

УДК 550.8

Оценка геологических рисков при планировании геологоразведочных работ на стадии поиска месторождения

И.Л. Евстафьев^{1*}, И.Г. Долинский¹

¹ ПАО «Газпром нефть», Российская Федерация, 190000, г. Санкт-Петербург, ул. Почтамтская, д. 3-5

* E-mail: Evstafev.il@gazprom-neft.ru

Тезисы. Статья посвящена вопросам количественной оценки геологических рисков при планировании геологоразведочных работ (ГРП) на поисковом объекте. На практическом примере разъяснено понятие вероятности геологического успеха и апробирована соответствующая методика расчета.

На ранних этапах геологического изучения недр и непосредственно до строительства первой поисково-оценочной скважины, предполагающей открытие нового месторождения (залежи), критериями эффективности ГРП выступают качественные показатели, а именно: наличие целевого флюида и объем запасов в допустимом диапазоне отклонений от начальной оценки. Наиболее значимым с точки зрения величины возможного ущерба является риск неподтверждения концепции геологического строения, под которым понимаются как отсутствие запасов углеводородного сырья (УВС) вследствие отсутствия залежи, так и недостижение ожидаемых объемов запасов вследствие существенного отклонения параметров залежи от прогнозируемых целевых значений.

Проектируемые в расчете на ресурсы категорий D_2 – D_0 объемы ГРП не всегда обеспечивают недропользователю ожидаемый геологический и коммерческий успех. С целью количественной оценки геологических рисков широко применяется так называемый параметр $COSg$ (англ. geological chance of success), или «вероятность геологического успеха», который характеризует вероятность открытия целевого объекта (прогнозируемой продуктивной залежи УВС конкретного стратиграфического возраста) и получения промышленного притока целевого флюида (нефть, газ). $COSg = 1 - Rg$, где Rg – коэффициент геологического риска.

Детальный анализ геолого-геофизической изученности поискового объекта и выявленных по результатам предшествующих ГРП региональных трендов и зависимостей позволил оценить вероятность геологического успеха по пяти факторам риска, а именно: наличию нефтегазоматеринских пород, путей миграции флюида, коллектора и ловушки, а также сохранности залежи.

Оценка геологических рисков применяется недропользователем при планировании геологоразведочных работ (ГРП), определении приоритетных направлений поисков углеводородного сырья (УВС) и расчете ожидаемой эффективности проведения ГРП. Геологические риски, как правило, сопровождают проект на всех этапах: от регионального этапа, стадии поиска и оценки месторождения до его ввода в промышленную разработку. На каждом этапе реестр геологических рисков трансформируется в соответствии с актуальной геолого-геофизической изученностью объекта.

Рассматриваемый в настоящей статье горизонт возможности реализации геологического риска соответствует поисково-оценочному этапу ГРП, включая стадию поиска, т.е. строительство первой успешной поисково-оценочной скважины. С точки зрения величины возможного ущерба наиболее значимым является риск неподтверждения концепции геологического строения, под которым понимается как отсутствие запасов УВС вследствие отсутствия залежи, так и недостижение ожидаемых объемов запасов вследствие существенного отклонения параметров залежи от прогнозируемых целевых значений.

Целевая задача ГРП на стадии поиска месторождения – установление факта наличия или отсутствия промышленных запасов УВС. Этому предшествуют геологоразведочные работы, нацеленные на выявление и подготовку объектов к поисковому бурению. Определенная последовательность проведения ГРП обеспечивает поэтапное снижение геологических рисков и рациональное использование материально-технических ресурсов в целях геологического изучения недр.

Ключевые слова: геологический риск, вероятность, фактор риска, оценка, геологоразведочные работы.

Проектируемые в расчете на ресурсы категорий D_2 – D_0 объемы ГРП не всегда обеспечивают недропользователю ожидаемый геологический и коммерческий успех. С целью количественной оценки риска широко применяется так называемый параметр $COSg$ (англ. *geological chance of success*), или вероятность геологического успеха, который характеризует вероятность открытия целевого объекта (прогнозируемой продуктивной залежи УВС конкретного стратиграфического возраста) и получения промышленного притока целевого флюида (нефть, газ). $COSg = 1 - Rg$, где Rg – коэффициент геологического риска.

Для оценки вероятности геологического успеха используется пятифакторная модель [1, 2]. Применительно к изучаемому объекту анализируются предпосылки (вероятности) наличия нефтегазоматеринских пород ($P_{нмгп}$), путей миграции флюида ($P_{мф}$), коллектора ($P_{к}$), ловушки ($P_{л}$), а также сохранности залежи ($P_{с}$). Величина $COSg$ является произведением всех пяти названных факторов риска, принимающих значения от 0 до 1: $COSg = P_{нмгп} \cdot P_{мф} \cdot P_{к} \cdot P_{л} \cdot P_{с}$. Нередко наличие нефтегазоматеринских пород (НГМП) рассматривается совместно с наличием путей миграции флюида, что допускает возможность их сведения к единому фактору риска.

Необходимо понимать, что каждый из пяти факторов риска одинаково важен: при отсутствии любого из них залежь, месторождение УВС не будут открыты. Каждый из факторов, в свою очередь, декомпозируется на субфакторы, т.е. составляющие, наиболее качественно характеризующие возможные геологические риски в конкретном регионе работ с учетом геолого-геофизической изученности целевых поисковых объектов в регионе. Например, субфакторами наличия НГМП могут служить площадная характеристика, термальность, зрелость, содержание органического вещества и т.д. Каждому фактору присваивается минимальное значение из диапазона 0...1 значений составляющих (субфакторов).

С одной стороны, декомпозиция каждого из пяти факторов позволяет более тщательно анализировать потенциальные геологические риски, с другой – в случае низкого риска-аппетита компании экспертная оценка снижает ожидаемый геологический успех ГРП, порой ставя под сомнение саму целесообразность проведения поисковых работ. Величина $COSg$ в совокупности с объемом рискованного капитала,

предусмотренного для вложения в ГРП, могут рассматриваться как инструмент ранжирования перспективных поисковых объектов по степени успешности их геологического изучения.

Между тем, необходимо понимать, что невысокие значения $COSg$ ($< 0,1$), характерные для объектов на ранних стадиях изученности и поисковых объектов в новых регионах работ, не свидетельствуют о слабом потенциале наличия прогнозируемого объекта УВС, но характеризуют его текущую изученность и существующие риски проведения успешных ГРП.

Рассмотрим принятый подход на следующем примере. В исходных данных: объект – перспективная с точки зрения наличия нефти и газа структурная ловушка, выявленная в акватории по результатам детальных сейсморазведочных работ МОГТ¹ 2D. Определена морфология залежи по основным отражающим горизонтам, корреляция данных выполнена с расположенным поблизости месторождением УВС, введенным в промышленную разработку (далее – эталон, эталонное месторождение).

Перспективный объект представляет собой брахиантиклинальную складку, не осложненную разрывными нарушениями. Размеры объекта $\approx 6 \times 20$ км, высота складки ≈ 100 м. Интервал геологического разреза для поисков УВС охватывает широкий стратиграфический диапазон на глубинах 1500...3000 м, однако целевыми объектами поиска являются разновозрастные пласты-коллекторы на глубинах 2000...2500 м. Далее расчет вероятности геологического успеха будет проводиться исключительно для обозначенных поисковых объектов. В случае поисков залежей УВС в разновозрастных коллекторах различной морфологии для определения $COSg$ применяется более сложный расчет и каждый из пяти факторов риска следует обосновывать для каждого из объектов отдельно.

Вероятность наличия НГМП. Применительно к рассматриваемому случаю наличие региональной НГМП и ее термальность, зрелость доказаны представительными результатами глубокого бурения поисково-оценочных, разведочных и эксплуатационных скважин в пределах единой нефтегазоносной области. Отклонений, требующих индивидуального учета для рассматриваемого объекта, не выявлено. Принимается: $P_{нмгп} = 1$.

¹ МОГТ – метод общей глубинной точки.

Вероятность наличия путей миграции флюида. Важнейшими составляющими фактора миграции служат протяженность и направление путей миграции, а также отношение периода миграции к времени формирования перспективной ловушки. Наиболее предпочтительно наличие ловушки на момент начала миграции флюида. К учету следует принимать условия потоков движения флюидов: является миграция региональной или локальной? какие барьеры ограничивали потоки?

Высокая изученность территории сейсморазведочными работами МОГТ 2D и 3D позволяет с уверенностью исключить наличие региональных и локальных барьеров на пути миграции флюидов от очага генерации к перспективному объекту. Геологических факторов, требующих индивидуального учета на текущей стадии изученности объекта, не выявлено. Принимается: $P_{\text{мф}} = 0,9$, так как значение 1 справедливо при условии установления факта насыщения залежи целевым флюидом.

Вероятность наличия коллектора. При оценке данного фактора следует проанализировать как обстановки осадконакопления и региональные предпосылки распространения коллекторов, наличие геологических предпосылок диагенеза/катагенеза, так и выявленные тренды изменения фильтрационно-емкостных свойств коллекторов от эталонных месторождений к поисковым объектам.

Анализ региональных обстановок осадконакопления и фактически вскрытого бурением геологического разреза эталонного месторождения, комплексированный с результатами интерпретации данных сейсморазведочных работ, позволяет спрогнозировать на поисковом объекте значения общих и насыщенных толщин, а также выявить закономерности их распределения в пластах-коллекторах по разрезу. В таком случае вероятность $P_{\text{к}}$ принимается равной 0,9, так как факт наличия коллектора еще не подтвержден бурением.

На ранних этапах геологического изучения недр и непосредственно до строительства первой поисково-оценочной скважины, предполагающей открытие нового месторождения (залежи), критериями эффективности ГРП выступают качественные показатели: наличие целевого флюида и объем запасов в допустимом диапазоне отклонения от начальной оценки. Качество коллектора и флюида и гидродинамическая характеристика объекта будут являться

ключевыми показателями эффективности проекта на последующих этапах разведки и проектирования системы разработки и обустройства.

Объем потенциальных запасов УВС на открытых месторождениях, как было показано выше, зачастую аккумулярован не в одном, а в нескольких продуктивных пластах-коллекторах. Таким образом, перед поисковым бурением ставится задача подтверждения притоков из группы пластов, суммарно обеспечивающих рентабельный объем геологических запасов. Если имеются предпосылки наличия непродуктивных или обводненных коллекторов, то суммарный геологический риск отсутствия коллекторов в таком случае будет выше, а значение $P_{\text{к}}$ для поискового объекта в целом, соответственно, ниже. Для рассматриваемого примера принимается, что $P_{\text{к}} = 0,7$, так как поставлена целевая задача открытия залежей в определенных двух пластах из группы потенциально продуктивных пластов-коллекторов по аналогии с эксплуатационными объектами на эталонном месторождении.

Применительно к капиталоемким проектам недропользователь вправе на ранних этапах ввести дополнительные критерии эффективности ГРП. Другими словами, задача получить приток целевого флюида по результатам поискового бурения трансформируется в задачу получения притока целевого флюида с подвижностью не менее установленного граничного значения. В таком случае значение $P_{\text{к}}$ может быть снижено исходя из ожиданий недропользователя в отношении характеристик поискового объекта.

Вероятность наличия ловушки. В качестве составляющих данного фактора риска могут рассматриваться наличие замыкания (структурного, литологического), по площади и высоте достаточного для разработки залежи, а также точность методов исследования, на которые опирается недропользователь при экспертной оценке.

Изученность территории работ сейсморазведкой МОГТ 2D при условии наличия статистических данных о высокой подтверждаемости бурением продуктивных залежей, оконтуренных ранее сейсморазведкой 2D (без проведения дополнительных съемок методом 3D), позволяет с определенной долей уверенности ожидать наличия ловушки на рассматриваемом объекте. $P_{\text{л}}$ принимается равной 0,7 как максимальная для структурной ловушки, выявленной по 2D-сейсморазведочным данным.

Вероятность сохранности залежи. Важнейшими составляющими этого фактора риска являются качество покрышки, а также сохранность от механического и биохимического разрушения. Определяющую роль при определении качества покрышки играют ее площадное распространение (региональное, локальное), органический состав (глинистый, карбонатный, эвапоритовый) и мощность. При оценке субфакторов сохранности залежи от механического и биохимического разрушения учитываются наличие или отсутствие в регионе активных тектонических процессов, признаков биодegradации или окисления нефти до, после и во время предположительного формирования залежи.

Опираясь на результаты сейсмических исследований и анализа геологического строения региона, необходимо принять во внимание тренд уменьшения общей толщины региональной покрышки в направлении от эталонного месторождения к поисковому объекту; при этом толщина покрышки изменчива по площади эталона, а ее минимальные значения в пределах выявленных залежей сопоставимы с прогнозируемыми толщинами покрышки на поисковом объекте. Исходя из этого сделан вывод, что определяющим фактором сохранности залежей являются особенности геологического строения самой продуктивной толщи, а не толщина региональной покрышки над ней. С учетом изложенного принимается: $P_c = 0,8$.

В заключение стоит отметить следующее. Детальный анализ геолого-геофизической изученности поискового объекта и выявленных по результатам предшествующих ГРП региональных трендов и зависимостей позволил обосновать значения каждого из пяти факторов риска и рассчитать путем их перемножения вероятность геологического успеха: $COSg = 0,4$.

Последующие ГРП на поисковом объекте должны быть направлены на снижение ключевых геологических рисков и неопределенностей с целью повышения прогнозной оценки $COSg$. Из пяти факторов риска наименьшие значения имеют P_k , P_d и P_c . Значения последних двух вероятностей могут быть уточнены по результатам проведения сейсморазведочных работ МОГТ 3D в результате снижения неопределенностей структурных построений, уточнения положений разрывных

нарушений и их амплитуд. Ожидается, что после получения кондиционных результатов обработки и интерпретации 3D-сейсмических данных значения P_d и P_c составят 0,9 каждое. Ожидаемое значение $COSg = 0,51$, что на 25 % выше значения $COSg$, ожидаемого до проведения сейсморазведочных работ 3D.

Поисково-оценочное бурение является единственным достоверным мероприятием программы ГРП, позволяющим одновременно уточнить все пять факторов риска и подтвердить либо опровергнуть предполагаемую геологическую концепцию строения объекта. В свою очередь, строительство поисковой скважины при высоких геологических рисках соответствует высоким рискам капитальных вложений в программу ГРП.

В случае положительных результатов поисково-оценочного бурения значение $COSg$ составит 1. При этом, как уже отмечалось ранее, этот параметр охарактеризует исключительно факт открытия месторождения на поисковом объекте и получения промышленного притока целевого флюида (нефти, газа). Целевая программа ГРП, в свою очередь, будет направлена на последовательную минимизацию геологических рисков до приемлемых величин, обеспечивающих надежность и устойчивость технико-технологических показателей в составе проектных технологических документов на разработку месторождения.

На поисково-оценочном этапе количественная оценка вероятности геологического успеха ГРП, включая сейсморазведку и строительство поисковой скважины, может быть выполнена с использованием пятифакторной модели. В комплексе оцениваются равнозначные геологические риски, связанные с наличием НГМП, путей миграции целевого флюида, коллекторов и ловушки и сохранностью залежи. Величина $COSg$ характеризует текущую изученность объекта. Низкие значения параметра не свидетельствуют о слабом нефтегазоносном потенциале объекта.

Целевая программа ГРП должна быть направлена на последовательную минимизацию геологических рисков и повышение текущей изученности объекта.

Список литературы

1. Rose P.R. Risk analysis and management of petroleum exploration ventures / P.R. Rose // AAPG methods in exploration. – 2001. – № 12. – 123 с.
2. Rose P.R. Evolution of E&P risk analysis (1960–2017) / P.R. Rose // AAPG 100th Annual convention and exhibition. April 2–5. – Houston, Texas, 2017. – 45 с.

Assessment of geological risks while planning geological prospecting during a stage of field search

I.L. Yevstafyev^{1*}, I.G. Dolinskiy¹

¹ Gazprom Neft PJSC, Bld. 3–5, Pochtamtskaya street, St. Petersburg, 190000, Russian Federation

* E-mail: Evstafev.il@gazprom-neft.ru

Abstract. The paper broaches quantitative assessment of geological risks during planning of geological explorations at a prospect. A “geological chance of success” concept is explained and a correspondent calculation procedure is piloted in practical terms.

At early stages of geological subsurface studies, and straight before construction of a first wildcat well aimed at discovery of a new field (deposit) the success criteria of geological explorations are the following qualitative indicators: presence of a principal target fluid, and an amount of reserves within acceptable spread from an initial estimation. As referred to possible harm, a risk to disconfirm a concept of geological structure is the heaviest. It means either absence of raw hydrocarbons due to absence of a deposit, or failure to achieve expected amounts of reserves tanks to considerable deviation of the deposit parameters from the predicted target values.

Coverage of geological prospecting designed for resources of D₂–D₀ categories doesn't always provide geological and commercial success expected by subsoil developers. To assess geological risks quantitatively, a so-called “geological chance of success” (COSg) parameter is widely applied. It characterizes probability to discover a target object (namely, a productive hydrocarbon deposit of concrete stratigraphic age), and to get commercial inflow of a target fluid (oil, or gas). $COSg = 1 - Rg$, wher Rg is a factor of geological risk.

Detailed analysis of geological-geophysical knowledge of a prospect and highlighted regional trends enabled estimation of geological success by five risk factors, namely: presence of source rocks, fluid travel courses, a reservoir, and a trap, as well as survivability (preservation) of a deposit.

Keywords: geological risk, probability, risk factor, assessment, geological prospecting.

References

1. ROSE, P.R. Risk analysis and management of petroleum exploration ventures. *AAPG methods in exploration*. 2001, no. 12.
2. ROSE, P.R. Evolution of E&P risk analysis (1960–2017). In: *AAPG 100th Annual convention and exhibition*. April 2–5, Houston, Texas.