

Статья опубликована в открытом доступе по лицензии CC BY 4.0

Поступила в редакцию 28.10.2024 г.

Принята к публикации 29.01.2025 г.

EDN: QVGQOY

УДК 553.98.048:519.2

**Емельянова Н.М., Пороскун В.И.**

Федеральное государственное бюджетное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский геологический нефтяной институт» (ФГБУ «ВНИГНИ»), Москва, Россия, emel@vnigni.ru, poroskun@vnigni.ru

## **МЕТОДИКА ВЕРОЯТНОСТНОЙ ОЦЕНКИ ГЕОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПЛЕЕВ НА ПОИСКОВО-ОЦЕНОЧНОМ ЭТАПЕ ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫХ РАБОТ**

*Рассмотрена методика определения вероятностных характеристик плеля, используемых при проектировании геологоразведочных работ: 1. ресурсов в случае продуктивности плеля; 2. геологического риска плеля. Она базируется на аналитическом методе суммирования вероятностных оценок ресурсов ловушек плеля - без учета и с учетом геологического риска. Получены формулы вероятностных оценок ресурсов плеля для двух указанных модификаций процедуры суммирования. Показано, что структура вероятностных оценок ресурсов плеля обеих модификаций позволяет применить к ним вероятностно-сценарный подход при оценке экономических показателей освоения плеля. Приведены формулы вычисления компонент геологического риска плеля – вероятности успеха плеля и вероятности неудачи плеля.*

**Ключевые слова:** вероятностная оценка ресурсов плеля, геологический риск плеля, суммирование вероятностных оценок ресурсов ловушек плеля.

---

**Для цитирования:** Емельянова Н.М., Пороскун В.И. Методика вероятностной оценки геолого-экономических показателей плеев на поисково-оценочном этапе геологоразведочных работ // Нефтегазовая геология. Теория и практика. - 2025. - Т.20. - №1. - [https://www.ngtp.ru/rub/2025/4\\_2025.html](https://www.ngtp.ru/rub/2025/4_2025.html) EDN: QVGQOY

---

### **Введение**

В соответствии с «Временным положением об этапах и стадиях геологоразведочных работ на нефть и газ»<sup>1</sup> основными объектами количественной оценки на поисково-оценочном этапе геологоразведочных работ (ГРП) являются участки (зоны, районы) с установленной или возможной нефтегазоносностью и расположенные в них выявленные и подготовленные к бурению ловушки.

Зоны нефтегазонакопления - это крупные протяженные структуры, в пределах которых создаются благоприятные условия для концентрации углеводородов в залежах и месторождениях [Геология, поиски и разведка..., 2000].

В пределах зон нефтегазонакопления выделяются нефтегазоносные районы - группы смежных и сходных по своему геологическому строению месторождений нефти и газа. Возможность выделения таких районов обусловлена тем фактом, что в природе

---

<sup>1</sup> Временное положение об этапах и стадиях геологоразведочных работ на нефть и газ: Утверждено Приказом Министерства природных ресурсов РФ от 07.02.2001 г. №126.

месторождения нефти и газа распространены группами, и особенности их размещения в земной коре подчиняются закономерностям, определяемым общностью геологических характеристик более крупных по масштабам территорий [Геология, поиски и разведка..., 2000].

Районы с установленной или возможной нефтегазоносностью рассматриваются в качестве *основных операционных объектов геологоразведки* как за рубежом [Роуз Питер, 2011], так и у нас в стране<sup>2</sup> [Введение в нефтегазовую..., 2009].

За рубежом такие объекты получили название «**play**» (плей). В российской терминологии англоязычному понятию «**плей**» соответствует понятие «**направление ГРП**» [Введение в нефтегазовую..., 2009]. Выделение таких объектов создает предпосылки для корректного применения математических методов при геолого-экономической оценке поисковых объектов разного масштаба: ловушек, районов, лицензионных участков и пр.

«Плей» определяется как *«группа подготовленных к бурению ловушек (prospect) и месторождений (field) нефти и/или газа, характеризующихся одинаковыми геологическими условиями образования, т.е. как семейство геологически похожих ловушек (trap)»* [Роуз Питер, 2011]. Геологическая похожесть залежей и ловушек плей обеспечивает *статистическую однородность*, определяющих их геолого-экономических показателей [Роуз Питер, 2011]. Это позволяет при оценивании плей характеризовать все ловушки плей одинаковыми (усредненными) геолого-экономическими показателями. Такой подход лежит в основе широко применяемого за рубежом плей-метода (Exploration Play Method) [Роуз Питер, 2011].

«*Направление ГРП*» – это совокупность однотипных месторождений (открытых или предполагаемых), поиски и разведка которых ведутся по одной методике и сходным комплексом технических средств в пределах одного нефтегазоносного этажа и одной тектонической зоны [Крылов, Кучеря, 2010]. В определении «Направления ГРП» акцент делается на однотипность залежей (месторождений), которая обеспечивает возможность использования единой методики и средств ведения поисково-разведочных работ.

Полного соответствия между понятием «плей» и его российскими аналогом «Направление ГРП» нет. В определении понятия «Направление ГРП» не акцентируется внимание на необходимости выполнения для группы включенных в него залежей (месторождений) условия *статистической однородности геолого-экономических характеристик* – основного требования методологии плей-метода.

---

<sup>2</sup> *Методическое руководство по количественной и экономической оценке ресурсов нефти, газа и конденсата России. Утверждено Научным Советом по совершенствованию количественной и экономической оценки ресурсов нефти, газа и конденсата 16 июня 2000 г.*

В данной статье авторы базируются на концепции понятия «плей» [Роуз Питер, 2011].

В качестве целевых показателей геологоразведки рассматриваются *оценки ресурсов нефти и газа ловушек и плев, и их стоимостные характеристики.*

Переход к вероятностной методологии геологоразведки нефти и газа связан с необходимостью учета двух типов факторов, обуславливающих неопределенность оценок целевых показателей на поисково-оценочном этапе:

1. неопределенность геологической модели объектов исследования, служащей базой для определения этих оценок;

2. неопределенность результата ГРП на объектах исследования.

Неопределенность оценок целевых показателей объектов исследования, обусловленная действием первого фактора, формализуется путем замены детерминированных оценок этих показателей на вероятностные оценки, заданные в виде функций распределения вероятностей<sup>3</sup>.

Неопределенность оценок целевых показателей объектов исследования, обусловленная действием второго фактора, формализуется путем моделирования неопределенного результата ГРП с помощью случайного события, имеющего два исхода:

1) успех ГРП – открытие в ловушке промышленной залежи, доказательство продуктивности плея;

2) неудачу ГРП – отсутствие в ловушке промышленной залежи, доказательство непродуктивности плея.

Для вероятностной характеристики этого случайного события вводятся вероятности:

а) вероятность успеха ГРП –  $P_{\text{усп грп}}$ ;

б) вероятность неудачи ГРП –  $P_{\text{неуд грп}}$ .

С неопределенным результатом действия второго фактора связан риск безвозвратных материальных потерь в случае неудачи ГРП. Этот риск в научной литературе по геологоразведке назван «*геологическим риском*», поскольку он обусловлен геологическими признаками, контролирующими образование и сохранность скоплений нефти и газа в плее [Роуз Питер, 2011; The CCOP Guidelines, 2000].

Для математического определения понятия «*геологический риск поискового объекта*» однозначного определения в научной литературе (как зарубежной, так и российской) не существует. Р.Е. Меджил отмечает, что в геологоразведке используется целый набор определений понятия «геологический риск»: вероятность успеха (chance of success),

---

<sup>3</sup> Методическое руководство по количественной и экономической оценке ресурсов нефти, газа и конденсата России. Утверждено Научным Советом по совершенствованию количественной и экономической оценки ресурсов нефти, газа и конденсата 16 июня 2000 г.

геологический успех (geologic success), вероятность неудачи (probability of failure), риск наличия углеводородов (existence risk, chance of adequacy) и т.д. [Megil, 1984]. Несмотря на разные названия, все эти определения подразумевают одну и ту же процедуру – количественную оценку риска наличия (или отсутствия) промышленных залежей в поисковых объектах.

Во избежание терминологической путаницы авторы данной работы предлагают в качестве математического определения понятия «геологический риск» принять дискретную функцию  $P_{\text{риск}}$  распределения вероятностей двух возможных результатов ГРП [Емельянова, Пороскун; Методы геолого-экономической оценки, 2016]:

$$P_{\text{риск}} = (P_{\text{усп грр.}}, P_{\text{неуд грр.}}),$$

где  $(P_{\text{усп грр.}} + P_{\text{неуд грр.}}) = 1$ .

Геолого-экономическая оценка плеев на поисково-оценочном этапе проводится с целью их ранжирования при разработке стратегии ГРП. Значимыми характеристиками плеча, которые должны быть определены до начала поискового бурения, являются:

- геологический риск плеча;
- вероятностная оценка ресурсов плеча в случае его продуктивности;
- вероятностная оценка чистого дисконтированного дохода плеча в случае его продуктивности.

### Функциональная схема вероятностной методологии анализа плеев

Функциональную схему вероятностной методологии геологоразведки на поисково-оценочном этапе можно представить в виде, изображенном на рис. 1.

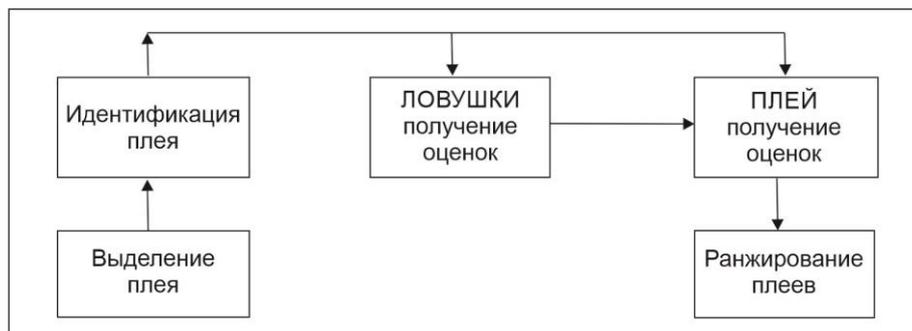


Рис. 1. Функциональная схема вероятностной методологии анализа плеев

Схема состоит из следующих функциональных блоков:

- выделения плеча;
- идентификации плеча;

- определения вероятностных характеристик ловушек пляя;
- определения вероятностных характеристик пляя;
- ранжирования плеев.

#### *Блок выделения пляя*

Выделение пляя является начальным этапом методологии анализа плеев. Оно базируется на принятом определении пляя как семейства геологически похожих ловушек (trap). Осуществить выделение пляя в соответствии с указанным условием возможно путем построения и анализа карт пляя по геологическим признакам, контролирующим процесс образования и сохранности нефтегазовых залежей на площади пляя.

#### *Блок идентификации пляя*

Идентификация выделенных плеев производится по геолого-техническим показателям, позволяющим осуществить геолого-экономическую оценку плеев и входящих в них ловушек до начала поискового бурения.

В качестве таких показателей используются [Роуз Питер, 2011]:

- оценки вероятности наличия региональных ( $P_{рег}$ ) и локальных ( $P_{лок}$ ) геологических признаков, контролирующих формирование на площади пляя промышленных скоплений нефти и газа; региональные геологические признаки действуют на всей площади пляя, локальные геологические признаки - на площади отдельных ловушек;

- функция распределения залежей (месторождений) по величине запасов  $F(Q_{мест})$ , (в английской терминологии Field-Size Distribution – FSD), полученная по оценкам извлекаемых запасов открытых залежей (месторождений) в пляях – аналогах; функция  $F(Q_{мест})$  является основным контрольным инструментом при определении вероятностных оценок ресурсов нефти и газа в ловушках пляя;

- оценки коэффициентов успешности бурения ( $K_{усп}$ ), полученные на пляях – аналогах; эти коэффициенты используются для контроля оценки показателя геологического риска ловушек пляя.

#### *Блок оценки ловушки пляя*

Основными вероятностными характеристиками, определяемыми в блоке оценки ловушки пляя, являются [Роуз Питер, 2011]:

- геологический риск ловушки;
- вероятностная оценка ресурсов ловушки.

Эти вероятностные характеристики используются при определении указанных выше вероятностных характеристик пляя.

### *Блок оценки плеча*

Методика определения вероятностных характеристик плеча составляет главное содержание предлагаемой статьи.

### *Блок ранжирования плечев*

Вероятностные характеристики плеча составляют базу для ранжирования плечев по их геолого-экономической значимости при проектировании ГРП и принятии управленческих решений. Ранжирование плечев по их значимости позволяет решить задачу выбора наиболее перспективного плеча для проведения на нем дальнейших детальных исследований.

Вопросы ранжирования плечев по критериям принятия решений в данной статье не рассматриваются.

## **Оценка вероятностных характеристик ловушки**

### *Геологический риск ловушки*

Под понятием *геологического риска ловушки* понимается вероятностная оценка факта наличия или отсутствия в ней промышленной залежи.

В качестве показателя геологического риска ловушки [Емельянова, Пороскун, 2016] введена функция риска:

$$R_{\text{риск}}^{\text{ЛОВ}} = (R_{\text{усп}}^{\text{ЛОВ}}, R_{\text{неуд}}^{\text{ЛОВ}}) \quad (1),$$

где  $R_{\text{усп}}^{\text{ЛОВ}}$  – вероятность успеха ловушки,  $R_{\text{неуд}}^{\text{ЛОВ}}$  – вероятность неудачи ловушки.

Вероятности  $R_{\text{усп}}^{\text{ЛОВ}}$  и  $R_{\text{неуд}}^{\text{ЛОВ}}$  являются взаимно дополнительными и удовлетворяют условию:

$$(R_{\text{усп}}^{\text{ЛОВ}} + R_{\text{неуд}}^{\text{ЛОВ}}) = 1, R_{\text{неуд}}^{\text{ЛОВ}} = (1 - R_{\text{усп}}^{\text{ЛОВ}}) \quad (2).$$

*Вероятность успеха ловушки* - вероятность наличия в ловушке промышленной залежи.

*Вероятность неудачи ловушки* - вероятность отсутствия в ловушке промышленной залежи.

Вероятность успеха ловушки  $R_{\text{усп}}^{\text{ЛОВ}}$  определяется как вероятность наличия в ней необходимых региональных и локальных геологических признаков:

$$R_{\text{усп}}^{\text{ЛОВ}} = P_{\text{рег}} \cdot P_{\text{лок}} \quad (3).$$

Предполагается, что в пределах одного плеча вероятность наличия региональных геологических признаков постоянна ( $P_{\text{рег}} = \text{const}$ ), ловушки различаются лишь условиями наличия в них локальных геологических признаков, т.е. локальной вероятностью  $P_{\text{лок}}$ . Дифференциацию ловушек плеча по условию наличия (или отсутствия) в них залежей следует проводить на основе значений локальных вероятностей ловушек  $R_{\text{лок}}^{\text{ЛОВ}}$ , т.е. принять:

$$R_{\text{усп}}^{\text{ЛОВ}} = R_{\text{лок}}^{\text{ЛОВ}}, R_{\text{неуд}}^{\text{ЛОВ}} = (1 - R_{\text{лок}}^{\text{ЛОВ}}) \quad (4).$$

### Вероятностная оценка ресурсов ловушки

Вероятностная оценка ресурсов нефти и газа ловушки представляет собой оценку геологических или извлекаемых ресурсов залежи в предположении ее наличия в ловушке. Получение такой оценки до проведения поискового бурения производится с использованием принципа аналогий.

В соответствии с «Методическими рекомендациями по применению Классификации запасов и ресурсов нефти и горючих газов»<sup>4</sup> оценка ресурсов нефти и газа ловушки (в зависимости от степени изученности - по категориям D<sub>л</sub> и D<sub>0</sub>) осуществляется *объемным методом*.

При использовании объемного метода подсчетные параметры, входящие в расчетную формулу оценки ресурсов, в силу их неопределенности моделируют случайными величинами и описывают функциями распределения вероятностей. При заданных функциях распределения вероятностей подсчетных параметров вероятностная оценка ресурсов ловушки может быть получена методом Монте-Карло.

Вероятностная оценка ресурсов ловушки представлена функцией плотности вероятностей  $f(Q_{\text{лов}})$  и функцией кумулятивной вероятности  $F(Q_{\text{лов}})$ .

Функции распределения вероятностей  $f(Q_{\text{лов}})$  и  $F(Q_{\text{лов}})$  характеризуются математическим ожиданием  $m_{Q_{\text{лов}}}$  и дисперсией  $\sigma_{Q_{\text{лов}}}^2$ :

$$f(Q_{\text{лов}}) = f(m_{Q_{\text{лов}}}, \sigma_{Q_{\text{лов}}}^2), \quad F(Q_{\text{лов}}) = F(m_{Q_{\text{лов}}}, \sigma_{Q_{\text{лов}}}^2).$$

Вероятностная оценка ресурсов ловушки, вычисленная по объемной формуле, характеризуется *логнормальным* законом распределения [Роуз Питер, 2011; Емельянова, Пороскун, 2016].

На практике обычно пользуются [Роуз Питер, 2011]:

- непосредственно вероятностной оценкой ресурсов ловушки  $f(Q_{\text{лов}})$  и  $F(Q_{\text{лов}})$ ;
- представлением функции кумулятивной вероятности  $F(Q_{\text{лов}})$  ее квантилями  $Q_{\text{лов}90}$ ,  $Q_{\text{лов}50}$ ,  $Q_{\text{лов}10}$ ; при этом разность квантилей  $Q_{\text{лов}10}$  и  $Q_{\text{лов}90}$  представляет интервал неопределенности  $\Delta = (Q_{\text{лов}10} - Q_{\text{лов}90})$  для оценки ресурсов, соответствующий 80%-ной доверительной вероятности;

- математическим ожиданием функций распределения  $f(Q_{\text{лов}})$  и  $F(Q_{\text{лов}})$  -  $m_{Q_{\text{лов}}}$  в качестве точечной вероятностной оценки ресурсов ловушки.

Иллюстративные графики функций распределения  $f(Q_{\text{лов}})$  и  $F(Q_{\text{лов}})$  представлены на рис. 2.

<sup>4</sup> Методические рекомендации по применению Классификации запасов и ресурсов нефти и горючих газов: Утверждены распоряжением Минприроды №3-р от 01.02.2016 г.

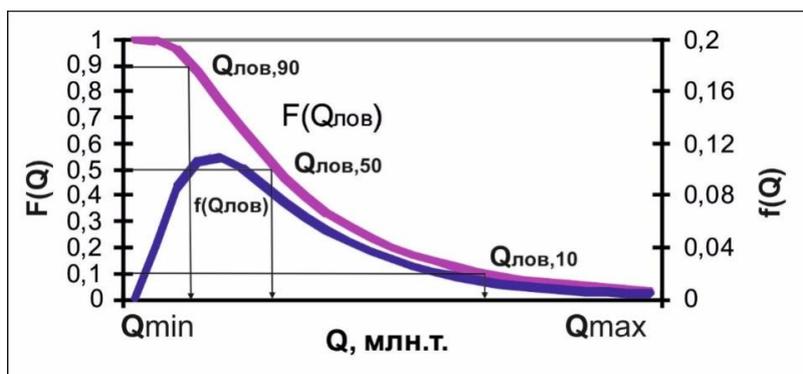


Рис. 2. Графики функций вероятностной оценки ресурсов ловушки

## Оценка вероятностных характеристик плей

### Геологический риск плей

По аналогии с показателем «геологический риск ловушки» предложен показатель «геологический риск плей» [Емельянова, Пороскун, 2018], определяемый функцией риска

$R_{\text{риск}}^{\text{плей}}$ :

$$R_{\text{риск}}^{\text{плей}} = (R_{\text{усп}}^{\text{плей}}, R_{\text{неуд}}^{\text{плей}}) \quad (5),$$

где  $R_{\text{усп}}^{\text{плей}}$  - вероятность успеха плей,  $R_{\text{неуд}}^{\text{плей}}$  - вероятность неудачи плей.

*Вероятность успеха плей* – вероятность *продуктивности плей*. Продуктивность плей определяется наличием на площади плей хотя бы одной промышленной залежи [Роуз Питер, 2011].

*Вероятность неудачи плей* - вероятность *непродуктивности плей* ( $Q_{\text{плей}} = 0$ ). Непродуктивность плей определяется отсутствием в плее промышленных залежей.

Вероятности  $R_{\text{усп}}^{\text{плей}}$  и  $R_{\text{неуд}}^{\text{плей}}$  являются взаимно дополнительными и удовлетворяют условию:

$$(R_{\text{усп}}^{\text{плей}} + R_{\text{неуд}}^{\text{плей}}) = 1, \quad R_{\text{неуд}}^{\text{плей}} = (1 - R_{\text{усп}}^{\text{плей}}) \quad (6).$$

Вероятность успеха плей  $R_{\text{усп}}^{\text{плей}}$  определяется двумя компонентами:

а) вероятностью наличия в плее региональных геологических признаков, благоприятствующих образованию на его площади скоплений углеводородов -  $R_{\text{рег}}^{\text{плей}}$ ;

б) вероятностью наличия в ловушках плей локальных геологических признаков, которые, при наличии региональных геологических признаков, создают предпосылки для образования в ловушках плей залежей -  $R_{\text{лок}}^{\text{лов}}$ .

Разделение геологических признаков на региональные и локальные и схема вычисления вероятностей  $R_{\text{рег}}^{\text{плей}}$  и  $R_{\text{лок}}^{\text{лов}}$  приведены в табл. 1.

Вероятностный характер условий реализации локальных геологических признаков в ловушках плей, определяемый вероятностью  $R_{\text{лок}}^{\text{лов}}$ , обуславливает вероятностный характер

наличия в плее хотя бы одной промышленной залежи, т.е. вероятностный характер продуктивности плеев.

Таблица 1

Схема получения вероятностей  $P_{\text{рег}}$  и  $P_{\text{лок}}$  ([Роуз Питер, 2011] с изменениями)

Региональные признаки		Локальные признаки	
Вероятность наличия региональных признаков		Вероятность наличия локальных признаков	
$P_{\text{рег},1}$	УВ МАТЕРИНСКИЕ ПОРОДЫ		
$P_{\text{рег},2}$	МИГРАЦИЯ УВ		
$P_{\text{рег},3}$	КОЛЛЕКТОРЫ		
	ЛОВУШКИ		$P_{\text{лок},4}$
	ЗАПОЛНЕНИЕ И СОХРАНЕНИЕ		$P_{\text{лок},5}$
<b>ОЦЕНКА ВЕРОЯТНОСТИ НАЛИЧИЯ РЕГИОНАЛЬНЫХ ПРИЗНАКОВ</b>			
$P_{\text{рег}}^{\text{плей}} = P_{\text{рег},1} \cdot P_{\text{рег},2} \cdot P_{\text{рег},3}$			
<b>ОЦЕНКА ВЕРОЯТНОСТИ НАЛИЧИЯ ЛОКАЛЬНЫХ ПРИЗНАКОВ</b>			
$P_{\text{лок}}^{\text{лов}} = P_{\text{лок},4} \cdot P_{\text{лок},5}$			

Выражение «наличие в плее хотя бы одной промышленной залежи» с математической точки зрения означает *случайное событие*, состоящее в наличии в ловушках плеев либо одной, либо двух, ..., либо  $N_{\text{лов}}$  залежей, либо любого их сочетания [Вентцель, Овчаров, 2000]. Вероятность этого события обозначается  $P_{\text{плей}}^{\text{зал}}$ .

Вероятность успеха плеев  $P_{\text{усп}}^{\text{плей}}$ , как вероятность реализации двух независимых случайных событий – наличия в плее региональных геологических признаков и наличия в плее хотя бы одной промышленной залежи - вычисляется по формуле [Роуз Питер, 2011]:

$$P_{\text{усп}}^{\text{плей}} = P_{\text{рег}}^{\text{плей}} \cdot P_{\text{плей}}^{\text{зал}}, \quad P_{\text{неуд}}^{\text{плей}} = 1 - P_{\text{усп}}^{\text{плей}} \quad (7).$$

При оценивании плеев компонента  $P_{\text{рег}}^{\text{плей}}$  задается в исходных данных как вероятностная характеристика условий существования плеев; способ ее вычисления приведен в табл. 1.

Компонента  $P_{\text{плей}}^{\text{зал}}$  является производной от вероятности  $P_{\text{лок}}^{\text{лов}}$ , поскольку условие наличия в ловушках плеев хотя бы одной промышленной залежи определяется вероятностным характером наличия в ловушках плеев локальных геологических признаков.

Вероятность  $P_{\text{плей}}^{\text{зал}}$  вычисляется по формуле [Роуз Питер, 2011]:

$$P_{\text{плей}}^{\text{зал}} = [1 - (1 - P_{\text{лок}}^{\text{лов}})^{N_{\text{лов}}}] \quad (8),$$

где  $N_{\text{лов}}$  - число ловушек в плее.

#### *Вероятностная оценка ресурсов плеев*

Вероятностная оценка ресурсов плеев представляет собой *вероятностную оценку суммы геологических или извлекаемых запасов в залежах плеев в случае его продуктивности*.

Вероятностная оценка ресурсов пляя представлена функцией плотности вероятностей  $f(Q_{\text{плей}})$  и функцией кумулятивной вероятности  $F(Q_{\text{плей}})$ .

Функции распределения вероятностей  $f(Q_{\text{плей}})$  и  $F(Q_{\text{плей}})$  характеризуются математическим ожиданием (средним значением)  $m_{Q_{\text{плей}}}$  и дисперсией  $\sigma_{Q_{\text{плей}}}^2$ :

$$f(Q_{\text{плей}}) = f(m_{Q_{\text{плей}}}, \sigma_{Q_{\text{плей}}}^2), F(Q_{\text{плей}}) = F(m_{Q_{\text{плей}}}, \sigma_{Q_{\text{плей}}}^2) \quad (9).$$

Вид и параметры вероятностной оценки ресурсов пляя -  $f(Q_{\text{плей}})$  и  $F(Q_{\text{плей}})$  – определяются вероятностными характеристиками суммируемых вероятностных оценок ресурсов ловушек – геологическим риском ловушек  $R_{\text{риск}}^{\text{лов}i}$  и вероятностной оценкой ресурсов ловушки  $f(Q_{\text{лов}i})$  и  $F(Q_{\text{лов}i})$ ,  $i = 1, \dots, N_{\text{лов}}$ .

В статье предлагается *аналитический метод получения вероятностной оценки ресурсов пляя*.

Задача решается при следующих условиях:

1. Задано прогнозное число ловушек пляя  $N_{\text{лов}}$ .
2. Заданы вероятностные оценки ресурсов ловушек пляя, представленные для всех ловушек пляя одинаковыми функциями распределения  $F(Q_{\text{лов}})$  и  $f(Q_{\text{лов}})$ ; функции  $F(Q_{\text{лов}})$  и  $f(Q_{\text{лов}})$  характеризуются *логнормальным законом*.
3. Задан геологический риск ловушек пляя, представленный одной для всех ловушек функцией риска:

$$R_{\text{риск}}^{\text{лов}} = (R_{\text{усп}}^{\text{лов}}, R_{\text{неуд}}^{\text{лов}}) \quad (10),$$

где  $R_{\text{усп}}^{\text{лов}} = R_{\text{лок}}^{\text{лов}}$ ,  $R_{\text{неуд}}^{\text{лов}} = (1 - R_{\text{лок}}^{\text{лов}})$ .

Рассматриваются две модификации суммирования вероятностных оценок ресурсов ловушек:

- суммирование вероятностных оценок ресурсов ловушек без учета геологического риска;
- суммирование вероятностных оценок ресурсов ловушек с учетом геологического риска.

*Суммирование вероятностных оценок ресурсов ловушек без учета геологического риска*

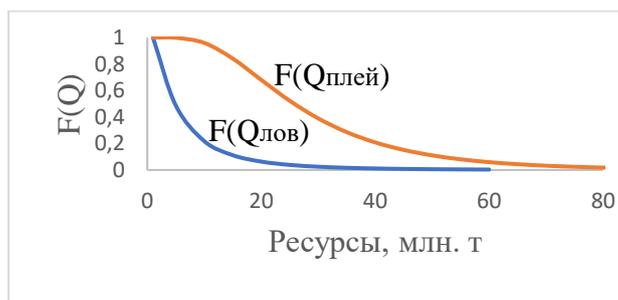
Суммирование вероятностных оценок ресурсов ловушек без учета геологического риска производится по правилам суммирования независимых случайных величин. При принятии для функций  $f(Q_{\text{лов}})$  и  $F(Q_{\text{лов}})$  логнормального закона распределения функции  $f(Q_{\text{плей}})$  и  $F(Q_{\text{плей}})$  будут логнормальными, стремящимися, согласно Центральной предельной теореме, к нормальному закону при увеличении числа суммируемых оценок ресурсов ловушек [Роуз Питер, 2011].

При отсутствии статистической зависимости между суммируемыми оценками ресурсов

ловушек математическое ожидание ( $m_{Q_{\text{плея}}}$ ) и дисперсия ( $\sigma_{Q_{\text{плея}}}^2$ ) вероятностной оценки ресурсов плея  $f(Q_{\text{плея}})$  и  $F(Q_{\text{плея}})$ , в соответствии с теоремой сложения математических ожиданий и дисперсий, определяются по формулам:

$$m_{Q_{\text{плея}}} = N_{\text{лов}} \cdot m_{Q_{\text{лов}}}, \sigma_{Q_{\text{плея}}}^2 = N_{\text{лов}} \cdot \sigma_{Q_{\text{лов}}}^2 \quad (11).$$

Ниже приведен условный пример результатов суммирования вероятностных оценок ресурсов четырех ловушек (рис. 3).



**Рис. 3. Графики функций вероятностных оценок ресурсов ловушки  $F(Q_{\text{лов}})$  и плея  $F(Q_{\text{плея}})$**

Для функции вероятностной оценки ресурсов плея  $F(Q_{\text{плея}})$ , как для функции стандартного вида (логнормальной или нормальной), с использованием программы Microsoft Excel можно определить значения квантилей  $Q_{\text{плея}}^{90}$ ,  $Q_{\text{плея}}^{50}$ ,  $Q_{\text{плея}}^{10}$ .

Вероятностная оценка ресурсов плея  $F(Q_{\text{плея}})$ , вычисленная без учета геологического риска ловушек, представляет собой вероятностную оценку суммарных ресурсов залежей в предположении наличия их *во всех ловушках плея*. Такая оценка ресурсов плея обычно используется при анализе объема ресурсов нефти и газа в недрах.

#### *Суммирование вероятностных оценок ресурсов ловушек с учетом геологического риска*

Вероятностная оценка ресурсов плея, полученная методом суммирования вероятностных оценок ресурсов ловушек с учетом геологического риска, представляет собой вероятностную оценку суммарных ресурсов нефти и газа в залежах плея, которые могут быть открыты в предположении, что для каждой ловушки плея существует ненулевая вероятность того, что ловушка может оказаться непродуктивной ( $Q_{\text{лов}} = 0$ ). Последнее условие отражает процедуру учета геологического риска ловушек при суммировании вероятностных оценок их ресурсов.

Метод состоит из двух математических процедур:

- процедуры суммирования вероятностных оценок ресурсов ловушек при учете геологического риска, которая приводит к получению вероятностной оценки суммарной величины ресурсов, характеризующейся функциями распределения вероятностей  $F(Q_{\Sigma})$  и  $f(Q_{\Sigma})$ ;

- процедуры нормирования функций  $F(Q_\Sigma)$  и  $f(Q_\Sigma)$  с целью получения вероятностных оценок ресурсов плеча  $F(Q_{\text{плей}})$  и  $f(Q_{\text{плей}})$ .

*Получение функций  $F(Q_\Sigma)$  и  $f(Q_\Sigma)$*

В качестве базового алгоритма для получения функций  $F(Q_\Sigma)$  и  $f(Q_\Sigma)$  используется алгоритм для суммирования вероятностных оценок ресурсов ловушек с учетом геологического риска при *различных значениях суммируемых вероятностных оценок ресурсов ловушек и их геологических рисков* [Емельянова, Пороскун, 2019].

Адаптация алгоритма суммирования к условиям плеча производится путем замены в нем вероятностных показателей ловушек (вероятностных оценок ресурсов и геологических рисков) с переменных значений на постоянные, усредненные для плеча, значения [Емельянова, Пороскун, 2019]. Результат такого преобразования алгоритма суммирования вероятностных оценок ресурсов ловушек сводится к уравнениям:

$$F(Q_\Sigma) = \begin{cases} \sum_n P_n + P_0 = 1 & \text{при } Q_\Sigma = 0 \\ \sum_n P_n \cdot F(Q_n) & \text{при } Q_\Sigma > 0 \end{cases} \quad (12).$$

$$f(Q_\Sigma) = \begin{cases} P_0 & \text{при } Q_\Sigma = 0 \\ \sum_n P_n \cdot f(Q_n) & \text{при } Q_\Sigma > 0 \end{cases}$$

В формуле (12) индекс «n» регулирует возможное, с учетом геологического риска, число успешных (содержащих промышленные залежи) ловушек в плече,  $n = 1, \dots, N_{\text{лов}}$ . Коэффициентом  $P_n$  обозначена вероятность наличия залежей в «n» ловушках плеча. Вероятность  $P_n$  определяется по функции биномиального распределения вероятностей числа залежей:

$$P_n = C_{N_{\text{лов}}}^n (P_{\text{лок}}^{\text{лов}})^n (1 - P_{\text{лок}}^{\text{лов}})^{N_{\text{лов}} - n}, \quad n = 1, \dots, N_{\text{лов}} \quad (13).$$

Функции  $F(Q_n)$  и  $f(Q_n)$  представляют собой вероятностные оценки суммарных ресурсов «n» залежей, определенных путем суммирования вероятностных оценок ресурсов ловушек без учета геологического риска. Вид этих функций, как сказано выше, соответствует логнормальному или нормальному законам распределения. Параметры функций  $F(Q_n)$  и  $f(Q_n)$  (математическое ожидание  $m_n$  и дисперсия  $\sigma_n^2$ ) вычисляются по формулам:

$$m_n = n \cdot m_{Q_{\text{лов}}}, \quad \sigma_n^2 = n \cdot \sigma_{Q_{\text{лов}}}^2, \quad n = 1, \dots, N_{\text{лов}} \quad (14).$$

Из формулы (12) следует, что функции  $F(Q_\Sigma)$  и  $f(Q_\Sigma)$  являются функциями смешанного дискретно-непрерывного типа: дискретная компонента этих функций представлена парой «значение  $Q_\Sigma = 0$ , вероятность этого значения  $P_0$ »; непрерывная компонента этих функций представлена функциями, полученными как результат суммирования взвешенных по

вероятностям  $P_n$  функций  $F(Q_n)$  и  $f(Q_n)$ , ( $\sum_n P_n \cdot F(Q_n)$  и  $\sum_n P_n \cdot f(Q_n)$ ).

Ситуация, при которой суммарная величина ресурсов будет равна нулю ( $Q_\Sigma = 0$ ), соответствует условию непродуктивности плеля. Ситуация, при которой суммарная величина ресурсов будет больше нуля ( $Q_\Sigma > 0$ ), - условию продуктивности плеля. Эти ситуации характеризуются вероятностями:

- ситуация непродуктивности плеля – вероятностью отсутствия залежей во всех ловушках плеля  $P_0$ ; вероятность  $P_0$  определяется по формуле:

$$P_0 = (1 - P_{\text{лок}}^{\text{лов}})^{N_{\text{лов}}} \quad (15),$$

- ситуация продуктивности плеля – вероятностью наличия в плее хотя бы одной залежи  $P_{\text{плей}}^{\text{зал}}$ ; вероятность  $P_{\text{плей}}^{\text{зал}}$  определяется по формуле:

$$P_{\text{плей}}^{\text{зал}} = [1 - (1 - P_{\text{лок}}^{\text{лов}})^{N_{\text{лов}}}] \quad (16).$$

В уравнении (16) вероятности  $P_{\text{плей}}^{\text{зал}}$  соответствует сумма  $\sum_n P_n$ ,  $n = 1, \dots, N_{\text{лов}}$ , т.е.:

$$P_{\text{плей}}^{\text{зал}} = \sum_n P_n, n = 1, \dots, N_{\text{лов}} \quad (17).$$

#### *Нормирование функций $F(Q_\Sigma)$ и $f(Q_\Sigma)$*

Вероятностная оценка ресурсов плеля, полученная методом суммирования вероятностных оценок ресурсов ловушек с учетом их геологического риска и представленная функциями  $F(Q_\Sigma)$  и  $f(Q_\Sigma)$  (12), соответствует полному описанию распределения ресурсов плеля, когда ситуации продуктивности плеля ( $Q_\Sigma > 0$ ) и непродуктивности плеля ( $Q_\Sigma = 0$ ) рассматриваются совместно.

По требованиям к вероятностной оценке ресурсов плеля она должна соответствовать условию продуктивности плеля, при исключении из рассмотрения ситуации непродуктивности плеля. Исключение ситуации непродуктивности плеля из уравнений (12) производится путем нормирования функций  $F(Q_\Sigma)$  и  $f(Q_\Sigma)$  вероятностью  $P_{\text{плей}}^{\text{зал}}$ .

Нормирование функций  $F(Q_\Sigma)$  и  $f(Q_\Sigma)$  осуществляется путем корректировки коэффициентов  $P_n$  в уравнениях (12) по формуле:

$$P_n^{\text{норм}} = (P_n / P_{\text{плей}}^{\text{зал}}), n = 1, \dots, N_{\text{лов}} \quad (18).$$

Результатом такой математической операции является получение нормированных функций  $F(Q_\Sigma)_{\text{норм}}$  и  $f(Q_\Sigma)_{\text{норм}}$ :

$$F(Q_\Sigma)_{\text{норм}} = \sum_n P_n^{\text{норм}} \cdot F(Q_n), n = 1, \dots, N_{\text{лов}} \text{ при } Q_\Sigma > 0 \quad (19).$$

$$f(Q_\Sigma)_{\text{норм}} = \sum_n P_n^{\text{норм}} \cdot f(Q_n), n = 1, \dots, N_{\text{лов}} \text{ при } Q_\Sigma > 0$$

Нормированные функции  $F(Q_\Sigma)_{\text{норм}}$  и  $f(Q_\Sigma)_{\text{норм}}$  принимаются в качестве вероятностной оценки ресурсов плеля в случае его продуктивности  $F(Q_{\text{плей}})$  и  $f(Q_{\text{плей}})$ :

$$F(Q_{\text{плей}}) = \sum_n P_n^{\text{норм}} \cdot F(Q_n), n = 1, \dots, N_{\text{лов}} \text{ при } Q_{\Sigma} > 0 \quad (20).$$

$$f(Q_{\text{плей}}) = \sum_n P_n^{\text{норм}} \cdot f(Q_n), n = 1, \dots, N_{\text{лов}} \text{ при } Q_{\Sigma} > 0$$

Соотношение функций  $F(Q_{\Sigma})$  и  $f(Q_{\Sigma})$  и функций  $F(Q_{\text{плей}})$  и  $f(Q_{\text{плей}})$  представлено на рис. 4 иллюстративными графиками.

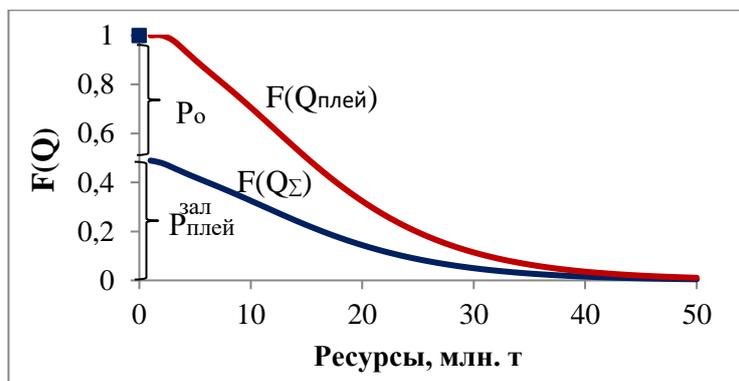


Рис. 4. Графики функций  $F(Q_{\Sigma})$  и  $F(Q_{\text{плей}})$

#### Вероятностная оценка показателей эффективности освоения плеля

Для оценки экономической эффективности освоения плеев используют показатели, традиционно применяемые для определения эффективности инвестиционных проектов<sup>5</sup>:

- чистый дисконтированный доход – ЧДД (NPV – Net Present Value);
- ожидаемая денежная стоимость – ОДС (EMV – Expected Monetary Value).

Вероятностная оценка ЧДД плеля представляет собой функцию распределения вероятностей величины ЧДД плеля ( $F(\text{ЧДД}_{\text{плей}})$ ,  $f(\text{ЧДД}_{\text{плей}})$ ), который прогнозируется для плеля в случае его продуктивности.

Вероятностная оценка ЧДД плеля отражает результат преобразования вероятностной оценки ресурсов плеля, заданной функциями  $F(Q_{\text{плей}})$  и  $f(Q_{\text{плей}})$  (20), в экономический показатель (ЧДД). Для такого преобразования общепринято использовать *сценарный подход* с формированием сценариев геологического моделирования и экономического расчета на основании трех дискретных значений оценки ресурсов, заданных квантилями  $Q_{\text{плей}}^{90}$ ,  $Q_{\text{плей}}^{50}$ ,  $Q_{\text{плей}}^{10}$  (рис. 5).

Для задания вероятностей сценариев пользуются значениями вероятностей из правила Свенсона для подсчета среднего значения умеренно скошенных распределений (Swanson's

<sup>5</sup> Методическое руководство по количественной и экономической оценке ресурсов нефти, газа и конденсата России. Утверждено Научным Советом по совершенствованию количественной и экономической оценки ресурсов нефти, газа и конденсата 16 июня 2000 г.

rule mean) [Megill, 1984]:

- **0,3** для квантиля  $Q_{\text{плей}}^{90}$ ,
- **0,4** для квантиля  $Q_{\text{плей}}^{50}$ ,
- **0,3** для квантиля  $Q_{\text{плей}}^{10}$ .

Следует отметить, что как значения квантилей  $Q_{\text{плей}}^{90}$ ,  $Q_{\text{плей}}^{50}$ ,  $Q_{\text{плей}}^{10}$ , так и значения вероятностей (**0,3**; **0,4**; **0,3**) имеют адекватную вероятностную интерпретацию для стандартных функций распределения  $F(Q_{\text{плей}})$  - нормальной и логнормальной.

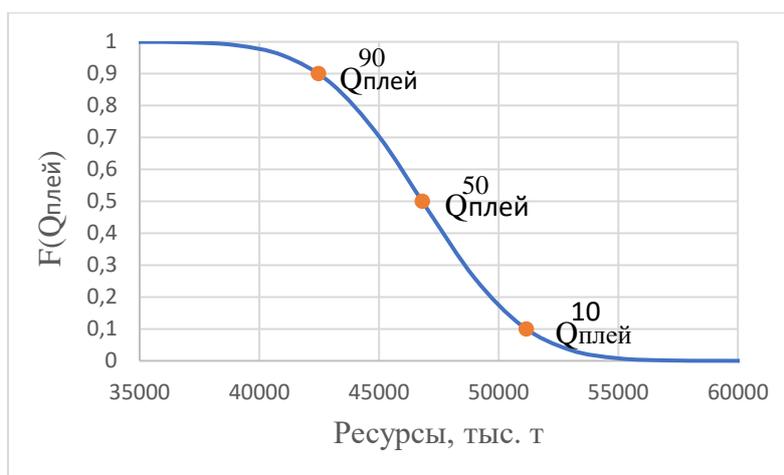


Рис. 5. Кривая вероятностной оценки ресурсов плея с указанием квантилей  $Q_{\text{плей}}^{90}$ ,  $Q_{\text{плей}}^{50}$ ,  $Q_{\text{плей}}^{10}$

Непосредственное использование графика функции  $F(Q_{\text{плей}})$ , полученной по методу суммирования вероятностных оценок ресурсов ловушек с учетом геологического риска, для вычисления значений ЧДД по сценариям, соответствующим квантилям  $Q_{\text{плей}}^{90}$ ,  $Q_{\text{плей}}^{50}$ ,  $Q_{\text{плей}}^{10}$ , затруднительно в силу *нестандартности* суммарной функции распределения  $F(Q_{\text{плей}})$  (уравнение (20)).

Для корректной математической формализации сценарного подхода для плея целесообразно перейти к применению метода сценариев к составляющим уравнения (20) - стандартным функциям  $F(Q_n)$ ,  $n = 1, \dots, N_{\text{лов}}$  с последующим суммированием полученных результатов.

Дерево решений вероятностной методики экономической оценки плея изображено на рис. 6.

Дерево решений на рис. 6 можно представить тремя блоками. В первом блоке приведена графическая схема расчетного уравнения вероятностной оценки ресурсов плея  $F(Q_{\text{плей}})$ : стрелки на схеме соответствуют вероятностям  $P_n^{\text{норм}}$ , с которыми могут реализоваться в плее  $n$  залежей с суммарными ресурсами  $Q_n$ , заданными вероятностными оценками  $F(Q_n)$ ,  $n = 1,$

...,  $N_{\text{лов}}$ . Во втором блоке показана схема применения метода сценариев к вероятностным оценкам ресурсов  $F(Q_n)$ ,  $n = 1, \dots, N_{\text{лов}}$ : стрелки на схеме соответствуют вероятностям дискретизации функций  $F(Q_n)$  по квантилям  $Q_n^{90}$ ,  $Q_n^{50}$ ,  $Q_n^{10}$ ,  $n = 1, \dots, N_{\text{лов}}$ . В третьем блоке представлена функция распределения вероятностей возможных значений ЧДД плeya в случае его продуктивности.

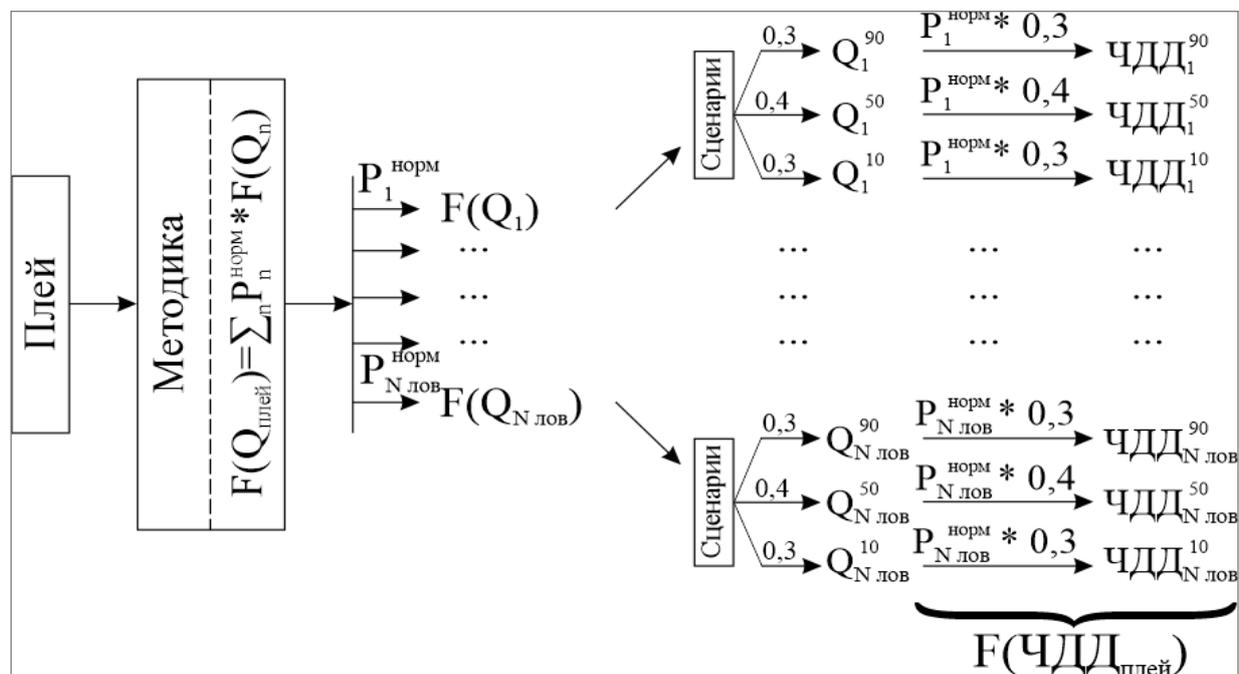


Рис. 6. Дерево решений вероятностной методики экономической оценки плeya

Выходами дерева решений являются:

- дискретные значения ЧДД ловушек  $\text{ЧДД}_n^{90}$ ,  $\text{ЧДД}_n^{50}$ ,  $\text{ЧДД}_n^{10}$ , рассчитанные в соответствии с методом сценариев для квантилей  $Q_n^{90}$ ,  $Q_n^{50}$ ,  $Q_n^{10}$  функций  $F(Q_n)$ ,  $n = 1, \dots, N_{\text{лов}}$ ; стрелками обозначены вероятности реализации соответствующих значений  $\text{ЧДД}_n^{90}$ ,  $\text{ЧДД}_n^{50}$ ,  $\text{ЧДД}_n^{10}$ ,  $n = 1, \dots, N_{\text{лов}}$ .

Последние два столбика на схеме третьего блока отражают функцию распределения вероятностей ЧДД плeya, представленную дискретными значениями  $\text{ЧДД}_n^{90}$ ,  $\text{ЧДД}_n^{50}$ ,  $\text{ЧДД}_n^{10}$ ,  $n = 1, \dots, N_{\text{лов}}$ . По этим дискретным значениям можно вычислить непрерывную вероятностную оценку ЧДД плeya обоих видов – плотности вероятности  $f(\text{ЧДД}_{\text{плей}})$  и кумулятивной вероятности  $F(\text{ЧДД}_{\text{плей}})$ .

Наличие вероятностной оценки ЧДД плeya позволяет вычислить математическое ожидание (среднее значение) ЧДД плeya -  $m_{\text{ЧДД}}^{\text{плей}}$  в случае его продуктивности. На этой же стадии исследования определяется величина рискованного капитала  $K_{\text{риск}}$  – невозполнимых затрат в случае непродуктивности плeya.

По известным значениям показателей  $m_{\text{ЧДД}}^{\text{плей}}$  и  $K_{\text{риск}}$  и вероятностей продуктивности (удачи  $R_{\text{усп}}^{\text{плей}}$ ) и непродуктивности (неудачи  $R_{\text{неуд}}^{\text{плей}}$ ) плеча можно вычислить оценку ОДС плеча  $\text{ОДС}_{\text{плей}}$  (EMV) [Роуз Питер, 2011]:

$$\text{ОДС}_{\text{плей}} = R_{\text{усп}}^{\text{плей}} \cdot m_{\text{ЧДД}}^{\text{плей}} - R_{\text{неуд}}^{\text{плей}} \cdot K_{\text{риск}} \quad (21).$$

### Заключение

Предложена методика определения вероятностных характеристик плеча, используемых для оценки его геолого-экономической значимости на поисково-оценочном этапе ГРП:

- ресурсов в случае продуктивности плеча;
- геологического риска плеча.

Методика определения вероятностной оценки ресурсов плеча базируется на аналитическом методе суммирования вероятностных оценок ресурсов ловушек плеча.

Рассмотрены две модификации аналитического суммирования вероятностных оценок ресурсов ловушек:

- суммирование вероятностных оценок ресурсов ловушек без учета геологического риска; полученная вероятностная оценка ресурсов плеча соответствует условию наличия залежей во всех ловушках плеча;
- суммирование вероятностных оценок ресурсов ловушек плеча с учетом геологического риска; полученная вероятностная оценка ресурсов плеча соответствует условию его продуктивности, под которым понимается наличие в ловушках плеча хотя бы одной промышленной залежи.

Получены формулы для вычисления вероятностных оценок ресурсов плеча для двух указанных модификаций.

Показано, что структура вероятностных оценок ресурсов плеча обеих модификаций позволяет применить к ним вероятностно-сценарный подход при оценке экономических показателей освоения плеча.

Приведены формулы вычисления компонент геологического риска плеча – вероятности успеха плеча и вероятности неудачи плеча.

### Литература

Введение в нефтегазовую ресурсологию / Н.А. Крылов; под ред. М.Я. Зыкина; ОАО «Газпром», ООО «Науч.-исслед. ин-т природных газов и газовых технологий - ВНИИГАЗ». - Москва: ВНИИГАЗ, 2009. - 99 с.

*Вентцель Е.С., Овчаров Л.А.* Теория вероятностей и ее инженерные приложения.

Учебное пособие для вузов. - 2-е изд., стер. - Москва: Высш. шк., 2000. - 480 с.

Геология, поиски и разведка нефтяных и газовых месторождений: учебник для студентов нефтяных техникумов и колледжей / Г.А. Габриэлянц. - Москва: Недра, 2000. – 586 с.

*Емельянова Н.М., Пороскун В.И.* Геолого-экономическая оценка и анализ рисков плеев // Нефтегазовая геология. Теория и практика. - 2018. - Т.13. - №2. - [http://www.ngtp.ru/rub/3/18\\_2018.pdf](http://www.ngtp.ru/rub/3/18_2018.pdf) DOI: [10.17353/2070-5379/18\\_2018](https://doi.org/10.17353/2070-5379/18_2018)

*Емельянова Н.М., Пороскун В.И.* Методы геолого-экономической оценки объектов поиска месторождений нефти и газа с учетом неопределенности и риска // Недропользование XXI век. - 2016. - №5 (62). - С. 190-201.

*Емельянова Н.М., Пороскун В.И.* Суммирование вероятностных оценок ресурсов нефти и газа локальных объектов с учетом геологического риска // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. - 2019. - №2. - С. 30-38.

*Крылов Н.А., Кучера М.С.* О корректном применении понятия «плей» и «направление геологоразведочных работ» // Геология нефти и газа. - 2010. - №6. - С.4-9.

*Роуз Питер Р.* Анализ рисков и управление нефтегазопроисковыми проектами. - Библиотека нефтяного инжиниринга. - М.: Ижевск, 2011. - 301 с.

*Megill R.E.* An Introduction to risk analysis: second edition. Tulsa, OK: Petroleum Pub. Co., 1977. - 274 p.

The CCOP guidelines for risk assessment of petroleum prospects: Bangkok, Thailand, Coordinating Committee for Coastal and Offshore Geoscience Programme in East and Southeast Asia, 2000. - 35 p. - <http://www.ccop.or.th/ppm/document/INWSI/INWSIDOCII-caluyng.pdf>

*This is an open access article under the CC BY 4.0 license*

Received 28.10.2024

Published 29.01.2025

**Emelyanova N.M., Poroskun V.I.**

Russian Research Geological Petroleum Institute (FGBU "VNIGNI"), Moscow, Russia, emel@vnigni.ru, poroskun@vnigni.ru

## METHOD OF PROBABILISTIC ASSESSMENT OF GEOLOGICAL-ECONOMICAL INDICATORS FOR PLAYS AT THE EXPLORATION APPRAISAL PHASE

*The article considers the method of determining the probabilistic characteristics of the play used in the design of exploration work: resources in case of its productivity; geological risk. The methodology is based on the analytical method for summing up probabilistic estimates of play trap resources without and taking into account geological risk. Formulas for probabilistic estimates of play resources for two specified modifications are obtained. It is shown that the structure of probabilistic estimates of play resources of both modifications allows us to apply a probabilistic scenario approach to them when assessing the economic indicators of play development. Formulas for calculating the components of the geological risk of the play are given - the probability of success of the play and the probability of failure of the play.*

**Keywords:** *probabilistic estimate of play geological-economic indicators, play geological risk, summing up probabilistic assessments of trap resources.*

---

**For citation:** Emelyanova N.M., Poroskun V.I. Metodika veroyatnostnoy otsenki geologo-ekonomicheskikh pokazateley pleev na poiskovo-otsenochnom etape geologorazvedochnykh rabot [Method of probabilistic assessment of geological-economical indicators for plays at the exploration appraisal phase]. *Neftegazovaya Geologiya. Teoriya i Praktika*, 2025, vol. 20, no. 1, available at: [https://www.ngtp.ru/rub/2025/4\\_2025.html](https://www.ngtp.ru/rub/2025/4_2025.html) EDN: QVGQOY

---

### References

Emelyanova N.M., Poroskun V.I. Geologo-ekonomicheskaya otsenka i analiz riskov pleev [Geological-economical evaluation and analysis of plays risks]. *Neftegazovaya Geologiya. Teoriya i Praktika*, 2018, vol. 13, no. 2, available at: [http://www.ngtp.ru/rub/3/18\\_2018.pdf](http://www.ngtp.ru/rub/3/18_2018.pdf) (In Russ.). DOI: [10.17353/2070-5379/18\\_2018](https://doi.org/10.17353/2070-5379/18_2018)

Emel'yanova N.M., Poroskun V.I. Metody geologo-ekonomicheskoy otsenki ob"ektov poiska mestorozhdeniy nefti i gaza s uchetom neopredelennosti i riska [Methods of geological and economic assessment of oil and gas exploration sites, taking into account uncertainty and risk]. *Nedropol'zovanie XXI vek*, 2016, no. 5 (62), pp. 190-201. (In Russ.).

Emel'yanova N.M., Poroskun V.I. Summirovaniye veroyatnostnykh otsenok resursov nefti i gaza lokal'nykh ob"ektov s uchetom geologicheskogo riska [Summation of probabilistic estimates of oil and gas resources of local objects taking into account geological risk]. *Geologiya, geofizika i razrabotka neftyanykh i gazovykh mestorozhdeniy*, 2019, no. 2, pp. 30-38. (In Russ.).

*Geologiya, poiski i razvedka neftyanykh i gazovykh mestorozhdeniy: uchebnik dlya studentov neftyanykh tekhnikumov i kolledzhey* [Geology, prospecting and exploration of oil and gas fields: a textbook for students of petroleum technical schools and colleges]. G.A. Gabrielyants. Moscow: Nedra, 2000, 586 p. (In Russ.).

Krylov N.A., Kucherya M.S. O korrektnom primenenii ponyatiya "pley" i "napravlenie geologorazvedochnykh rabot" [On the correct application of the concepts of "play" and "direction of geological exploration"]. *Geologiya nefti i gaza*, 2010, no. 6, pp. 4-9. (In Russ.).

Megill R.E. *An Introduction to risk analysis*: second edition. Tulsa, OK: Petroleum Pub. Co., 1977, 274 p.

Rouz Piter R. *Analiz riskov i upravlenie neftegazopoiskovymi proektami* [Risk analysis and management of oil and gas exploration projects]. Biblioteka neftyanogo inzhiniringa. Moscow: Izhevsk, 2011, 301 p. (In Russ.).

The CCOP guidelines for risk assessment of petroleum prospects. Bangkok, Thailand, *Coordinating Committee for Coastal and Offshore Geoscience Programme in East and Southeast Asia*, 2000, 35 p., available at: <http://www.ccop.or.th/ppm/document/INWSI/INWSIDOCII-caluyng.pdf>

Venttsel' E.S., Ovcharov L.A. *Teoriya veroyatnostey i ee inzhenernye prilozheniya. Uchebnoe posobie dlya vtuzov* [Probability theory and its engineering applications. Textbook for higher education institutions]. 2-e izd., ster. Moscow: Vyssh. shk., 2000, 480 p. (In Russ.).

*Vvedenie v neftegazovuyu resursologiyu* [Introduction to oil and gas resource management]. N.A. Krylov; ed. M.Ya. Zykina; OAO «Gazprom», OOO «Nauch.-issled. in-t prirodnykh gazov i gazovykh tekhnologiy VNIIGAZ». Moscow: VNIIGAZ, 2009, 99 p. (In Russ.).