

DOI: https://doi.org/10.17353/2070-5379/50_2016

УДК 553.98.042.003.1

Григорьев Г.А.Акционерное общество «Всероссийский нефтяной научно-исследовательский геологоразведочный институт» (АО «ВНИГРИ»), Санкт-Петербург, Россия, ins@vnigri.ru

ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ВЕРОЯТНОСТНЫХ МЕТОДОВ ПРИ НЕФТЕГЕОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ

Применительно к специфике нефтегеологических задач, вытекающей из необходимости учета в ходе их решения сложных и многофакторных природных процессов, информация о которых чаще всего весьма ограничена и характеризуется высоким уровнем неопределенности, рассмотрен потенциал привлечения вероятностных методов. Проанализированы особенности математического аппарата, реализующего данный подход, и исследованы методологические проблемы и технологические ограничения, вытекающие из его особенностей. Исследованы условия и критерии, обеспечивающие корректность применения данного инструментария и надежность получаемых результатов и оценок, которые непосредственно предопределяют эффективность формируемых на их основе управленческих решений в нефтегазовой сфере.

Ключевые слова: *нефтегазовая геология, подсчет запасов, геолого-экономическая оценка, вероятно-статистические методы, функция плотности вероятности.*

Спектр задач в общем комплексе нефтегеологических исследований весьма широк и охватывает задачи от количественной оценки ресурсного потенциала крупных осадочных бассейнов и перспектив наращивания в их пределах ресурсной базы углеводородного сырья до обоснования необходимости развития транспортно-производственной инфраструктуры отдельных районов, выбора первоочередных объектов для постановки глубокого бурения, оптимизации инвестиционных проектов по разработке конкретных залежей нефти и газа.

Одна из характерных особенностей рассматриваемой группы задач заключается в заведомой ограниченности знаний по большинству наиболее существенных параметров, закладываемых в основу получаемых решений – касается ли это чисто геолого-промысловой составляющей исследуемых процессов или макроэкономических условий реализации инвестиционных проектов, когда большая часть используемых параметров не может быть охарактеризована с требуемой заранее заданной точностью, а их оценки сопровождаются тем или иным уровнем неопределенности. Применительно к геолого-промысловым показателям степень подобной неопределенности в общем случае обратно пропорциональна степени изученности соответствующих объектов.

Любая неопределенность предопределяет наличие соответствующих рисков. При этом специфика рисков, сопряженных с нефтегазовыми проектами, дополнительно обусловлена как особенностями промыслово-технологических процессов, связанных с освоением

углеводородного сырья, и динамикой их развития, так и с динамичностью макроэкономических факторов, напрямую определяющих финансово-экономическую компоненту нефтегазовых проектов и их инвестиционную привлекательность. Выделяемые основные группы рисков – геологические, производственно-технологические, финансово-экономические – связаны с неопределенностью имеющихся характеристик фильтрационно-емкостных свойств перспективных ловушек и оценок возможной продуктивности скважин, недостаточной достоверностью определения величины запасов, с неоптимальностью сетки эксплуатационных скважин, темпов и динамики отбора запасов, с гарантиями полноты извлечения запасов, наконец, с корректностью задействованных показателей нормативно-стоимостной базы и стабильностью тарифов по капитальным и эксплуатационным затратам, общим уровнем и устойчивостью цен на углеводородное сырье на период реализации проекта.

Таким образом, реально в сфере потенциального внимания при решении множества нефтегеологических и геолого-экономических задач как заведомо поддающиеся вполне объективному и корректному анализу остаются риски, которые связаны с неопределенностями в прогнозировании геологических параметров объектов недропользования и в оценке параметров будущих добывающих предприятий, с неопределенностями некоторых элементов макроэкономической среды. Наличие столь многогранной по своей природе рискованной компоненты в реализации нефтегазовых проектов, способной существенно влиять на их показатели и тем самым в широком диапазоне менять потенциальные решения в рамках конкретных задач, предопределило особое внимание к самой процедуре реализации подобных решений, обусловило необходимость предварительного всестороннего и глубокого анализа ожидаемых результатов. В этом заинтересованы и государство, и нефтегазовые компании. Подобная оценка должна быть неотъемлемым элементом при выработке тактики и стратегии политики в области недропользования и нефтегазодобычи.

До недавнего времени подходы к геолого-экономической оценке базировались исключительно на использовании детерминированных методов, предполагающих неслучайный характер геологических, технологических и макроэкономических характеристик. Возможные отклонения принятых значений задействованных параметров сопровождаются анализом устойчивости интегральных показателей проекта (как экономических, так и технологических) к изменению наиболее значимых параметров или групп параметров. Диапазон изменения варьируемых параметров при этом задается исходя из предметных соображений. Технически он ничем не ограничен. Именно детерминированный подход предполагался подавляющим большинством действовавших до недавнего времени методических инструкций по геолого-экономической оценке нефтегазовых объектов. В том

числе это обусловлено его относительной простотой с точки зрения технологии реализации соответствующих вычислений.

Вместе с тем, в силу отмеченного выше вероятностного характера распределения значений практически всех без исключения параметров, используемых при реализации потенциального круга нефтегеологических задач, в основе подходов к их решению должны лежать вероятностно-статистические методы и имитационное статистическое моделирование задействованных исходных данных. Необходимо задать не конкретные значения исходных величин, а лишь возможные интервалы их изменения и тип статистического распределения параметра внутри этих интервалов (функция плотности вероятности). Получаемые «на выходе» оценки целевых функций инвестиционного проекта (исследуемой задачи) также имеют вероятностный характер. Статистические характеристики их распределения (средне-ожидаемое значение, размах вариации, дисперсия или коэффициент вариации, стандартное отклонение) отражают наиболее вероятное значение оценок эффективности инвестиционного проекта и степень их неопределенности, а значит, и степень риска, в том числе инвестиционного, ассоциируемого с каждым проектом, с каждым решением.

Ниже рассмотрен потенциал включения вероятностных методов в состав инструментария подобных исследований на примере решения задач, связанных с геолого-экономической оценкой нефтегазовых проектов как задач наиболее высокого (с предметно-содержательных позиций) иерархического уровня, максимально интегрирующих результаты всех предшествующих этапов и стадий нефтегеологических исследований.

Некоторые результаты разработки этого подхода и внедрения в отечественные исследования по нефтегеологической проблематике достаточно широко освещены [Ампилов, 2002; 2003; Ампилов, Герт, 2006; Белонин, Подольский, 2006; Герт и др., 2006; 2009; Лаппо, Ампилов, 2011]. Однако не все особенности инструментария должным образом проанализированы, в следствие чего он до сих пор не является универсальным инструментом широкого применения, а полученные на основе его реализации решения зачастую не бесспорны, далеко не всегда корректны и объективны, а значит не обеспечивают необходимых гарантий при их реализации.

Наиболее общее (с содержательных позиций) определение риска – вероятность осуществления некоторого негативного (относительно целевого функционала) события. Например, вероятность того, что запасы не достигнут приемлемого уровня, инвестиции в проект не окупятся с требуемой нормой доходности.

Формальный алгоритм вероятностного подхода к геолого-экономической оценке весьма прост. Для каждого геолого-промыслового или финансово-экономического показателя (значение рассматривается не в детерминированном, а в вероятностном варианте),

используемого при проведении оценки, строится функция плотности вероятности распределения его значений. Распределение задается аналитически (например, как результат определенных предварительных исследований и моделирования соответствующего распределения) либо в виде гистограммы, где для каждого интервала в пределах шкалы определена вероятность попадания значений параметра в этот интервал. Гистограмма может быть построена либо на основе статистических исследований посредством построения эмпирической функции распределения (например, по результатам замера пористости по керну в пределах толщи коллектора), либо экспертным путем (например, экспертная оценка возможного уровня цен на углеводороды). Согласно требованиям статистического анализа, последний вариант предполагает наличие не менее 5–10 специалистов, способных вынести квалифицированное мнение по исследуемому предмету для формирования статистически обоснованного суждения о возможном распределении значений соответствующего параметра.

В общем случае вероятностная форма представления распределения значений параметра (независимо от способа его формирования или задания) предполагает определение нескольких характеристик.

Во-первых, это диапазон возможных значений исследуемой переменной, который задает границы шкалы изменения параметра. Он соответствует физико-геологической природе параметра и одновременно учитывает конкретную специфику рассматриваемого нефтегеологического объекта (например, мощность пласта всегда положительна, пористость редко превышает уровень 40–50% и может варьировать в широком диапазоне значений в зависимости от литологического и петрофизического состава вмещающих отложений, успешность поискового бурения не превышает 1.0).

Во-вторых, должен быть определен вид функции распределения плотности вероятности: равномерное (равновероятные значения в пределах всей допустимой шкалы значений), линейное (линейное возрастание или убывание вероятности по мере смещения вдоль шкалы допустимых значений) с определением в общем случае вероятности крайних значений параметра, экспоненциальное, треугольное, нормальное, логарифмически нормальное (рис. 1). При этом для трех последних видов распределения (треугольное, нормальное и логнормальное) дополнительно определяется (вернее, обосновывается) положение на принятой шкале его медианных (то есть наиболее вероятных, или «средних») значений и уровня вероятности этих значений. Для двух последних распределений (нормальное и логнормальное) требуется еще и ряд дополнительных характеристик, определяющих динамику «сваливания» значений параметра при отступлении от медианных значений влево и вправо по шкале. В случае задания функции плотности вероятности гистограммой явного определения этих дополнительных характеристик не требуется (особенно при ее

формировании на основе статистических распределений). Однако вполне очевидно, что принятие конкретного типа распределения, его вида должны согласовываться с физической природой исследуемого параметра и не противоречить ей.

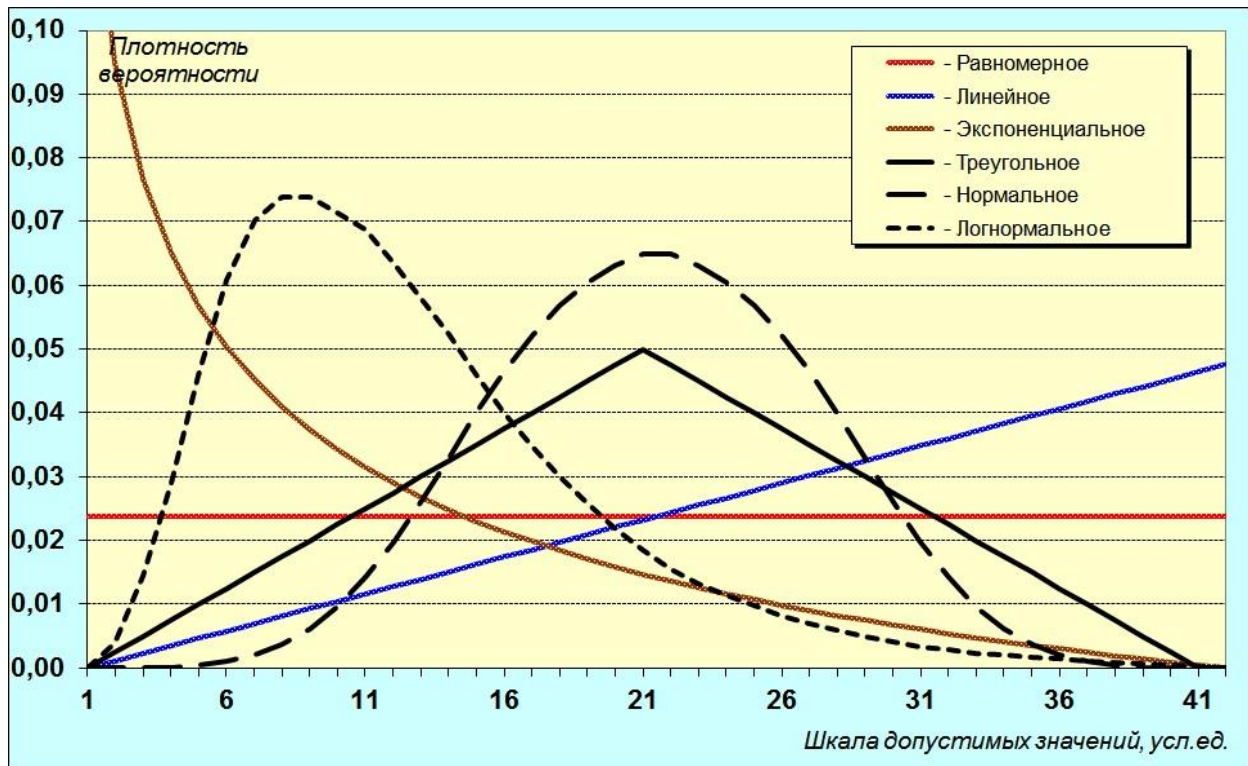


Рис. 1. Варианты возможного распределения значений параметров и соответствующие им типы функций плотности вероятности

Функция, соответствующая накопленной (интегральной) вероятности - $P_i = \int f_i(p)$, или кумулятивная кривая вероятности, будет характеризовать достоверность оценки или вероятность того, что реальные значения исследуемой характеристики окажутся больше, чем ее значения в текущей точке шкалы допустимых значений или интервале (например, вероятность превышения величиной запасов уровня 10 млн. т). Функция, обратная интегральной - $R_i = 1 - P_i$, непосредственно определяет рисковую составляющую проекта или вероятность реализации негативных исходов (например, риск не превышения ценой уровня 60 долл./барр.) [Андреев, Зубарева, Саркисов, 2003; Справочник по математике..., 1981; Шеннон, 1978].

Соответствующие графики, представленные в процентах (рис. 2), позволяют определить любые вероятностные оценки исследуемой характеристики, задавшись «порогом» интегральной вероятности или риска. В международной практике в качестве таких порогов приняты значения уровня вероятности 90, 50 и 10%. При этом 90% - минимальная оценка параметра (или целевого функционала), отвечающая наибольшему уровню вероятности и

наименьшему риску, 50% - лучшая, или базовая оценка, характеризующая равновероятный исход события вероятностной природы, 10% - максимальная оценка исследуемой характеристики, отвечающая наименьшему уровню вероятности (достоверности) и, соответственно, наибольшему риску.

Поскольку фундаментальным свойством функции плотности вероятности является равенство единице интеграла данной функции, ее значения должны быть нормированы. А это предполагает, что чем шире диапазон изменения шкалы возможных значений какого-то параметра, тем ниже уровень вероятности каждого из значений, принимаемых параметром в пределах области его определения.

Вероятность реализации того или иного значения целевого функционала, в основе формирования которого лежит использование вероятностных переменных, определяется как произведение вероятности реализации соответствующих значений задействованных параметров [Справочник по математике..., 1981]. С расширением шкалы допустимых значений каждого из них расширяется диапазон возможных оценок целевого функционала и изменяется вероятность достижения каждой из них. С увеличением неопределенности в оценках каждого параметра, заданного в вероятностной форме, и с возрастанием количества задействованных параметров результирующая гистограмма (функция плотности вероятности) приобретает менее остро направленный и более «размытый» характер. Чем меньшим разбросом характеризуются параметры, тем более определенной является оценка целевого функционала. Иллюстрацией предельного перехода в последнем случае будет определение всех задействованных параметров как неслучайных и их задание единственным значением, что практически предопределяет реализацию детерминированного варианта искомого решения.

Очевидно, что по мере изучения объекта и уменьшения неопределенности снижается разброс вероятных значений оценок исследуемого параметра, соответствующим образом меняется и вид функции плотности вероятности, характеризующей его (рис. 2А).

Считается, что решение проблемы повышения объективности геолого-экономического анализа заключается в применении вероятностных методов, а также утверждается, что при этом даже не надо заботиться о конкретных значениях исходных величин, а следует задаваться лишь возможными интервалами их изменения и типом статистического распределения внутри этих интервалов [Ампиров, 2003].

Однако это далеко не так. Например, при включении в оценку целевого функционала четырех параметров, характеризующихся как вероятностные и вероятность значений которых задана одинаковым нормальным распределением, а вероятность принятия каждым из параметров среднего (медианного) значения V_{mi} равна, соответственно, $p_{mi} = 0,08$ (см. рис. 2А),

вероятность принятия каждым из них значения V_{di} характеризуется вдвое меньшим уровнем ($p_{di} = 0,04$). Естественно, положение соответствующих величин на оси допустимых значений в существенной мере зависит от параметров принятого распределения по каждой из переменных (и в том числе - от степени изученности объекта). Вероятности принятия целевой функцией значений, отвечающие средним оценкам всех четырех параметров (V_{mi}) и оценкам, соответствующим значениям V_{di} каждого из параметров, различаются в 16 раз ($0,08^4:0,04^4 = 16$). Различие оценок вероятности целевого функционала для диапазона значений задействованных характеристик, принадлежащих областям с существенно меньшей вероятностью, будет еще более значительным.

Соответственно, конкретный вид и параметры вероятностного распределения целевого функционала по существу будут предопределяться типом и параметрами вероятностных распределений каждой из задействованных характеристик инвестиционного проекта (их функциями плотности вероятности) и в существенной мере – местоположением на соответствующих шкалах медианных (средних) значений. Любое расширение шкалы допустимых значений каждой из характеристик инвестиционного проекта при их вероятностном задании и сопряженное с этим «размазывание» функций плотности вероятности влечет неизбежный разброс возможных оценок эффективности проекта и синхронное «размазывание» их вероятностных характеристик. При сужении области наиболее вероятных оценок задействованных параметров становится более компактной и вероятностная характеристика целевой функции. При этом достоверность и надежность экономических оценок проекта (их формальные оценки) всецело определяется достоверностью и надежностью определения задействованных входных параметров, а медианные оценки целевого функционала в существенной мере предопределяются таковыми по включенным в вычислительный алгоритм параметрам (положением средних значений геолого-промысловых и макроэкономических характеристик).

Таким образом, зачастую бытующий постулат о неограниченных возможностях вероятностных методов в части преодоления проблем неопределенности и учета рисков даже при рассмотрении их теоретических основ, по меньшей мере, не очевиден. Дополнительные и уже конкретные проблемы возникают на этапе практической реализации соответствующих методик.

Техническая сторона любой вычислительной процедуры, реализующей учет вероятностной природы задействованных факторов (подсчет запасов или ресурсов, геолого-экономическая оценка инвестиционных проектов и т.д.), сводится к осуществлению трех последовательных шагов.

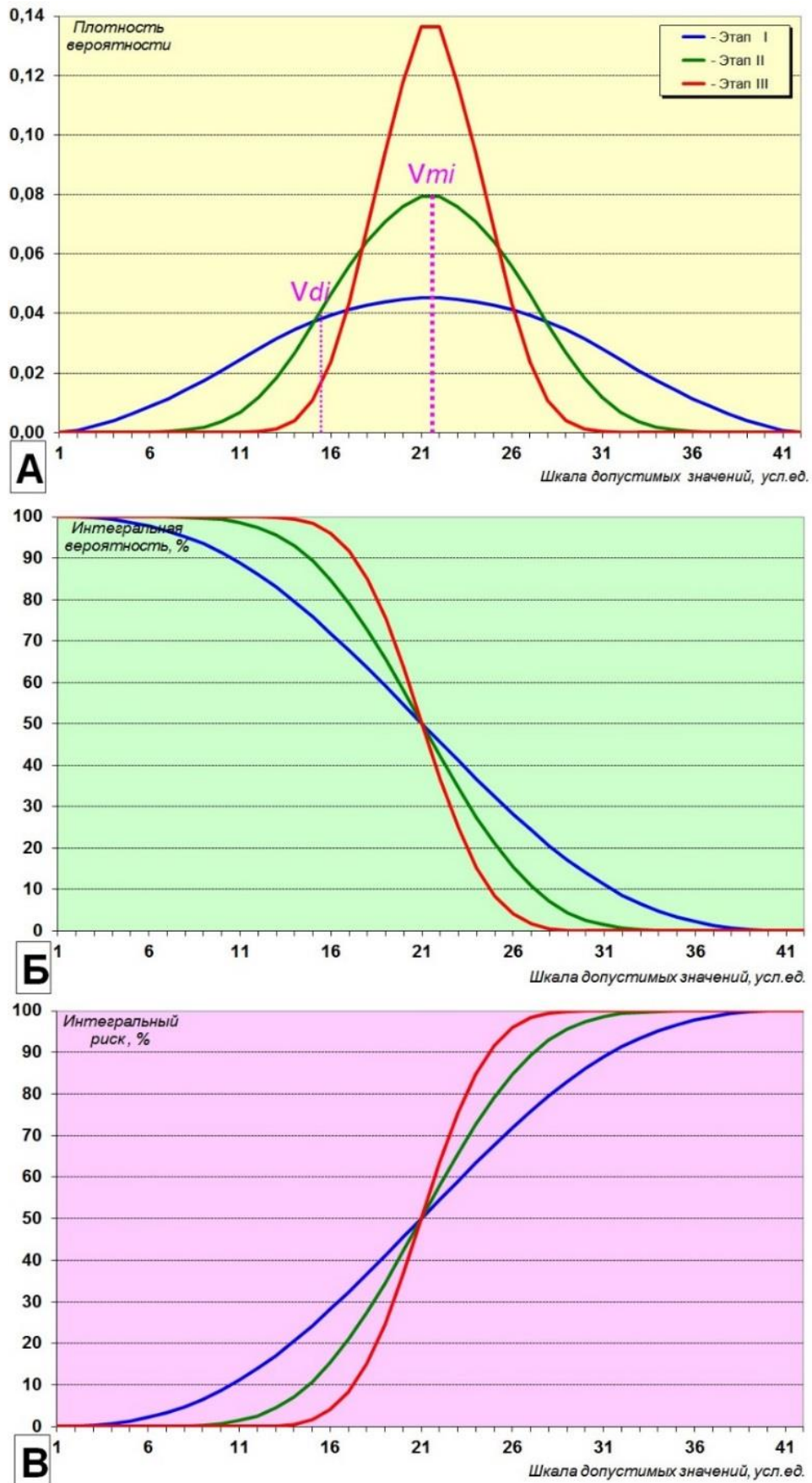


Рис. 2. Зависимость вероятностных характеристик распределения от степени неопределенности исследуемого параметра

A – функция плотности вероятности; *Б* – функция интегральной вероятности; *В* – функция интегрального риска.

1. Определение (задание) функции плотности вероятности для каждого из параметров, рассматриваемых как имеющие вероятностную природу. Это может быть осуществлено либо априорным заданием соответствующей функции, либо эмпирически (например, как результат статистического анализа оценок соответствующей характеристики в пределах объектов-аналогов), либо с использованием экспертных оценок.

2. Реализация алгоритма вычислительной процедуры, учитывающая вероятностную природу ряда задействованных характеристик. Проводится статистически обусловленное количество «реализаций» вычислительного алгоритма, в каждой из которых для каждого из недетерминированных параметров на основе соответствующей заданной функции плотности вероятности и с использованием методов независимых статистических испытаний фиксируется его конкретное значение, которое и включается в текущую реализацию вычислительной процедуры. В основу математического аппарата, реализующего «получение» вероятной оценки задействованных параметров, заложено использование так называемых датчиков случайных чисел. В литературе, посвященной статистическому анализу, группа этих методов объединяется общим названием метода Монте-Карло. По результатам заданного количества реализаций для каждой из анализируемых целевых функций, отражающих искомые характеристики исследуемого процесса (при геолого-экономической оценке это экономические показатели проекта - оценки внутренней нормы рентабельности (ВНР), чистого дисконтированного дохода (ЧДД) и др., при подсчете запасов – оценка Q_g , Q_i), формируется выборка получаемых значений, отражающая вероятностную природу параметров, задействованных в исследуемом нефтегеологическом или геолого-экономическом процессе.

3. Исходя из полученной выборки, для каждого целевого показателя (ВНР, ЧДД, Q_i , ...) строится гистограмма, отождествляемая с функцией плотности вероятности данного целевого функционала. Для этого весь диапазон полученных значений разбивается на интервалы, в пределах каждого из которых определяется количество оценок, попадающих в него, и формируется частотная функция распределения целевого функционала. Нормированная функция (частотная функция, деленная на число статистических испытаний) отождествляется с функцией плотности вероятности и служит базовой основой для последующих выводов и формирования расширенных характеристик полученных интегральных оценок исследуемого процесса – в том числе и для построения функций интегральной вероятности (достоверности оценок) и интегрального риска.

Таким образом, каких-либо технических или методических проблем для осуществления вероятностного подхода к решению нефтегеологических задач не существует. Целевые функции, отражающие их вероятностную оценку, аналогично детерминированному варианту

оценки формируются как результат моделирования соответствующих процессов с включением всех необходимых элементов. Разница лишь в том, что данный вариант соответствующей вычислительной процедуры реализуется с учетом вероятностной природы некоторых из них.

Существует еще один аспект характеристики вероятностного распределения. В основе получения конкретных значений исследуемого параметра по ходу реализации тех или иных вычислительных процедур (будь то оценка величины запасов, ресурсов или оценка экономической эффективности проекта и т.п.) лежит использование генератора случайных чисел. С чисто математических содержательных позиций специфика данной технологии заключается в невозпроизводимости «эксперимента» - в несовпадении от одной к другой серии «статистических испытаний» получаемых выборок значений исследуемого параметра. Как следствие – при повторе «эксперимента» с неизбежностью будут различаться и интегральные показатели вероятностной оценки, то есть получаемые значения целевой функции (или комплекса функций). Эти различия тем сильнее, чем меньше по размеру (объему реализаций) серия статистических испытаний. С целью большей «стабильности» интегрального результата, повышения сходимости получаемой выборки и исходного (заданного) распределения каждой из переменных, рассматриваемых как вероятностные, необходимо наращивать число подобных статистических реализаций в каждом «эксперименте», то есть увеличивать размер случайной выборки при реализации вычислительного алгоритма (рис. 3).

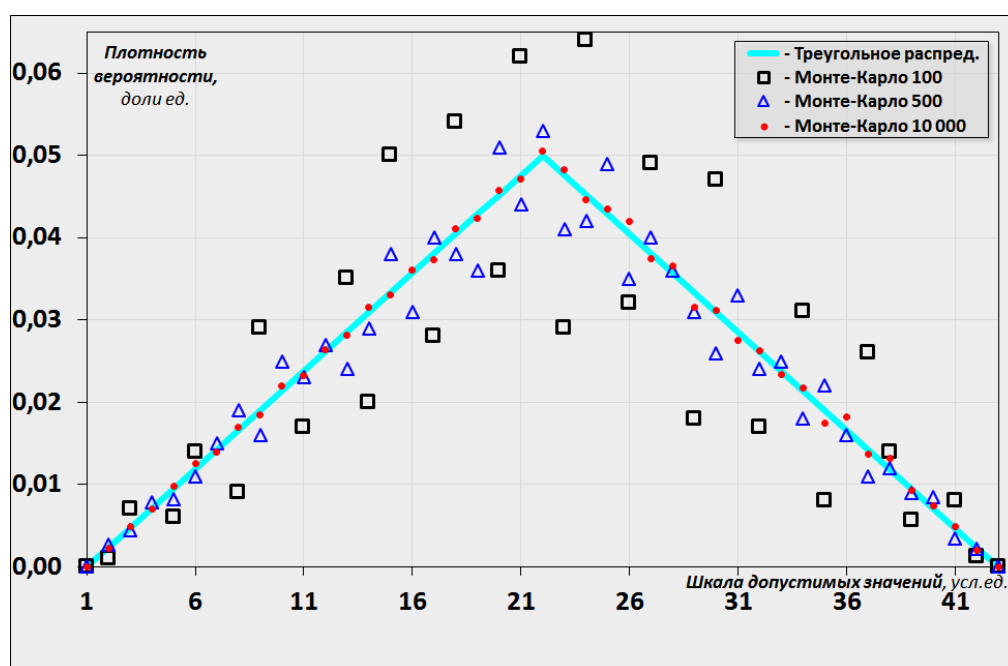


Рис. 3. Зависимость результатов моделирования распределения параметра и сходимости статистической выборки с заданной функцией плотности вероятности от количества реализаций процедуры Монте-Карло

На рис. 3 приемлемая сходимость смоделированного статистического распределения параметра, рассматриваемого как недетерминированный или случайный, с заданной функцией плотности вероятности его значений (треугольный вид с интервалом значений от 1 до 43 и медианным значением 22 единицы) достигается только в случае не менее 500 реализаций. При объеме статистической выборки 10000 и более получаемое распределение значений параметра по оси вероятных значений практически совпадает с заданной («эмпирической») функцией плотности вероятности.

В зависимости от содержательного наполнения решаемых задач и задействованных подходов к получению таких решений могут возникнуть дополнительные - уже чисто технические - ограничения на качество подобных решений.

Например, при вероятностном подходе к подсчету запасов залежей углеводородов, при геолого-экономической оценке нефтегазовых инвестиционных проектов с использованием прямых гидродинамических расчетов вероятностный подход потребует многократных статистических реализаций в процессе задания наиболее существенных геолого-промысловых или финансово-экономических параметров, задействованных в алгоритме оценки, и, соответственно, многократной «прокрутки» всего вычислительного алгоритма (включая работу гидродинамического симулятора). Учитывая, что даже однократное осуществление процедуры прямого гидродинамического моделирования по отдельному объекту оценки с использованием самых мощных и современных компьютерных систем может занимать минуты, часы и даже дни – в зависимости от его масштаба и сложности гидродинамической модели, время реализации процедуры подобной оценки в вероятностном «исполнении» растягивается в сотни и тысячи раз, выходя за рамки разумных ограничений как с точки зрения времени решения подобных задач, так и по вычислительным мощностям, трудозатратам и т.п.

Любое отступление от базового варианта осуществляемой процедуры, направленное на снижение числа реализаций в части отработки подобных ресурсоемких вычислительных алгоритмов, может повлечь дополнительные некорректности, деформирующие суть вероятностного подхода, сказывающиеся на корректности получаемых оценок и влекущие тем самым снижение качества и обоснованности принимаемых решений по существу рассматриваемых нефтегеологических задач.

Иллюстрацией реализации этого направления в преодолении отмеченной проблемы является использование для решения широкого круга геолого-экономических задач упрощенных методик моделирования разработки нефтегазовых объектов. Корректность итоговых интегральных решений предопределяется методиками моделирования, их потенциалом и алгоритмическими решениями в части отражения возможных вариаций ведущих геолого-промысловых параметров [Григорьев, 2005; 2012; Геолого-экономическая

оценка..., 2014].

Принципиально важный момент, связанный с реализацией вероятностного подхода – необходимость наряду с характеристикой возможного диапазона изменения параметров, отразить вероятностную составляющую каждой переменной, определить для них функцию плотности вероятности. В этой части обоснованность и объективность не предопределяются лишь фактом использования метода Монте-Карло, а требуют отдельных глубоких содержательных доказательств.

От того, насколько обоснованы, корректны и выверены вероятностные характеристики, будет непосредственно зависеть обоснованность и корректность решений в рамках конкретных нефтегеологических задач, формируемых на базе получаемых оценок целевого функционала, выверенность тактических и стратегических шагов при выработке отраслевой политики.

Степень влияния данной компоненты вероятностного подхода на возможные инвестиционные решения по проекту освоения одного из нефтяных месторождений Тимано-Печорской нефтегазоносной провинции ярко иллюстрируется следующим примером (рис. 4 5) [Григорьев, 2012; Геолого-экономическая оценка..., 2014]. Для разных вариантов вероятностной характеристики ряда параметров макроэкономической среды (цены на нефть, уровень капитальных и эксплуатационных затрат, успешность ГРП) и геолого-промысловых характеристик проекта освоения запасов (коэффициент извлечения и продуктивность скважин) получены вероятностные оценки экономической эффективности его инвестирования (рассматривались оценки ВНР, ЧДД, доходов государства и недропользователя).

При этом характеристики соответствующих функций плотности вероятности, получаемых для каждой из приводимых оценок инвестиционного проекта, в существенной мере зависят не только от состава варьируемых параметров, но и от вида функций плотности вероятности, то есть от прогноза динамики развития макроэкономической среды. Принципиально важны как ее параметры, определяющие характер и динамику предполагаемого тренда в изменении переменной, так и вероятный диапазон изменения ее значений.

Согласно проведенным исследованиям, даже вероятностный подход не дает нужной определенности в оценках эффективности. Так, средняя оценка ВНР (оценка, отвечающая интегральной вероятности 50% и одновременно характеризующаяся интегральным риском 50%), по варианту А вероятностного подхода существенно больше «детерминированной» оценки, в варианте Б уже практически сравнивается с последней, а по варианту В становится существенно меньше ($\text{ВНР} \approx 3,0\%$). Более того, диапазон значений ВНР, отвечающих уровню вероятности [90%, 10%] по вариантам А и В, перекрывается менее чем наполовину (см. рис. 4).

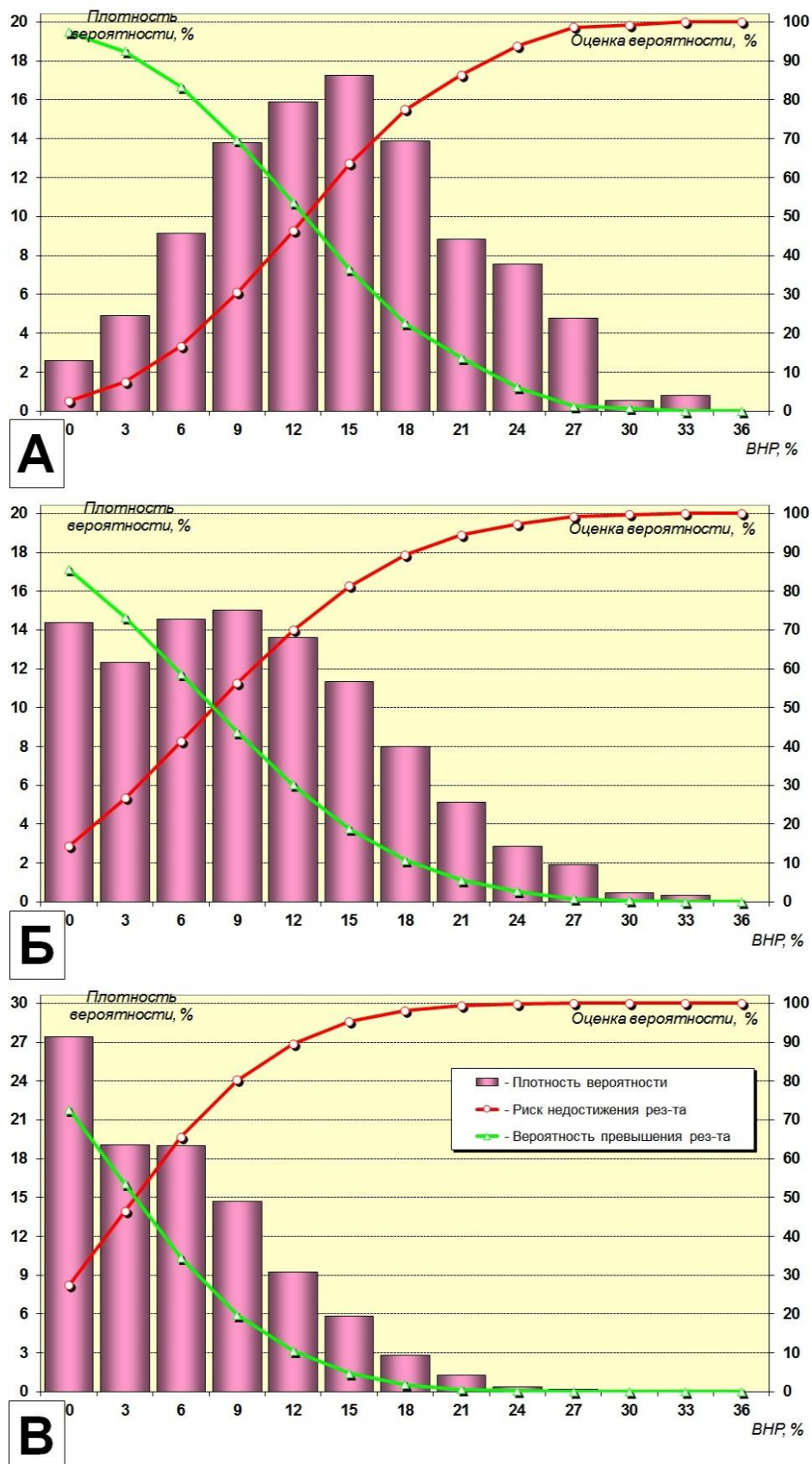


Рис. 4. Вероятностная оценка внутренней нормы рентабельности по проекту освоения нефтяного объекта Тимано-Печорской провинции в зависимости от прогноза развития параметров макроэкономической среды

A – базовый тренд макроэкономической среды (МЭС); Б – равновероятный вариант; В – обратный базовому тренд МЭС.

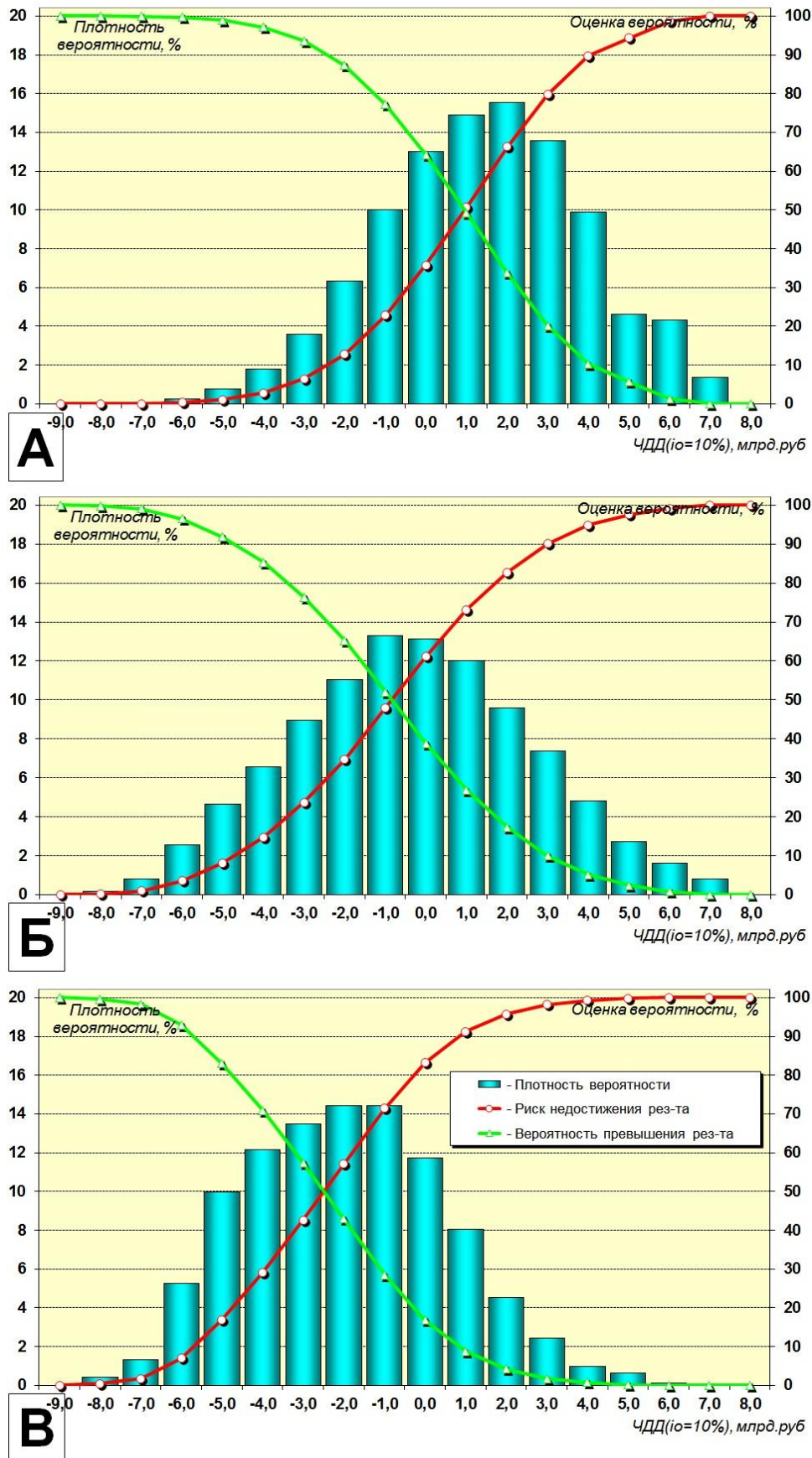


Рис. 5. Вероятностная оценка чистого дисконтированного дохода по проекту освоения нефтяного объекта Тимано-Печорской провинции в зависимости от прогноза развития параметров макроэкономической среды

A – базовый тренд МЭС; B – равновероятный вариант; B – обратный базовому тренд МЭС.

Кроме задания непосредственно вероятностного распределения того или иного параметра необходимо определиться еще и с вероятностью самого тренда в возможных вариациях соответствующей переменной, что добавляет неопределенности и увеличивает риски, связанные уже с компетентностью тех или иных специалистов, определяющих подобные тренды (как, впрочем, и непосредственно вероятностные распределения).

Заложение предельно широких диапазонов изменения параметров инвестиционного проекта, казалось бы, снижает требования к их обоснованию на содержательном уровне. Однако и это не освобождает от необходимости всестороннего обоснования общего вида функции плотности вероятности, от уточнения и обоснования ее характеристик (медианные значения, коэффициенты вариации и др.). При этом любое расширение области определения параметров неизбежно приводит к «размытости» функций плотности вероятности для получаемых интегральных оценок проекта, а некорректное определение параметров функций плотности вероятности для переменных – к искажению вероятностных оценок в рамках поставленных нефтегеологических задач. Все это не просто усложняет выработку и принятие эффективных управленческих решений, касающихся судьбы исследуемого проекта, но может привести к формированию заведомо ошибочных выводов.

Приведенные результаты (см. рис. 4, 5) иллюстрируют и еще раз подтверждают приведенный выше тезис, что, определяя функцию вероятностного распределения значений того или иного параметра и выбирая (назначая) местоположение медианного значения в вероятном интервале распределения каждого из них, мы тем самым в существенной мере предопределяем положение медианного - наиболее вероятного - значения целевой функции.

В этом случае предопределяется наличие «ответственности» косвенно характеризовать вероятностную картину в рамках формируемого решения. Какова надежность выводов, если нет объективных данных для получения вероятностной картины распределения исследуемых факторов риска и компетентных специалистов? С позиции корректности анализа детерминированный подход в подобной ситуации оказывается более предпочтительным – можно охарактеризовать устойчивость целевого функционала к вариациям рисков составляющих, определив с собственных позиций вероятность тех или иных сценариев в их изменении, но оставив возможность, например, инвестору согласиться или не согласиться с представленной версией и оценить ситуацию с позиций собственного видения этих проблем (рис. 6).

С точки зрения обоснованности формируемых решений подход, базирующийся на учете вероятностной природы основных параметров большинства нефтегеологических задач, более предпочтителен. Однако при практической реализации его основные преимущества зачастую сводятся на нет: происходит подмена предметного анализа реальной изменчивости

задействованных факторов и их корректного включения в вычислительный процесс абстрактными статистическими зависимостями, которые закладываются (часто даже без минимально необходимого содержательного анализа) в формальный алгоритм, где непосредственно и реализуется получение «вероятностной» оценки возможных исходов.

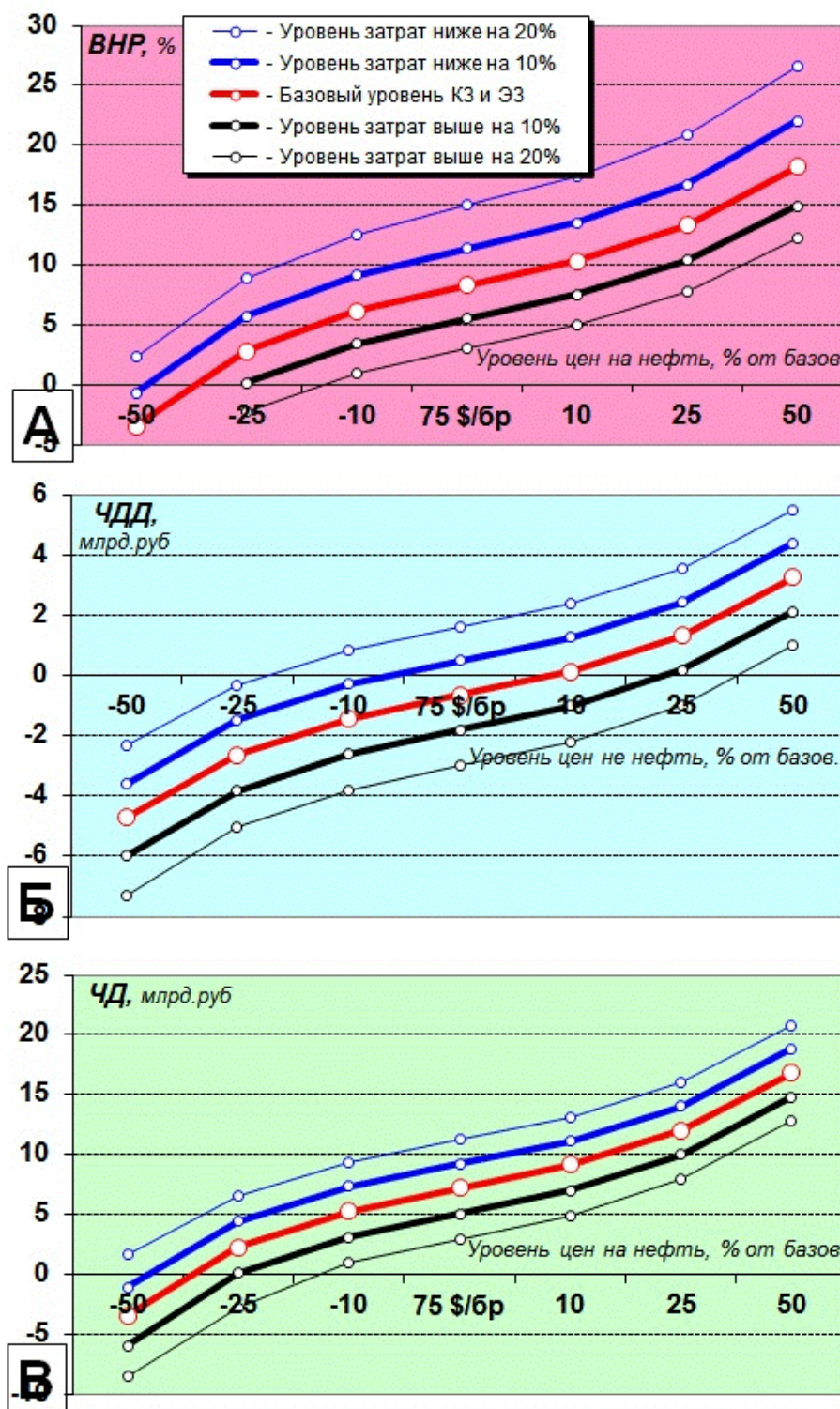


Рис. 6. Устойчивость оценок проекта освоения нефтяного объекта Тимано-Печорской провинции к вариациям параметров макроэкономической среды
Базовый вариант геолого-промысловых характеристик.

Подобное преобразование подхода может привести к существенному искажению вероятностного поля реализации задействованных компонент и, соответственно, к грубому искажению рисков составляющих оценки при формировании потенциальных решений. И это главная проблема при вероятностном подходе к геолого-экономической оценке. Некорректные или некомпетентные решения по данной компоненте анализа, положенные в основу вероятностной оценки, влекут столь же некорректные и необоснованные выводы, способные привести к неверным инвестиционным решениям.

Сегодня вероятностная оценка стала не просто модным термином, но и атрибутом, активно включаемым в базовые нормативные и руководящие методические документы, что зачастую априори делает обязательной процедуру применения соответствующего аппарата - например, при оценке запасов, при геолого-экономических исследованиях перспективных объектов. Но при этом о каких вероятностных методах может идти речь в отношении, например, Севостьяновского нефтяного месторождения (Восточная Сибирь), где на единственную скважину «навешено» около 150 млн. т извлекаемых запасов, или Левобережного газоконденсатного месторождения (также Восточная Сибирь), наличие которого также подтверждено единственной скважиной (еще в 2006 г. оно рассматривалось как вторая Ковыкта с запасами до 1,4 трлн. м³, на сегодня его балансовые запасы снижены до примерно 50 млрд. м³) – тем более учитывая нефтегеологическую специфику Восточно-Сибирского региона. Автор знаком с результатами аудита, проводившегося несколько лет назад относительно запасов (скорее, ресурсного потенциала) Георгиевского месторождения на суше о. Сахалин (по результатам бурения единственной скважины на балансе числится около 4 млн. т нефти – извлекаемые). Согласно результатам аудита, в перспективной на нефть зоне (приурочена к брахиантиклинальной складке с наклонным шарниром, разбита на тектонические блоки с относительными вертикальными смещениями до 200-400 м), возможно открытие извлекаемых ресурсов в объеме около 50 млн. т с вероятностью 90%, примерно 200 млн. т – с вероятностью 50% и около 500 млн. т – с вероятностью 10%.

О какой корректности применения задействованной методологии можно говорить в подобных ситуациях и что с точки зрения познания объекта исследований может дать использование вероятностной оценки кроме прямой дискредитации данного инструментария? Принципиальные решения по методологическим и методическим проблемам оценки рисков, присущих нефтедобыче и сопровождающих инвестиции в данную отрасль экономики, существуют. Их уровень доведен до эффективных алгоритмических проработок и базируется на строго формализованных процедурах. Вместе с тем необходимо учитывать, что корректное решение проблемы оценки рисков упирается в корректное определение базовой основы для ее осуществления – определение вероятного диапазона распределения значений наиболее

значимых параметров, задействованных при решении поставленных задач, и корректное определение функций плотности вероятности их значений в пределах этих диапазонов. Без решения этой проблемы (а решения должны быть индивидуальны и компетентны по каждому проекту, объекту и задействованному параметру) оценка рисков составляющих будет фикцией, эффективной внешне, но не несущей содержательных компонент и, более того, может принципиально исказить истинную картину и способствовать принятию неверных решений, в том числе и управленческих.

Выводы

1. Необходимость привлечения вероятностных методов обусловлена многогранностью природных процессов, определяющих характеристики исследуемых нефтегеологических объектов, ограниченностью, зачастую недостаточной надежностью и точностью информации о наиболее существенных из них.

2. Принципиальные решения по методологическим и методическим проблемам учета неопределенностей (в том числе применительно к задачам нефтегазовой отрасли) существуют. Разработаны эффективные вычислительные алгоритмы их учета, которые базируются на строго формализованных процедурах.

3. Решение проблемы оценки и учета соответствующих неопределенностей и обусловленных их наличием рисков требует:

- корректного определения диапазона значений каждого из параметров,
- корректного определения функций плотности вероятности их значений в пределах заданных диапазонов.

4. Решения должны быть индивидуальны и предельно компетентны по каждому проекту, объекту и задействованному параметру.

5. Недостаточно строгое и обоснованное определение вероятностных характеристик исследуемых параметров может привести к грубым искажениям искомым оценок, повлечь выработку неверных управленческих решений.

6. Применение вероятностных методов в нефтегазовой отрасли целесообразно, а зачастую даже необходимо, технологически и методологически вполне возможно. Неотъемлемый элемент при выработке соответствующих мероприятий по их реализации – всеобъемлющий корректный анализ имеющихся неопределенностей и компетентные проектные решения, направленные на их минимизацию.

Литература

Ампилов Ю.П. Методы геолого-экономического моделирования ресурсов и запасов нефти и газа с учетом неопределенности и риска. – М.: Геоинформмарк, 2002. – 199 с.

Ампилов Ю.П. Стоимостная оценка недр. – М.: Геоинформцентр, 2003. – 274 с.

Ампилов Ю.П., Герт А.А. Экономическая геология. – М.: Геоинформмарк, 2006. – 329 с.

Андреев А.Ф., Зубарева В.Д., Саркисов А.С. Анализ рисков нефтегазовых проектов. – М.: Изд-во «Нефть и газ» РГУ им. И.М. Губкина, 2003. – 231 с.

Белонин М.Д., Подольский Ю.В. Нефтегазовый потенциал России и возможности его реализации. – СПб.: Недра, 2006. – 375 с.

Геолого-экономическая оценка как основа формирования стратегии воспроизводства запасов и развития добычи нефти и газа в России / Г.А. Григорьев; ФГУП «ВНИГРИ». - СПб.: ВНИГРИ, 2014. – 344 с. – (Труды ВНИГРИ).

Герт А.А., Немова О.Г., Супрунчик Н.А., Волкова К.Н. Стоимостная оценка запасов и ресурсов углеводородного сырья // Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. - 2006. - №2. - С.54-60.

Герт А.А., Супрунчик Н.А., Немова О.Г., Волкова К.Н. Экономическое обоснование эффективности управленческих решений на основе стоимостной оценки нефтегазовых месторождений и участков недр // Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. - 2009. - №1. - С. 48-56.

Григорьев Г.А. Анализ рисков в нефтегазовых проектах – состояние и существующие проблемы // Комплексное изучение и освоение сырьевой базы нефти и газа севера европейской части России: сб. матер. научно-практ. конф. (г. Санкт-Петербург, 4-7 июня 2012 г.). – СПб.: ВНИГРИ, 2012. - С. 321-334.

Григорьев Г.А. Подходы к оценке рисков в нефтегазодобыче, состояние проблемы // Теория и практика стоимостной оценки нефтегазовых объектов. Совершенствование системы налогообложения: сб. докл. научно-практ. конф. (г. Санкт-Петербург, 4-8 июля 2005 г.). – СПб.: Недра, 2005. - С.149-157.

Лаппо А.В., Ампилов Ю.П. Техничко-экономические оценки морских месторождений углеводородов на ранних стадиях изучения // Газовая промышленность. - 2011. - №8. - С.62-67.

Справочник по математике для инженеров и учащихся ВТУЗов / И.Н. Бронштейн, К.А. Семендяев. – М.: Наука, 1981. – 720 с.

Шеннон Р. Имитационное моделирование систем – искусство и наука. – М.: Наука, 1978. – 418 с.

Grigor'ev G.A.

All Russia Petroleum Research Exploration Institute (VNIGRI), St. Petersburg, Russia, ins@vnigri.ru

PROBABILISTIC METHODS APPLICATION FOR OIL GEOLOGICAL RESEARCH

The potential of involvement of probabilistic methods is discussed with regard to the specifics of oil geological issues arising from the need to consider sophisticated and multifactorial processes, information about which is most often very limited and characterized by a high level of uncertainty. The features of the mathematical framework that implements this approach are analyzed; and the methodological challenges and technological limitations are investigated. The conditions and criteria ensuring correct application of this tools and the reliability of the results and estimates, which directly determine the effectiveness of managerial decisions in the oil and gas sector formed on their basis, are analyzed.

Keywords: oil and gas geology, estimation of reserves, geological and economic evaluation, probabilistic and statistical methods, the probability density function.

References

Ampilov Yu.P. *Metody geologo-ekonomicheskogo modelirovaniya resursov i zapasov nefi i gaza s uchetom neopredelennosti i riska* [Methods of geological and economical modeling of oil and gas resource and reserves, taking into account uncertainty and risk]. Moscow: Geoinformmark, 2002, 199 p.

Ampilov Yu.P. *Stoimostnaya otsenka nedr* [Subsoil estimation]. Moscow: Geoinformtsentr, 2003, 274 p.

Ampilov Yu.P., Gert A.A. *Ekonomicheskaya geologiya* [Economic geology], Moscow: Geoinformmark, 2006, 329 p.

Andreev A.F., Zubareva V.D., Sarkisov A.S. *Analiz riskov neftegazovykh projektov* [Analysis of risks in oil and gas projects]. Moscow: Izd-vo «Nef' i gaz» RGU im. I.M. Gubkina, 2003, 231 p.

Belonin M.D., Podol'skiy Yu.V. *Neftegazovyy potentsial Rossii i vozmozhnosti ego realizatsii* [Oil and gas potential of Russia and prospects of its development]. St. Petersburg: Nedra, 2006, 375 p.

Geologo-ekonomicheskaya otsenka kak osnova formirovaniya strategii vosproizvodstva zapasov i razvitiya dobychi nefi i gaza v Rossii [Geological and economic evaluation as the basis for the creation of a reserves renewing strategy and development of oil and gas in Russia]. G.A. Grigor'ev; FGUP «VNIGRI», St. Petersburg: VNIGRI, 2014, 344 p, (Trudy VNIGRI).

Gert A.A., Nemova O.G., Suprunchik N.A., Volkova K.N. *Stoimostnaya otsenka zapasov i resursov uglevodorodnogo syr'ya* [The assessment of hydrocarbon reserves and resources]. Mineral'nye resursy Rossii. Ekonomika i upravlenie, 2006, no. 2, p. 54-60.

Gert A.A., Suprunchik N.A., Nemova O.G., Volkova K.N. *Ekonomicheskoe obosnovanie effektivnosti upravlencheskikh resheniy na osnove stoimostnoy otsenki neftegazovykh mestorozhdeniy i uchastkov nedr* [Economic substantiation of efficiency of management decisions on the basis of the assessment of oil and gas fields and subsoil plots]. Mineral'nye resursy Rossii. Ekonomika i upravlenie, 2009, no. 1, p. 48-56.

Grigor'ev G.A. *Analiz riskov v neftegazovykh projektakh – sostoyanie i sushchestvuyushchie problemy* [Risk analysis in the oil and gas projects - present state of existing problems] Kompleksnoe izuchenie i osvoenie syr'evoy bazy nefi i gaza severa evropeyskoy chasti Rossii: Proceedings of scientific practical conference. (St. Petersburg, 4-7 June, 2012), St. Petersburg: VNIGRI, 2012, p. 321-334.

Grigor'ev G.A. *Podkhody k otsenke riskov v neftegazodobyche, sostoyanie problem* [Approaches to the evaluation of risks in the oil and gas production; the state of the problem]. Teoriya i praktika stoimostnoy otsenki neftegazovykh ob"ektov. Sovershenstvovanie sistemy nalogooblozheniya: Proceedings of scientific practical conference. (St. Petersburg, 4-8 July, 2005), St. Petersburg: Nedra, 2005, p. 149-157.

Lappo A.V., Ampilov Yu.P. *Tekhniko-ekonomicheskie otsenki morskikh mestorozhdeniy*

uglevodorodov na rannikh stadiyakh izucheniya [Technical and economic assessment of marine hydrocarbon deposits in the early stages of investigation]. *Gazovaya promyshlennost'*, 2011, no. 8, p.62-67.

Shennon R. *Imitatsionnoe modelirovanie sistem – iskusstvo i nauka* [Simulation of modelling - the art and science]. Moscow: Nauka, 1978, 418 p.

Spravochnik po matematike dlya inzhenerov i uchashchikhsya VTUZov [Handbook of mathematics for engineers and students of technical colleges]. I.N. Bronshteyn, K.A. Semendyaev. Moscow: Nauka, 1981, 720 p.

© Григорьев Г.А., 2016