

DOI: [https://doi.org/10.17353/2070-5379/18\\_2018](https://doi.org/10.17353/2070-5379/18_2018)

УДК 553.98.048.003.1

**Емельянова Н.М., Пороскун В.И.**Федеральное государственное бюджетное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский геологический нефтяной институт» (ФГБУ «ВНИГНИ»), Москва, Россия, [skaa@yandex.ru](mailto:skaa@yandex.ru), [poroskun@vnigni.ru](mailto:poroskun@vnigni.ru)

## ГЕОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА И АНАЛИЗ РИСКОВ ПЛЕЕВ

*В настоящее время понятие «плей» широко используется как в зарубежной, так и в отечественной практике геологоразведочных работ на нефть и газ. В иерархии объектов геологических исследований плей занимает промежуточное положение между локальными и региональными объектами, что определяет его двойственный характер: с одной стороны, это группа локальных объектов, характеризующаяся геологической и статистической однородностью, что создает возможность оценивать их геолого-экономические показатели вероятностно-статистическими методами, с другой стороны, это самостоятельный объект изучения и оценки в процессе проведения геологоразведочных работ.*

*Приведены основные положения логически упорядоченной методологии оценивания плев в условиях неопределенности и риска по материалам публикаций, представленных в англоязычных изданиях.*

*Введено понятие «геологический риск» применительно к плею. Получены вероятностные оценки геолого-экономических показателей без учета геологического риска (при условии продуктивности плея), и с учетом геологического риска (в предположении возможной непродуктивности плея).*

***Ключевые слова:** геологоразведочные работы на нефть и газ, геологический риск плея, методология учета неопределенности и геологического риска.*

### Введение

В настоящее время понятие «плей» (play) широко используется как в зарубежной, так и в отечественной практике геологоразведочных работ (ГРП) на нефть и газ [Крылов, 2009; Роуз Питер, 2011].

В англоязычной литературе плей определяется как «*группа геологически связанных месторождений, подготовленных к бурению и выявленных ловушек, имеющих общее геологическое происхождение и заполненных от одной материнской породы по нефти и газу, т.е. как семейство геологически похожих ловушек*» [Роуз Питер, 2011].

Общность геологических характеристик залежей (месторождений) и ловушек одного плея определяет *геологическую однородность* элементарных объектов плея. Известно, что месторождения нефти и газа, характеризующиеся общностью геологического происхождения, образуют обособленные группы, обычно на площадях с определенными геологическими условиями в географических границах единого географического пространства.

Геологическая однородность группы залежей (месторождений) и ловушек плея обуславливает *статистическую однородность* плея по геолого-экономическим показателям

этой группы объектов плеля. Статистическая однородность плеля проявляется в близости геолого-экономических показателей, характеризующих залежи (месторождения) одного плеля. Это позволяет при оценивании плеев:

а) характеризовать все ловушки плеля одной (усредненной) оценкой ресурсов (извлекаемых запасов нефти и газа в залежах при условии их наличия в ловушках);

б) характеризовать результаты бурения ловушек плеля одним значением коэффициента успешности;

в) при расчете стоимостных оценок ресурсов использовать усредненные экономические параметры для всех ловушек плеля; возможность принятия этого допущения обусловлена тем, что в пределах плеля, состоящего из однотипных залежей (месторождений), поиски и разведка ведутся по одной методике и сходным комплексом технических средств, которые требуют одинаковых финансовых затрат.

Перечисленные положения (а, б, в) создают предпосылки для математически корректного оценивания плеев в условиях неопределенности<sup>1</sup>.

В зарубежной практике геологоразведки понятие «плей» составляет основу плей – метода (метода однородных объектов) [Роуз Питер, 2011]. Сущность плей – метода состоит в том, что количественная оценка нефтегазоносности больших территорий, таких как провинция или бассейн, осуществляется путем разделения их на ряд более мелких, однородных по геолого-экономическим характеристикам, объектов (плеев) и суммирования результатов количественных оценок нефтегазоносности отдельных однородных объектов.

В российской терминологии англоязычному понятию «плей» соответствует понятие «направление ГРП» [Крылов, Кучеря, 2010]. Направление ГРП определяется как «совокупность однотипных месторождений (открытых и неоткрытых, или предполагаемых), поиски и разведка которых ведутся по единой методике и единым комплексом технических средств в одном нефтегазоносном комплексе в пределах одной тектонической зоны, включающей один или несколько смежных структурных элементов».

Полного соответствия между понятием «плей» и его российским аналогом «направление ГРП» нет. В определении понятия «направление ГРП» не акцентируется внимание на необходимости выполнения для группы включенных в него залежей (месторождений) условия

---

<sup>1</sup>**От редакции:** предложение авторов о статистической однородности геолого-экономических характеристик всех залежей плеля подходит для стадии поисков и разведки, так как стоимость бурения поисковой скважины для всех входящих в плей объектов действительно можно принять одинаковой, а для стадии разработки следует учитывать другие очень важные факторы, такие как продуктивность скважин, расстояние транспортировки, количество эксплуатационных скважин, площадь залежей и др., осреднение которых приведет к слишком загрубленным результатам геолого-экономической оценки, которые могут быть верны, как отмечено авторами, лишь «математически», но не экономически.

*статистической однородности* геолого-экономических характеристик – основного требования методологии плей – метода.

Из различий определений понятий «плей» и «направление ГРП», приведенных в [Крылов, Кучеря, 2010], выделим следующее: - «В цепочке процессов генерация – миграция – аккумуляция - дальнейшее разрушение залежей, т. е. процессов, определяющих создание плей, много неопределенности и практически нет возможности учесть все нюансы в каждом элементе и провести точные количественные расчеты».

Однако именно необходимость учета этой неопределенности в количественной форме для получения критериев принятия решений на ранних стадиях геологоразведки нефти и газа привела к разработке плей – метода. В отличие от других методов, с помощью плей – метода можно оценивать геологические риски при ведении поисковых работ и получать математически корректную геолого-экономическую оценку геологических объектов разного масштаба – ловушек, плей, бассейна, провинции.

В данной работе используется понятие «плей», определенное как совокупность ловушек и залежей (месторождений), характеризующаяся статистической однородностью геологических параметров, их определяющих.

Цель статьи состоит в том, чтобы систематизировать методологию применения плей - метода при ведении ГРП на нефть и газ, закрыв, по возможности «белые пятна», существующие в этой методологии.

В работе обобщены материалы публикаций, представленных в англоязычных научных изданиях. Необходимость проведения такого обобщения обусловлена тем, что:

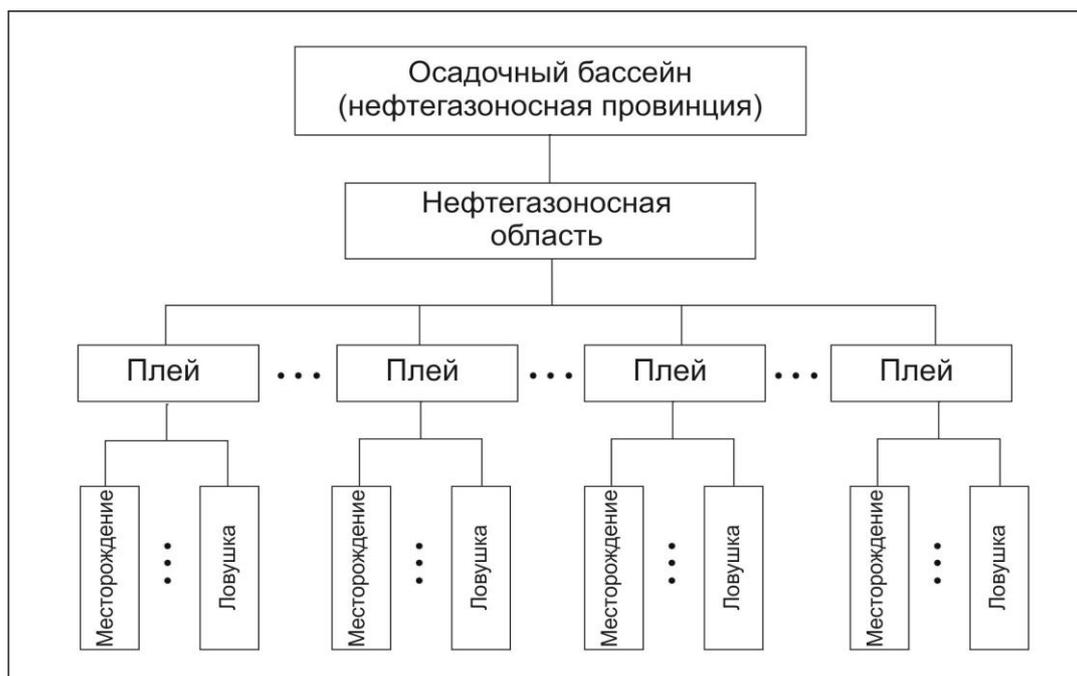
- а) целесообразность внедрения вероятностных методов в современную методологию геологоразведки является общепризнанной;
- б) анализ накопленного за рубежом опыта по этой теме будет полезен при внедрении вероятностных методов в методологию геологоразведки в России.

### **Место плеев в иерархии объектов исследования**

Структурированная схема стадийности геологоразведочного процесса определяет иерархичность последовательных этапов и стадий, в основу которой положен принцип иерархичности исследуемых на них объектов [Временное положение..., 2001]. Иерархия объектов исследования на последовательных этапах и стадиях геологоразведочного процесса представляет собой систему соподчиненности геологических тел различного масштаба (рис. 1).

В схеме соотношения объектов исследования разного масштаба (бассейн – область нефтегазонакопления – плей – ловушка) плей занимает промежуточное положение между

локальными объектами (ловушки) и региональным объектом (бассейн). Такое положение плея определяет его двойственное назначение. С одной стороны, смысл выделения плея состоит в обеспечении геологической и статистической однородности составляющей его группы локальных объектов – необходимого условия для возможности применения вероятностно-статистических методов в процессе оценивания. С другой стороны, плея является самостоятельным объектом оценки в иерархической схеме разномасштабных объектов исследования (см. рис. 1).



**Рис. 1. Схема иерархии объектов исследования на этапах и стадиях геологоразведочных работ на нефть и газ**

Плеи в пределах бассейна могут сильно различаться по геолого-экономической перспективности. Именно различие плеев по геолого-экономической перспективности обусловило развитие в зарубежной практике направления, базирующегося на первостепенном значении плея (play-based exploration) [Роуз Питер, 2011]. В соответствии с этим направлением в качестве базовой единицы геологоразведки принимаются не ловушки, а плеи. Вследствие несоизмеримо больших, по сравнению с ловушками, затрат (денежных, временных, людских и пр.), связанных с геологоразведкой плеев, наиболее трудной и критичной задачей является выбор плея для исследования, а не ловушки для бурения. Выбор бесперспективного плея приводит к значительно более серьезным потерям, чем выбор бесперспективной ловушки.

Задача выбора наиболее перспективного плея для проведения на нем дальнейших детальных исследований решается путем *ранжирования* плеев по их геолого-экономической

значимости. Характеристиками плеча, которые должны быть определены до начала поискового бурения, являются:

- оценка величины ресурсов нефти и газа плеча;
- оценка чистого дисконтированного дохода (ЧДД) для недропользователя от реализации продукции плеча при условии его продуктивности.

### **Базовые принципы методов выделения плечев**

Методы, применяемые для выделения плеча, базируются на следующих положениях, определяющих характерные особенности плеча как операционного объекта геологоразведки.

1. Плечев представляет собой географически и стратиграфически ограниченную область, характеризующуюся наличием общих геологических факторов, необходимых для образования однотипных скоплений нефти и газа. Такими факторами являются факторы, определяющие процесс *генерации, миграции, аккумуляции и сохранности углеводородов*.

2. Все залежи в границах плеча образуют одну природную совокупность, которая характеризуется свойственными только ей (в отличие от совокупностей залежей других плечев) распределениями геологических параметров (запасов, площадей залежей, средних значений эффективной толщины, пористости, нефте(газо)насыщенности и т.д.).

Методы выделения плеча основываются на процедурах, позволяющих удовлетворить этим требованиям. Здесь важно иметь в виду, что цель определения разных плечев бассейна – сгруппировать выявленные и подготовленные к бурению ловушки в группы, которые дают возможность произвести оценку их геолого-экономических показателей и организовать геологоразведочный процесс наилучшим образом.

### **Геологический риск плеча**

Особенность геолого-экономической оценки плеча состоит в необходимости априорного (до начала поискового бурения) учета неопределенности, связанной с условием продуктивности плеча.

Условие продуктивности плеча будем определять, как предложено в [Роуз Питер, 2011], наличием в плече хотя бы одной промышленной залежи (месторождения). Если в результате ГРП установлена продуктивность плеча, назовем это *успехом плеча*; если в результате ГРП установлена непродуктивность плеча (отсутствие промышленных залежей (месторождений) на площади плеча), назовем это *неудачей плеча*. Для формализации понятий «успех» и «неудача» плеча введем понятие *геологического риска плеча*, под которым будем понимать вероятностную характеристику неустановленного в момент оценивания плеча факта его продуктивности. Количественными измерителями геологического риска плеча примем *вероятность успеха плеча*

$P_{\text{усп}}^{\text{плей}}$  и вероятность неудачи плея  $P_{\text{неуд}}^{\text{плей}}$  при условии  $(P_{\text{усп}}^{\text{плей}} + P_{\text{неуд}}^{\text{плей}}) = 1$ .

Вероятность успеха плея  $P_{\text{усп}}^{\text{плей}}$  определяется двумя факторами - вероятностью наличия в плее региональных геологических признаков, благоприятствующих образованию на его площади залежей нефти и газа,  $P_{\text{рег}}$  и вероятностью существования в плее хотя бы одной промышленной залежи. Вероятность успеха плея вычисляется по формуле [Роуз Питер, 2011]:

$$P_{\text{усп}}^{\text{плей}} = P_{\text{рег}} * [1 - (1 - P_{\text{усп}}^{\text{лов}})^{N_{\text{лов}}}] \quad (1),$$

где  $P_{\text{усп}}^{\text{лов}}$  - вероятность успеха ловушки, под которой понимается вероятность наличия в ловушке промышленной залежи [Емельянова, Пороскун, 2010];  $N_{\text{лов}}$  - число прогнозируемых ловушек в плее.

В формуле (1) выражение в квадратных скобках представляет собой вероятность наличия в плее хотя бы одной промышленной залежи (месторождения).

Различные ловушки плея характеризуются различными значениями  $P_{\text{усп}}^{\text{лов}}$ , но на стадии оценки плеев в силу недостатка информации и в соответствии с определением плея как объекта, характеризующегося геологической и статистической однородностью, можно принять для всех ловушек плея одно значение  $P_{\text{усп}}^{\text{лов}}$ , т.е. принять  $P_{\text{усп}}^{\text{лов}} = \text{const}$ .

В зарубежной практике в качестве оценки вероятности  $P_{\text{усп}}^{\text{лов}}$  принимают коэффициент успешности бурения  $K_{\text{усп}}$ , полученный на плее – аналоге:  $P_{\text{усп}}^{\text{лов}} = K_{\text{усп}}$ .

Вероятность  $P_{\text{рег}}$  определяется путем перемножения вероятностей наличия отдельных региональных геологических признаков  $P_{\text{рег},i}$ , благоприятствующих образованию на площади плея залежей нефти и газа:  $P_{\text{рег}} = \Pi_i P_{\text{рег},i}$ , где  $\Pi_i$  - символ перемножения.

В качестве оценок вероятностей  $P_{\text{рег},i}$  используются экспертные оценки, представляющие собой степень уверенности эксперта (выраженную в долях единицы) в наличии на площади плея соответствующего геологического признака [Роуз Питер, 2011].

Вероятность неудачи плея вычисляется по формуле:

$$P_{\text{неуд}}^{\text{плей}} = 1 - P_{\text{усп}}^{\text{плей}} \quad (2).$$

### **Методология геолого-экономической оценки плея в условиях неопределенности**

Отличительной особенностью методов получения оценок целевых показателей для плеев является необходимость учета действия двух типов факторов, обуславливающих неопределенность этих оценок: а) неопределенность геологической модели плея; б) геологический риск плея. Учет действия этих двух факторов определил для плея два вида вероятностных оценок геолого-экономических показателей:

а) вероятностные оценки без учета геологического риска (в предположении

продуктивности плеля);

б) вероятностные оценки с учетом геологического риска (при условии возможной непродуктивности плеля).

### Вероятностные оценки ресурсов плеля без учета геологического риска

Оценки ресурсов плеля без учета геологического риска представляют собой оценки суммарных запасов в залежах плеля, которые могут быть открыты при условии продуктивности плеля.

Методы получения вероятностных оценок ресурсов плеля без учета геологического риска являются развитием детерминированного метода, впервые предложенного Атвотером (Atwater) в 1956 г. [Baker, 1984]. В соответствии с этим методом величина ресурсов плеля  $Q_{\text{плеля}}$  вычисляется по формуле:

$$Q_{\text{плеля}} = N_{\text{лов}} * K_{\text{усп}} * Q_{\text{зал}}, \quad (3)$$

где  $K_{\text{усп}}$  – прогнозная величина коэффициента успешности бурения ловушек плеля;  $Q_{\text{зал}}$  – прогнозная величина запасов в усредненной (типовой) залежи плеля.

*Примечание: постулируемое для плеля условие геологической и статистической однородности позволяет принять  $Q_{\text{зал}} = \text{const}$  для всех залежей плеля.*

В формуле (3) произведение ( $N_{\text{лов}} * K_{\text{усп}}$ ) представляет собой прогнозное число залежей в плее -  $N_{\text{зал}}$ :

$$N_{\text{зал}} = N_{\text{лов}} * K_{\text{усп}} \quad (4).$$

С учетом равенства (4) формулу (3) перепишем в виде

$$Q_{\text{плеля}} = N_{\text{зал}} * Q_{\text{зал}} \quad (5).$$

Переход к вероятностному методу производится путем:

а) моделирования параметров расчетной формулы (5) ( $N_{\text{зал}}$ ,  $Q_{\text{зал}}$ ) случайными величинами;

б) получения для этих параметров функций распределения вероятностей (их вероятностных оценок): дискретной функции распределения вероятностей числа залежей в плее  $P(N_{\text{зал}})$  и непрерывной функции распределения вероятностей величины запасов залежи  $f(Q_{\text{зал}})$ ;

в) перемножения случайных величин  $N_{\text{зал}}$ ,  $Q_{\text{зал}}$  (формула (5)) по правилам теории вероятностей; результатом такого перемножения является получение вероятностной оценки ресурсов плеля, представленной функциями: функцией плотности вероятностей  $f(Q_{\text{плеля}})$  и кумулятивной функцией распределения  $F(Q_{\text{плеля}})$ .

*Получение вероятностной оценки числа залежей в плее*

Вероятностная оценка числа залежей в плее в виде функции распределения  $P(N_{\text{зал}})$  может быть получена несколькими способами. Один из способов – экспертное задание этой функции.

В случае затруднений с получением функции  $P(N_{\text{зал}})$  экспертным способом она может быть рассчитана по формуле биномиального распределения вероятностей для заданного числа ловушек в плее  $N_{\text{лов}}$  и заданной вероятности геологического успеха ловушки  $P_{\text{усп}}^{\text{лов}}$ , принятой для исследуемого плее [Lee, 2008]:

$$P(N_{\text{зал}}) = (C_{N_{\text{зал}}}^{N_{\text{лов}}}) (P_{\text{усп}}^{\text{лов}})^{N_{\text{зал}}} (1 - P_{\text{усп}}^{\text{лов}})^{(N_{\text{лов}} - N_{\text{зал}})}, N_{\text{зал}} = 1, \dots, N_{\text{лов}},$$

где  $C_{N_{\text{зал}}}^{N_{\text{лов}}}$  – число сочетаний из  $N_{\text{лов}}$  элементов по  $N_{\text{зал}}$  элементам. Пример функции распределения вероятностей числа залежей  $P(N_{\text{зал}})$  приведен на рис. 2.

Количество ловушек  $N_{\text{лов}}$ , необходимое для вычисления функции распределения вероятностей числа залежей  $P(N_{\text{зал}})$ , определяется на основании материалов геолого-геофизических работ на площади оцениваемого плее. Неопределенный параметр  $N_{\text{лов}}$  можно моделировать как детерминированной, так и случайной величиной. Для упрощения процедуры получения вероятностной оценки ресурсов плее примем детерминированную оценку  $N_{\text{лов}}$  ( $N_{\text{лов}} = \text{const}$ ).

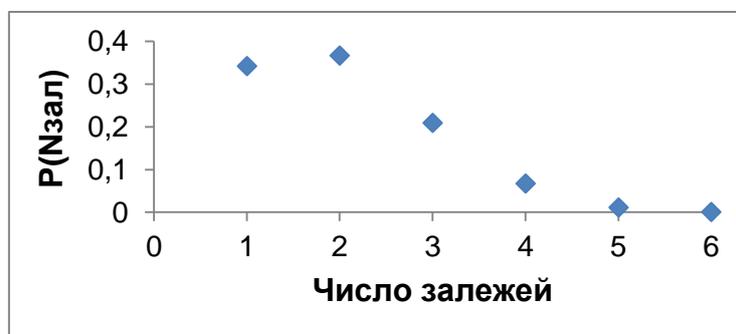


Рис. 2. Функция распределения вероятностей числа залежей в плее ( $N_{\text{лов}} = 6$ ;  $P_{\text{усп}}^{\text{лов}} = 0,3$ )

*Вероятностная оценка запасов в залежах плее*

Вероятностная оценка запасов для усредненной (типовой) залежи плее представлена функциями распределения вероятностей – функцией плотности вероятностей  $f(Q_{\text{зал}})$  и кумулятивной функцией распределения  $F(Q_{\text{зал}})$ :

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

где  $m_{Q_{\text{зал}}}$  и  $\sigma_{Q_{\text{зал}}}^2$  – математическое ожидание и дисперсия функций  $f(Q_{\text{зал}})$  и  $F(Q_{\text{зал}})$ .

В зарубежной практике геологоразведки при оценке ресурсов плее рекомендуется принимать в качестве вероятностной оценки запасов  $f(Q_{\text{зал}})$  функцию распределения залежей

(месторождений) по величине запасов (условно обозначим ее  $f(Q_{\text{мест}})$ ), построенную по данным об извлекаемых запасах залежей (месторождений), открытых в плее – аналоге (в английской терминологии Field-Size Distribution – FSD) [Роуз Питер, 2011]:

$$f(Q_{\text{зал}}) = f(Q_{\text{мест}}).$$

При восстановлении функции  $f(Q_{\text{мест}})$  по выборочным данным внимание уделяется выбору для нее закона распределения. Анализ работ на эту тему показывает, что в основном рассматриваются два вида закона распределения [Кноринг, 1992; Роуз Питер, 2011]: логнормальный (модальный) и Парето (амодальный). Сравнительные характеристики этих двух законов распределения видны при сопоставлении графиков функций плотности вероятностей  $f(Q_{\text{мест}})$  (рис. 3).

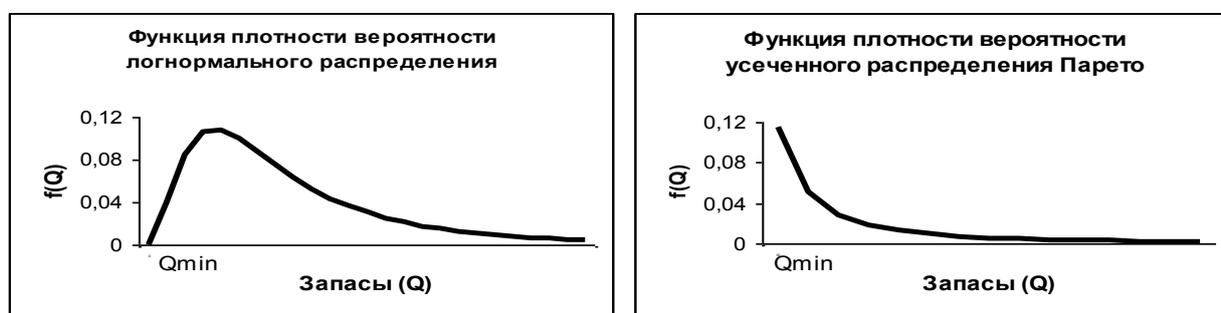


Рис. 3. Графики функций плотности вероятности логнормального распределения и распределения Парето

Установлено:

а) Закон Парето является подходящим для описания функции распределения залежей по величине запасов в *природной совокупности* залежей для достаточно крупных по масштабу территорий (провинций, бассейнов и пр.); такой вывод основывается на свойстве фрактальности слагающих земную кору геологических объектов, в соответствии с которым число ловушек (структур) возрастает при уменьшении их размера.

б) Логнормальный закон хорошо аппроксимирует экспериментальные функции распределения залежей по величине запасов в выборке *открытых* в плее – аналоге залежей; вид функции  $f(Q_{\text{мест}})$  обусловлен совместным действием трех факторов:

- видом функции распределения залежей по величине запасов в природной совокупности залежей плее (распределение Парето);

- действием экономического фильтра, обуславливающего модальность функции распределения  $f(Q_{\text{мест}})$ , так как в выборку открытых в плее – аналоге залежей не попадают или попадают частично залежи с запасами, близкими по величине к минимальным промышленным запасам  $Q_{\text{min}}$ ;

- действием геологоразведочного фильтра, определяющего ту часть залежей из природной совокупности, которая попадает в выборку открытых залежей (месторождений) в результате тенденциозности стратегии разведки.

Таким образом, логнормальная функция распределения залежей (месторождений) по величине запасов, построенная по фактическим данным на плее - аналоге, отражает те вероятностные характеристики величин запасов, которые можно ожидать получить в залежах исследуемого плеля при адекватности геологических условий, технологии геологоразведки и экономических ограничений исследуемого плеля и плеля – аналога. Это дает основание принять для прогнозной вероятностной оценки запасов в залежах плеля логнормальный закон распределения как более адекватный.

#### *Вероятностная оценка ресурсов плеля*

Вероятностная оценка ресурсов плеля отражает неопределенность оценки суммарных запасов в залежах (месторождениях) плеля, которые могут быть открыты при условии продуктивности плеля. Эта оценка представляет собой непрерывные функции распределения вероятностей: функцию плотности вероятностей  $f(Q_{\text{плель}})$  и кумулятивную функцию распределения  $F(Q_{\text{плель}})$ ; функции  $f(Q_{\text{плель}})$  и  $F(Q_{\text{плель}})$  характеризуются математическим ожиданием  $m_{Q_{\text{плель}}}$  и дисперсией  $\sigma_{Q_{\text{плель}}}^2$ :

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

Метод получения вероятностной оценки ресурсов плеля в виде функций  $f(Q_{\text{плель}})$  и  $F(Q_{\text{плель}})$  основан на перемножении случайных величин  $N_{\text{зал}}$  и  $Q_{\text{зал}}$  (формула (5)), заданных функциями распределения вероятностей  $P(N_{\text{зал}})$  и  $f(Q_{\text{зал}})$  (или  $F(Q_{\text{зал}})$ ), по правилам теории вероятностей. Результат такой процедуры сводится к следующей формуле [Lee, 2008]:

$$f(Q_{\text{плель}}) = \sum_{n=1}^{N_{\text{лов}}} P(N_{\text{зал}} = n) * f(Qn); \quad F(Q_{\text{плель}}) = \sum_{n=1}^{N_{\text{лов}}} P(N_{\text{зал}} = n) * F(Qn) \quad (6),$$

где суммирование ведется по числу залежей  $n$ , которые могут быть открыты в  $N_{\text{лов}}$  ловушках плеля,  $n = 1, \dots, N_{\text{лов}}$ ;  $P(n)$  – вероятность наличия в плее  $n$  залежей;  $f(Qn)$  и  $F(Qn)$  – соответственно функция плотности вероятностей и функция кумулятивной вероятности для суммарной величины запасов в  $n$  залежах.

Параметры вероятностной оценки ресурсов плеля определяются по формулам [Lee, 2008]:

$$m_{Q_{\text{плель}}} = m_{Q_{\text{зал}}} * m_{N_{\text{зал}}}; \quad \sigma_{Q_{\text{плель}}}^2 = \sigma_{Q_{\text{зал}}}^2 * m_{N_{\text{зал}}} + (m_{Q_{\text{зал}}})^2 * \sigma_{N_{\text{зал}}}^2,$$

где  $m_{N_{\text{мест}}}$  и  $\sigma_{N_{\text{мест}}}^2$  – математическое ожидание и дисперсия функции распределения вероятностей числа залежей в плее  $P(N_{\text{зал}})$ .

В качестве иллюстративного примера на рис. 4 приведен график вероятностной оценки ресурсов плеля в виде кумулятивной функции распределения  $F(Q_{\text{плель}})$ , полученной

описанным методом. Исходные данные для приведенного примера: вероятностная оценка запасов нефти в залежах исследуемого плеча  $F(Q_{\text{зал}})$  принята логнормальной с параметрами  $m_{Q_{\text{зал}}} = 3,9$  млн. т,  $\sigma_{Q_{\text{зал}}} = 5,5$  млн. т; число ловушек в плече  $N_{\text{лов}} = 6$ ; вероятность успеха ловушек плеча  $P_{\text{усп}}^{\text{лов}} = 0,3$ .

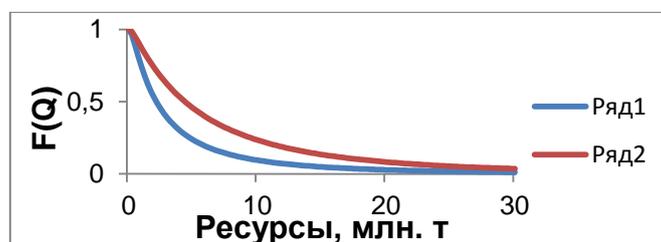


Рис. 4. Графики кумулятивных функций вероятностных оценок ресурсов плеча и запасов залежи в плече

Ряд 1 -  $F(Q_{\text{зал}})$ ; Ряд 2 -  $F(Q_{\text{плей}})$ .

### Вероятностная оценка ресурсов плеча с учетом геологического риска

Вероятностная оценка ресурсов плеча с учетом геологического риска характеризуется функциями распределения вероятностей  $f(Q_{\text{плей}})_{\text{риск}}$  и  $F(Q_{\text{плей}})_{\text{риск}}$ . Дерево вероятностей для получения функций  $f(Q_{\text{плей}})_{\text{риск}}$  и  $F(Q_{\text{плей}})_{\text{риск}}$  представлено на рис. 5.

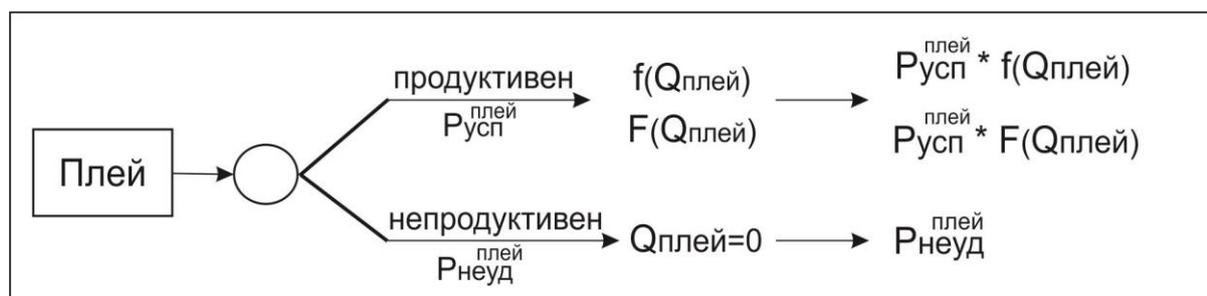


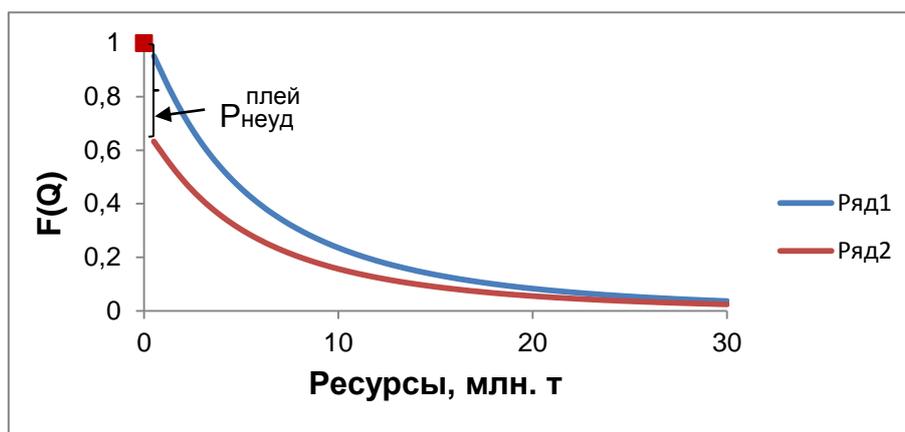
Рис. 5. Дерево вероятностей для получения вероятностной оценки ресурсов плеча с учетом геологического риска

Аналитическая запись вероятностной оценки ресурсов плеча с учетом геологического риска:

$$f(Q_{\text{плей}})_{\text{риск}} = \begin{cases} P_{\text{усп}}^{\text{плей}} f(Q_{\text{плей}}) & (Q_{\text{плей}} > 0) \\ P_{\text{неуд}}^{\text{плей}} & (Q_{\text{плей}} = 0) \end{cases} \quad F(Q_{\text{плей}})_{\text{риск}} = \begin{cases} P_{\text{усп}}^{\text{плей}} F(Q_{\text{плей}}) & (Q_{\text{плей}} > 0) \\ 1 & (Q_{\text{плей}} = 0) \end{cases}$$

На рис. 6 изображены графики вероятностных оценок ресурсов плеча без учета ( $F(Q_{\text{плей}})$ ) и с учетом ( $F(Q_{\text{плей}})_{\text{риск}}$ ) геологического риска плеча. Вероятности  $P_{\text{усп}}^{\text{плей}}$  и  $P_{\text{неуд}}^{\text{плей}}$  равны:  $P_{\text{усп}}^{\text{плей}}$

$= 0,666$ ,  $P_{\text{неуд}}^{\text{плей}} = 0,334$ , (рассчитаны при  $P_{\text{усп}}^{\text{лов}} = 0,3$ ,  $P_{\text{неуд}}^{\text{лов}} = 0,7$ ,  $P_{\text{рег}} = 0,6$ ).



**Рис. 6. Графики вероятностных оценок ресурсов плей без учета и с учетом геологического риска**

Ряд 1 -  $F(Q_{\text{плей}})$ ; Ряд 2 -  $F(Q_{\text{плей}})_{\text{риск}}$ .

По графикам рис. 6 видно, что учет геологического риска приводит к изменению вероятностной оценки ресурсов плей без учета геологического риска. Эти изменения состоят в следующем:

- в появлении дополнительного дискретного значения ресурсов ( $Q_{\text{плей}} = 0$ ), вероятность которого равна вероятности неудачи плей  $P_{\text{неуд}}^{\text{плей}}$ ; вероятностная оценка ресурсов плей с учетом геологического риска  $F(Q_{\text{плей}})_{\text{риск}}$  является функцией *дискретно-непрерывного типа*;

- непрерывная составляющая функции распределения  $F(Q_{\text{плей}})_{\text{риск}}$  получена путем расчета по формуле:  $F(Q_{\text{плей}})_{\text{риск}} = P_{\text{усп}}^{\text{плей}} * F(Q_{\text{плей}})$ ;

- математическое ожидание (среднее значение) вероятностной оценки ресурсов плей с учетом геологического риска  $m_{Q_{\text{плей, риск}}}$  определяется по формуле:

$$m_{Q_{\text{плей, риск}}} = P_{\text{усп}}^{\text{плей}} * m_{Q_{\text{плей}}}$$

где  $m_{Q_{\text{плей}}}$  - математическое ожидание (среднее значение) вероятностной оценки ресурсов плей без учета геологического риска.

### Оценка чистого дисконтированного дохода плей

Оценка ЧДД плей производится на основе оценки ресурсов плей. В соответствии с рассмотрением двух видов вероятностных оценок ресурсов плей – без учета и с учетом геологического риска – будем рассматривать и два вида вероятностных оценок ЧДД плей – без учета и с учетом геологического риска.

### Вероятностная оценка чистого дисконтированного дохода плеля без учета геологического риска

Вероятностная оценка ЧДД плеля без учета геологического риска представляет собой непрерывные функции распределения вероятностей: функцию плотности вероятностей  $f(\text{ЧДД}_{\text{плеля}})$  и кумулятивную функцию распределения вероятностей  $F(\text{ЧДД}_{\text{плеля}})$ :

$$f(\text{ЧДД}_{\text{плеля}}) = f(m_{\text{ЧДД}_{\text{плеля}}}, \sigma_{\text{ЧДД}_{\text{плеля}}}^2), \quad F(\text{ЧДД}_{\text{плеля}}) = F(m_{\text{ЧДД}_{\text{плеля}}}, \sigma_{\text{ЧДД}_{\text{плеля}}}^2),$$

где  $m_{\text{ЧДД}_{\text{плеля}}}$  и  $\sigma_{\text{ЧДД}_{\text{плеля}}}^2$  – соответственно математическое ожидание (среднее значение) и дисперсия вероятностной оценки ЧДД плеля.

Вероятностная оценка ЧДД плеля отражает результат преобразования вероятностной оценки ресурсов плеля, заданной функциями  $f(Q_{\text{плеля}})$  и  $F(Q_{\text{плеля}})$ , в экономический показатель ЧДД<sub>плеля</sub>. Такое преобразование выполняется путем расчета величин ЧДД для конкретных значений ресурсов плеля  $Q_{\text{плеля}}$  из интервала, на котором определены функции  $f(Q_{\text{плеля}})$  и  $F(Q_{\text{плеля}})$ . Методика получения вероятностных оценок ЧДД приведена в [Герт и др., 2007].

На рис. 7 показан иллюстративный график вероятностной оценки ЧДД плеля без учета геологического риска в виде кумулятивной функции распределения  $F(\text{ЧДД}_{\text{плеля}})$ .

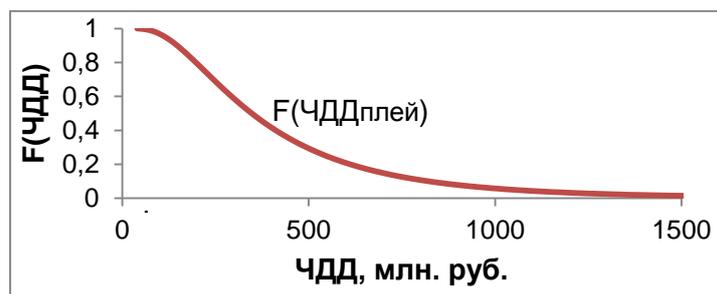


Рис. 7. Вероятностная оценка чистого дисконтированного дохода плеля без учета геологического риска

### Вероятностная оценка чистого дисконтированного дохода плеля с учетом геологического риска

Вероятностную оценку ЧДД плеля с учетом геологического риска представим функциями плотности вероятностей  $f(\text{ЧДД}_{\text{плеля}})_{\text{риск}}$  и кумулятивной вероятности  $F(\text{ЧДД}_{\text{плеля}})_{\text{риск}}$ :

$$f(\text{ЧДД}_{\text{плеля}})_{\text{риск}} = f(m_{\text{ЧДД}_{\text{плеля, риск}}}, \sigma_{\text{ЧДД}_{\text{плеля, риск}}}^2), \quad F(\text{ЧДД}_{\text{плеля}})_{\text{риск}} = F(m_{\text{ЧДД}_{\text{плеля, риск}}}, \sigma_{\text{ЧДД}_{\text{плеля, риск}}}^2),$$

где  $m_{\text{ЧДД}_{\text{плеля, риск}}}$  и  $\sigma_{\text{ЧДД}_{\text{плеля, риск}}}^2$  – соответственно математическое ожидание (среднее значение) и дисперсия вероятностной оценки ЧДД плеля с учетом геологического риска.

Вероятностная оценка ЧДД плеля с учетом геологического риска отражает учет двух факторов: а) вероятностный характер оценки ЧДД плеля в предположении его продуктивности и б) вероятностный характер условий продуктивности плеля (заданный геологическим риском плеля). Дерево вероятностей для получения вероятностной оценки ЧДД плеля с учетом

геологического риска приведено на рис. 8.

Здесь  $K_{\text{риск}}^{\text{плей}}$  – рисковый капитал (невосполнимые денежные затраты на ГРП в случае непродуктивности плей (в случае отказа от плей)).

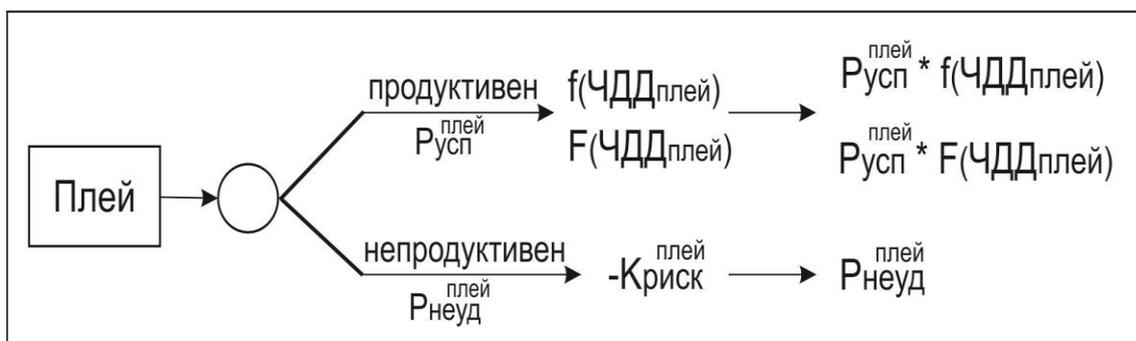


Рис. 8. Дерево вероятностей для получения вероятностной оценки чистого дисконтированного дохода плей с учетом геологического риска

На рис. 9 изображены графики вероятностных оценок ресурсов плей без учета ( $F(\text{ЧДД}_{\text{плей}})$ ) и с учетом ( $F(\text{ЧДД}_{\text{плей}})_{\text{риск}}$ ) геологического риска плей.

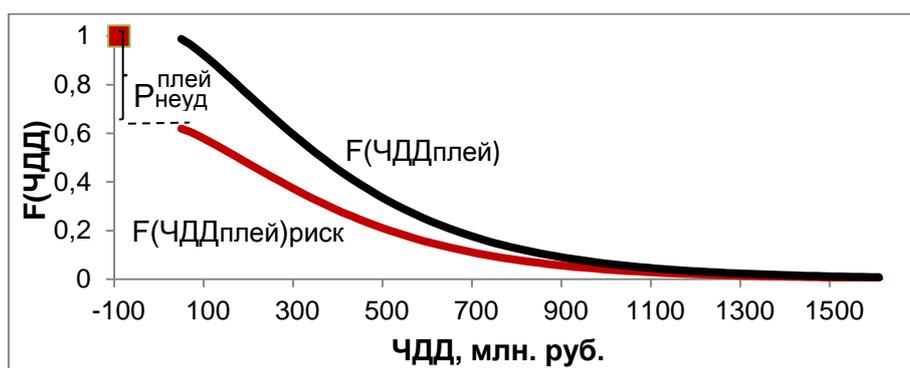


Рис. 9. Графики функций  $F(\text{ЧДД}_{\text{плей}})$  и  $F(\text{ЧДД}_{\text{плей}})_{\text{риск}}$  ( $K_{\text{риск}}^{\text{плей}} = 100$  млн. руб.)

Отличие вероятностных оценок ЧДД плей с учетом геологического риска от вероятностных оценок ЧДД плей без учета геологического риска состоит в следующем:

- в появлении дополнительного дискретного значения  $\text{ЧДД} = -K_{\text{риск}}^{\text{плей}}$ ; вероятность этого значения ЧДД равна вероятности неудачи плей  $P_{\text{неуд}}^{\text{плей}}$ ;
- непрерывная составляющая функции распределения  $F(\text{ЧДД}_{\text{плей}})_{\text{риск}}$  получается путем расчета по формуле:

$$F(\text{ЧДД}_{\text{плей}})_{\text{риск}} = P_{\text{усп}}^{\text{плей}} * F(\text{ЧДД}_{\text{плей}}).$$

Математическое ожидание функций распределения  $f(\text{ЧДД}_{\text{плей}})_{\text{риск}}$  и  $F(\text{ЧДД}_{\text{плей}})_{\text{риск}}$  вычисляется по формуле:

$$m_{\text{ЧДД}_{\text{плей, риск}}} = P_{\text{усп}}^{\text{плей}} * m_{\text{ЧДД, плей}} - P_{\text{неуд}}^{\text{плей}} * K_{\text{риск}}^{\text{плей}} \quad (7),$$

где  $m_{\text{ЧДД}_{\text{плей}}}$  - математическое ожидание вероятностной оценки ЧДД плей без учета геологического риска.

Как видно из этого уравнения, математическое ожидание (среднее значение) вероятностной оценки ЧДД плей с учетом геологического риска представляет собой усредненную величину, полученную путем взвешивания величин прибыли ( $m_{\text{ЧДД, плей}}$ ) и потерь ( $-K_{\text{риск}}^{\text{плей}}$ ), связанных с оцениваемым плеем, по вероятностям успеха ( $P_{\text{усп}}^{\text{плей}}$ ) и неудачи ( $P_{\text{неуд}}^{\text{плей}}$ ) поисково-разведочных работ.

Выражение (7) совпадает с выражением показателя ожидаемой денежной стоимости (ОДС), применяемым в теории принятия решений при финансовом анализе объектов исследования, связанных с риском. В геологоразведке показатель ОДС используется при нефтепоисковом проектировании как основной критерий, учитывающий соотношение Доход/Риск для локальных рисков объектов поиска (ловушек) [Герт и др., 2007; Роуз Питер, 2011]. Понятие ожидаемой денежной стоимости естественным образом можно распространить и на плей, поскольку плей в системе оценивания, например, бассейна представляют собой такие же элементарные объекты исследования, как и элементарные объекты исследования (ловушки) при оценивании плеев. Показатель ОДС применительно к плею позволяет дифференцировать их по нефтегазопромысловому потенциалу и геологическому риску.

### Заключение

Рассмотрена методология оценивания плеев в условиях неопределенности и риска. Необходимость в такой работе обусловлена тем, что на региональном этапе ГРП на нефть и газ выбор для исследования нового плей является более важной и более сложной задачей, чем выбор для бурения ловушки. Выбор бесперспективного плей может привести к более серьезным экономическим последствиям для компаний, занимающихся геологоразведкой, чем выбор бесперспективной ловушки.

Для выбора плей с целью проведения на нем поисковых работ необходимо проводить ранжирование плеев по их геолого-экономической перспективности. Используется такой же набор показателей, как и для ранжирования ловушек: величина ресурсов плей (суммарная величина запасов нефти и газа в залежах плей при условии его продуктивности) и величина ЧДД от реализации этой продукции.

Особенностью оценок этих показателей на поисково-оценочном этапе является их неопределенность, обусловленная двумя факторами: а) неопределенностью геологической

модели плеча, б) неопределенностью результатов поисково-разведочных работ на плее.

Оценку неопределенности результатов ГРП на плее предложено учитывать путем введения понятия «геологический риск» для плеча.

Получены аналитические выражения для вероятностных оценок геолого-экономических показателей (ресурсов и ЧДД) плеча с учетом геологического риска и вычисляемых для них точечных оценок соответствующих показателей – средних значений ресурсов и ЧДД плеча.

Сопоставление вероятностных оценок ресурсов и ЧДД плеча без учета и с учетом геологического риска позволяет определить степень влияния геологического риска на оценки величины ресурсов и ЧДД, которые ожидают получить на плее.

Вероятностные оценки ресурсов и ЧДД плеча с учетом геологического риска можно использовать в качестве дифференцирующего показателя при ранжировании плеев по геолого-экономической значимости, поскольку они позволяют количественно сопоставить величину ресурсов и ЧДД, которые могут быть получены в случае продуктивности плеча, и риск материальных потерь при отрицательном результате ГРП.

### Литература

Временное положение об этапах и стадиях геологоразведочных работ на нефть и газ. Приложение к приказу МПР России №126 от 07.02.2001 г.

*Герт А.А., Волкова К.Н., Немова О.Г., Супрунчик Н.А.* Методика и практический опыт стоимостной оценки запасов и ресурсов нефти и газа. - Новосибирск: «Наука», 2007. – 383 с.

*Емельянова Н.М., Порожун В.И.* Вероятностные оценки ресурсов нефти и газа локальных объектов с учетом геологического риска // Недропользование XXI век. – 2010. - №2. - С. 24-29.

*Кноринг Л.Д.* Стратегия подготовки запасов нефти и газа. – СПб: «Недра», 1992. – 312 с.

*Крылов Н.А.* Введение в нефтегазовую ресурсологию. - ООО «ВНИИГАЗ», 2009. – 99 с.

*Крылов Н.А., Кучеря 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.

*Baker R.A., Gehman H.M., James W.R., White D.A.* Geologic Field Number and Size Assessments of Oil and Gas Plays // AAPG Bulletin. – 1984. - V68. - N4. - p. 426.

*Lee P.J.* Statistical Methods for Estimating Petroleum Resources. - Oxford University Press. - 2008. – 606 p.

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

Federal State Budgetary Institution "All-Russian Research Geological Oil Institute" (VNIGNI), Moscow, Russia, ckaa@yandex.ru, poroskun@vnigni.ru

## GEOLOGICAL-ECONOMICAL EVALUATION AND ANALYSIS OF PLAYS RISKS

Currently the expression "play" is widely used both in foreign and domestic practice of geological exploration for oil and gas. In the hierarchy of objects of geological research, the playground occupies an intermediate position between local and regional objects, which determines its dual nature: on the one hand, it is a group of local objects characterized by geological and statistical homogeneity, which makes it possible to evaluate their geological and economic indicators by probabilistic statistical methods, on the other hand, it is an independent object of study and assessment in the process of geological exploration.

The main provisions of the logically ordered methodology for assessing the plays under conditions of uncertainty and risk are based on the English publications.

The concept of "geological risk" has been introduced with reference to a play. Probabilistic estimates of geological and economic indicators are received without taking into account the geological risk - under the condition of the productivity of the play, and taking into account geological risk - assuming possible non-productivity of the play.

**Keywords:** geological prospecting for oil and gas, geological hazard, accounting methodology for uncertainty and geological risk.

### References

Baker R.A., Gehman H.M., James W.R., White D.A. Geologic Field Number and Size Assessments of Oil and Gas Plays. AAPG Bulletin, 1984, vol. 68, no. 4, p. 426.

Emel'yanova N.M., Poroskun V.I. *Veroyatnostnye otsenki resursov nefti i gaza lokal'nykh ob"ektov s uchetom geologicheskogo riska* [Probabilistic estimates of oil and gas resources of local objects taking into account geological risk]. Nedropol'zovanie XXI vek, 2010, no. 2, p. 24-29.

Gert A.A., Volkova K.N., Nemova O.G., Suprunchik N.A. *Metodika i prakticheskiy opyt stoimostnoy otsenki zapasov i resursov nefti i gaza* [Methodical and practical experience of evaluation of reserves and oil and gas resources]. Novosibirsk: «Nauka», 2007, 383 p.

Knoring L.D. *Strategiya podgotovki zapasov nefti i gaza* [The strategy of oil and gas reserves preparing]. St. Petersburg: «Nedra», 1992, 312 p.

Krylov N.A. *Vvedenie v neftegazovuyu resursologiyu* [Introduction to oil and gas reserves study]. OOO «VNIIGAZ», 2009, 99 p.

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

Lee P.J. *Statistical Methods for Estimating Petroleum Resources*. Oxford University Press, 2008, 606 p.

Rouz Piter R. *Analiz riskov i upravlenie neftegazoposkovymi proektami* [Risk analysis and management of petroleum prospecting projects]. Biblioteka neftyanogo inzhiniringa. Moscow: Izhevsk, 2011, 301 p.