-Сибирский филиал ФБУ ГКЗ
директор
khafizov@crru.tmn.ru

Влияние геолого-физических параметров залежей нефти на эффективность геологоразведочных работ

Полученные автором данные позволяют количественно оценить влияние различных параметров залежей на результативность геологоразведочных работ и использовать их при прогнозе экономических показателей подготовки запасов нефти

The data obtained by the author allow us to quantify the influence of various parameters of the effectiveness of the exploration and use them at the forecast of economic indicators of the preparation of oil reserves

Ключевые слова: геологоразведочные работы, геолого-физические параметры, эффективность геологоразведки
Keywords: geological exploration, geological and physical parameters, efficiency of geological exploration

Основным показателем результативности работ по исследованию недр и созданию сырьевой базы добычи ПИ, в частности нефти и газа, является эффективность ГРП. В практике поисково-разведочных работ наиболее распространенной величиной оценки эффективности является прирост запасов нефти или газа в расчете на одну пробуренную скважину или на один метр глубокого поисково-разведочного бурения. В дореформенные годы для оценки эффективности работ довольно часто использовался такой показатель, как прирост запасов на рубль затрат, однако за последние 20 лет в связи с резкой нестабильностью рубля и невозможностью сопоставления эффективности работ, выполненных в разное время, этот показатель практически утратил свое значение и не применяется в практике ГРП.

Прирост на одну скважину и на один метр проходки являются объективными параметрами для оценки результативности ГРП и вза-

имно дополняют друг друга. Первый из них позволяет оценивать успешность применяемой методики разведки и соответствие ее реальным характеристикам залежей, второй – кроме того, опосредованно учитывает еще и экономические характеристики поисково-разведочного процесса, связанные с глубиной скважин.

Кроме адекватной методики разведки на эффективность ГРП существенно влияют геолого-физические параметры (ГФП) залежей и вмещающих пород. В частности, вполне логичным является представление о том, что эффективность работ тем выше, чем при прочих равных условиях больше эффективная нефтенасыщенная толщина коллекторов и их фильтрационно-емкостные параметры, т.к. от этого зависит концентрация запасов на единице площади залежи. Аналогично, эффективность тем выше, чем больше размеры залежи, т.к. при больших площадях нефтеносности разведочные скважины можно располагать на боль-

ших расстояниях друг от друга без существенного риска. В частности, при разведке сеноманских залежей газа на севере Тюменской области расстояния между разведочными скважинами 10–15 км были рядовым явлением.

Длительная история ГРП на нефть и газ в Западной Сибири позволяет в количественном выражении оценить влияние ГФП залежей на эффективность, изучить их динамику во времени и прогнозировать результативность ГРП, исходя из предполагаемых параметров перспективных объектов.

Для исследования динамики эффективности ГРП на нефть во времени и ее зависимости от ГФП залежей и вмещающих пород прослежена история их изучения за весь период ГРП в ХМАО, т.е. без малого за полвека. За этот период происходили различные изменения, без учета которых невозможно выполнить объективный и достоверный анализ истории изучения залежей и месторождений и динамики эффективности глубокого бурения во времени.

Довольно часто происходило разделение одного месторождения на несколько, или, наоборот, объединение нескольких месторождений в одно. Для анализа динамики прироста запасов и объемов глубокого поисково-разведочного бурения в этих случаях внесены определенные изменения. Если произошло объединение месторождений, то в объединенном варианте месторождение рассматривалось за весь период, в том числе и за то время, когда в государственном балансе месторождения учитывались раздельно. Аналогичный прием использован и в случае разделения одного месторождения на несколько самостоятельных: за период до разделения запасы делились в пропорции, сложившейся к конечной дате ГРП.

Такие же решения приняты и для прослеживания запасов отдельных продуктивных пластов, которые за весь период анализа могли делиться на несколько отдельных продуктивных пластов или, наоборот, несколько продуктивных пластов объединиться в один.

В истории разведки и разработки месторождений было достаточно много случаев неподтверждения запасов. Крупные списания запасов были не только по сложным объектам (по тюменской и баженовской свитам), но и по достаточно простым объектам (Холмогорское, Южно-Ягунское и др. месторождения). Естественно, использование динамики состояния запасов и объемов бурения по таким объектам может существенно исказить выводы. Поэтому динамика изменения состояния запасов по таким объектам пересчитывалась. Для этого все изменения запасов до даты списания

уменьшались во столько же раз, во сколько раз были уменьшены запасы при списании. Объем глубокого бурения при этом, естественно, не изменялся.

В практике поисково-разведочных работ наиболее распространенной величиной оценки эффективности является прирост запасов нефти или газа в расчете на одну пробуренную скважину или на один метр глубокого поисково-разведочного бурения

Расчеты эффективности разведки по единичным залежам дают существенную нестабильность этого параметра во времени, что не позволяет использовать полученные данные для выявления зависимости эффективности от ГФП залежей. Это вполне естественно и связано с природой ГРП, которые по определению являются рискованной деятельностью. Одна скважина может дать исключительно высокие положительные результаты и высокую эффективность, другая же, наоборот, может быть построена безрезультатно, и, более того, дать отрицательные данные, требующие уменьшения ранее полученных приростов запасов. В связи с этим, для получения стабильных результатов расчета эффективности представляется целесообразным группирование залежей по отдельным признакам залежей и содержащих их пород, с величинами которых предполагается установить связь эффективности ГРП. К сожалению, даже после группирования большого количества залежей и совместного расчета искомого параметра волатильность эффективности сохраняется. Поэтому наиболее целесообразным представляется использование эффективности, рассчитанной по накопленным параметрам, т.е. делением состояния начальных запасов нефти категорий АВС₁ по группе на определенную дату на суммарное количество скважин, вскрывших соответствующие залежи группы на ту же дату.

В связи с тем, что залежи и месторождения имеют разные даты выявления, простое их группирование по выбранному параметру приводит к тому, что в одной группе будет

объединены залежи разного состояния по степени изученности (только открытые и залежи, завершённые разведкой), что, в конечном счете, приведет к искажению всей закономерности изменения эффективности. В этих случаях требуется привести их к единой дате: независимо от того, когда залежь открыта – в 1960 г. или в 2000 г., считать дату появления сведений о залежи на Государственном балансе запасов первой, следующую – второй и т.д. Следует учитывать и то, что количество залежей, вскрываемых одной скважиной, по разным месторождениям различается настолько, что исключает прямое использование полученных результатов для прогноза эффективности по новым объектам. В связи с этим представляется целесообразным рассчитывать эффективность в величинах, приведенных к условиям, когда каждая скважина вскрывает только одну залежь. Естественно, при этом величина эффективности будет существенно ниже реальной эффективности по региону (во столько раз, сколько залежей в среднем вскрывает каждая скважина), а суммарное количество скважин, участвующих в анализе, будет во столько же раз больше. Зная прогнозную эффективность в расчете на одну залежь, при известном количестве предполагаемых залежей общую эффективность работ рассчитать будет не трудно.

Для получения стабильных результатов расчета эффективности представляется целесообразным группирование залежей по отдельным признакам залежей и содержащих их пород, с величинами которых предполагается установить связь эффективности ГРП

Для обработки данных о запасах и объеме глубокого бурения составлена специальная программа анализа запасов нефти «Запасы и приросты». Обработка данных может осуществляться в трех режимах: «По отдельным объектам» (залежам) месторождений, «По группам объектов» – анализ запасов выполняется по набору объектов, сгруппированных по величине тех или иных параметров (по глубине залежей, по величине запасов, по подсчетным параметрам и т.д.), «Из списка объек-

тов» – анализ выполняется по объектам, выбранным исследователем в произвольном порядке в зависимости от поставленных задач.

На экран выводятся таблицы геологических и извлекаемых запасов и приростов, количества скважин, вскрывших соответствующие залежи и их метраж по годам, начиная с момента открытия. При необходимости эти сведения могут быть скопированы в буфер обмена или непосредственно экспортированы в программу *Excel*, при помощи которой могут быть выполнены любые расчеты, а также могут быть направлены на печать.

В режиме «По группам объектов» для группирования могут быть приняты фиксированные границы параметров, к примеру, в одну группу могут быть включены все залежи, открытые в 1961–1965 гг., 1966–1970 гг. и т.д., или на глубинах 1500–2000 м, 2000–2500 м. Можно выбрать и произвольные границы, например, залежи на глубинах 500–3500 м, т.е. по сути, все залежи Ханты-Мансийского округа. В режиме «Из списка объектов» группы залежей для анализа создаются исследователем самостоятельно в зависимости от возникающих задач. В частности, таким путем выделены залежи, приуроченные к ловушкам структурного и неструктурного типов, и по ним выполнены те же исследования, что и в режиме «По группам объектов».

Следует особо подчеркнуть, что в результате описанных выше операций с данными о запасах (приведение к единому году начала работ, пересчета запасов отдельных залежей из-за списания и т.д.), об объемах поисково-разведочного бурения, полученные суммарные величины запасов не соответствуют цифрам, отраженным в Государственном балансе запасов нефти, а объемы работ – фактически выполненным объемам работ. По этим данным невозможно установить фактическую величину запасов определенной группы объектов на конкретную дату. Такая задача и не ставилась. Они позволяют лишь определить некоторые тенденции и закономерности изменения запасов залежей во времени в зависимости от их природных свойств: толщины коллекторов, их пористости и проницаемости, глубины залегания, возраста вмещающих пород и т.д. и эффективности ГРП.

Аналогично можно проанализировать и величины изменения запасов по годам. В форме статотчетности «бгр» изменение запасов по годам учитываются по нескольким статьям – за счет разведки, пересчета, добычи, передачи с баланса на баланс. Очень часто, особенно в дореформенный период, с целью выполнения планов прироста запасов практиковались раз-

ного рода манипуляции цифрами, из-за чего отчетный прирост не всегда совпадал с истинным. В частности, большие возможности для этого возникали при применении статьи «за счет пересчета». Применение такой статьи изменения запасов было не всегда однозначным. Ее могли использовать для отрицательных изменений, не используя для положительных. Положительные изменения запасов из статьи «за счет пересчета» могли переводить в статью «за счет разведки», которая входила в выполнение плана прироста. В связи с этим, не всегда в форме «бгр» можно однозначно отделить истинные приросты от кажущихся.

В настоящей работе изменения запасов залежей и группы запасов определены без разделения на отдельные статьи только путем вычитания из начальных извлекаемых запасов промышленных категорий за отчетный год таких же запасов за предыдущий год. Такой метод позволяет получить сведения о реальном изменении запасов во времени, в соответствии с принятой в работе методикой анализа.

В отношении объемов работ количество скважин, участвующих в расчетах, превышает истинное, т.к. одна и та же скважина считается несколько раз в соответствии с количеством продуктивных пластов, которые она вскрывает.

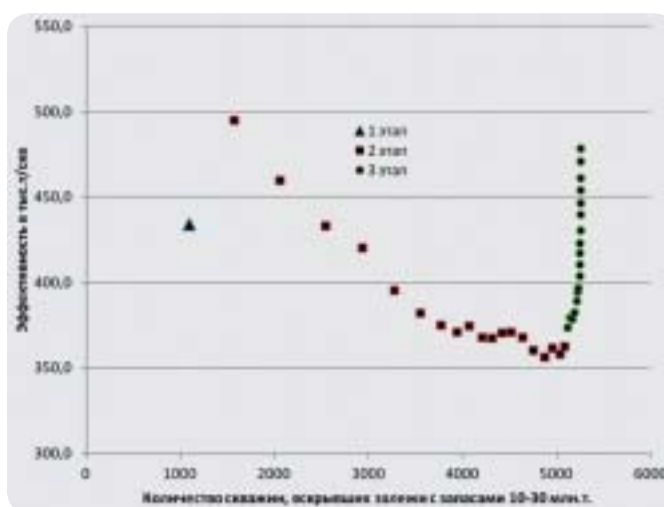


Рис. 1. Динамика эффективности ГРП по залежам класса крупности 10–30 млн т в зависимости от степени их изученности

Следует отметить еще одну особенность выполненных расчетов. В них использованы только поисково-разведочные скважины, а в реальных условиях изучение залежей и приросты запасов продолжают и после завершения разведки за счет эксплуатационных скважин, которые вскрывают залежи соответствующего

Результаты расчеты эффективности поисково-разведочного бурения по всем залежам нефти ХМАО

Таблица 1

Параметр	Интервалы изменения	Эффективность, тыс. т/скв.	Параметр	Интервалы изменения	Эффективность, тыс. т/скв.
Размер по запасам, млн т	менее 0,3	20	Пористость, д. ед.	менее 0,15	340
	0,3–1	35		0,15–0,2	400
	1–3	65		0,2–0,25	750
	3–10	140		0,25–0,3	640
	10–30	355		более 0,3	1500
	30–100	750			
	100–300	1660			
	300–1000	2020			
Тощина, м	менее 2	20	Проницаемость, мкм ²	менее 0,01	340
	2–5	200		0,01–0,05	330
	5–10	910		0,05–0,1	280
	10–15	1580		0,1–0,5	860
	более 15	1500		более 0,5	940
Глубина, м	менее 1500	520	Плотность, г/см ³	менее 0,8	310
	1500–2000	590		0,8–0,85	580
	2000–2500	565		0,85–0,9	555
	2500–3000	440		более 0,9	420
	более 3000	260			

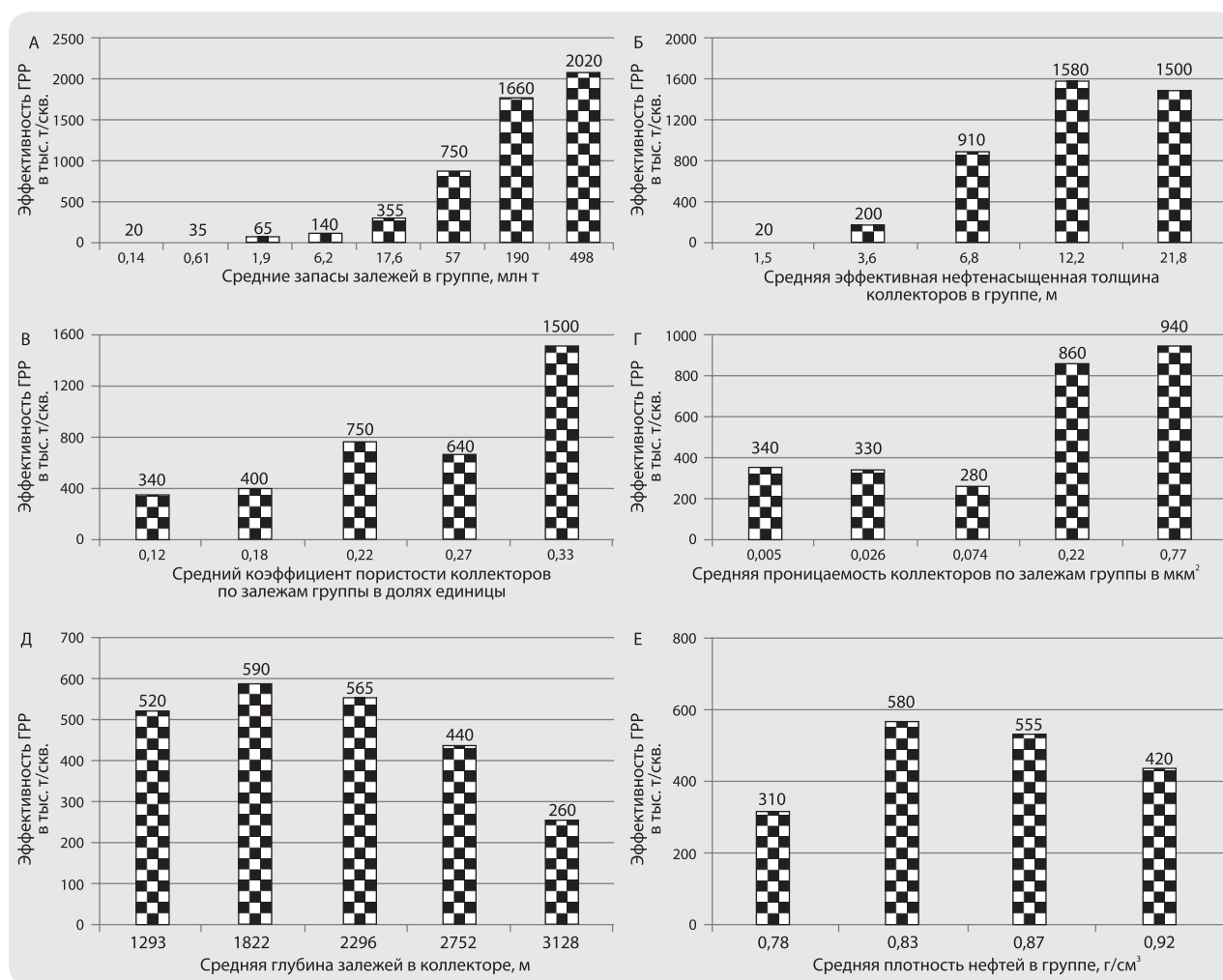


Рис. 2.

Зависимость эффективности ГРП на нефть от ГФП залежей: А – размеров залежей, Б – эффективной нефтенасыщенной толщины коллекторов, В – пористости коллекторов, Г – проницаемости коллекторов, Д – глубины залежей, Е – плотности нефтей

класса. Т.е. новых поисково-разведочных скважин нет, а прирост есть. Такие же приросты без затрат метража могут иметь место и за счет пересчета, пересмотра КИН и других параметров.

Отмеченное хорошо иллюстрирует **рис. 1**, на котором отражена динамика эффективности для группы залежей размерами 10–30 млн т. По оси абсцисс отложено количество скважин, вскрывших залежи этого класса на территории Ханты-Мансийского автономного округа–Югры. Этот показатель принят в качестве меры состояния изученности залежей. По оси ординат показана расчетная эффективность поисково-разведочных работ на нефть по выбранной группе залежей для условий, когда каждая скважина вскрывает единственную залежь. На графике выделяется три участка (этапа).

1. Поисковые работы, когда оценка эффективности достаточно случайна, она может быть как завышена, так и существенно занижена.

2. Разведочное бурение. На этом этапе имеет место неуклонный рост количества разведочных скважин, а прирост по мере повышения степени изученности в целом уменьшается, снижается и эффективность работ.

3. Разведочное бурение практически прекращено, изучение залежей продолжается за счет эксплуатационного бурения. Приросты могут быть получены за счет как пересмотра параметров и запасов, так и расширения контуров залежей по результатам эксплуатационных скважин, бурящихся на более глубокие горизонты. Для этого класса залежей при суммарном количестве начальных извлекаемых запасов 2,7 млрд т около 0,5 млрд т были приращены после прекращения разведочного бурения.

По предложенной программе выполнены расчеты эффективности поисково-разведочного бурения по всем залежам нефти Ханты-Мансийского автономного округа, объеди-

Рис. 3.

Зависимость эффективности ГРП на нефть от глубины залежей

ненных в группы по величине различных ГФП залежей: по значениям фильтрационно-емкостных параметров (пористости, проницаемости), глубине залежей, средней эффективной нефтенасыщенной толщине, плотности нефти, по величине запасов.

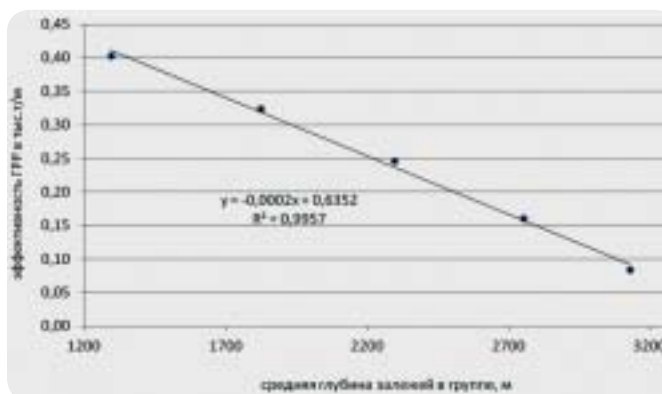
По *табл. 1* и *рис. 2* видно, что наибольшее влияние на эффективность поисково-разведочных работ на нефть оказывают два взаимосвязанных параметра: размер залежей по величине запасов и средняя эффективная нефтенасыщенная толщина коллекторов (*рис. 2 А, Б*). Вывод очевиден, не очевидны только масштабы этого влияния. В частности, по залежам разных размеров величина параметра различается более, чем в сто раз. Причина такой разницы в результативности поисково-разведочных работ в том, что при разведке мелких залежей подавляющая часть разведочных скважин оказываются за контуром нефтеносности, а по крупным залежам доля «пустых» скважин ничтожно мала. Кроме того, крупные залежи с большой площадью нефтеносности можно разведывать с более редкой сеткой скважин, что также приводит к повышению эффективности работ.

Размер залежей по запасам в значительной степени, но не полностью, зависит от другого параметра залежей – эффективной нефтенасыщенной толщины коллекторов, которая определяет величину концентрации запасов на единице площади залежи.

Разброс величины эффективности ГРП для залежей с различной толщиной коллекторов также весьма значителен (*рис. 2 Б*), хотя и заметно ниже, чем по залежам разных размеров.

Коэффициент пористости также является параметром, в значительной степени определяющим количество запасов нефти на единице площади залежи и, естественно, влияет на эффективность работ (*рис. 2 В*).

Влияние проницаемости на эффективность работ не очевидно, тем не менее, сопоставление результатов поисково-разведочных работ по залежам, приуроченным к коллекторам с различной фильтрационной характеристикой, показало, что связь между проницаемостью пород и эффективностью существует (*рис. 2 Г*): по высокопроницаемым коллекторам эффективность работ примерно втрое выше. Но следует отметить, что зависимость эта, скорее всего, не прямая, а опосредованная,



связанная с тем, что высокопроницаемые коллекторы одновременно являются и высокопористыми, а пористость непосредственным образом связана с эффективностью работ.

Опосредованной, по мнению автора, является и зависимость эффективности работ, рассчитанной на одну пробуренную скважину (тыс. т/скв.), от глубины залежей: с глубиной такие подсчетные параметры залежей как пористость, плотность нефти и пересчетный коэффициент становятся меньше, следовательно, при прочих равных условиях концентрация запасов и эффективность работ будут ниже. По залежам, выявленным на глубинах менее 2000 м эффективность примерно вдвое выше, чем по залежам на глубинах более 3000 м (*рис. 2 Д*).

При расчете эффективности работ на метр проходки, вполне естественно, эффективность с глубиной существенно снижается (*рис. 3*). Залежи с глубиной менее 1500 м разведываются с эффективностью более чем в 4 раза выше, чем залежи на глубинах выше 3000 м. Причем зависимость эффективности от глубины почти функциональная ($R^2 = 0,996$).

Плотность является интегральным параметром, характеризующим свойства нефти в залежах, и она тесно связана практически со всеми основными параметрами нефтей. Поэтому именно этот параметр исследован с целью выяснения его влияния на эффективность ГРП на нефть. Как показали расчеты, значимой связи между плотностью нефти и эффективностью ГРП не обнаруживается (*рис. 2 Е*). Некоторое снижение эффективности работ по залежам с легкой нефтью отражает зависимость плотности нефтей от глубины залежей.

Полученные данные позволяют количественно оценить влияние различных параметров залежей на результативность ГРП и использовать их при прогнозе экономических показателей подготовки запасов нефти. ■