

УДК 550.83.01

**АНАЛИЗ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ И РИСКОВ ПРИ СЕЙСМИЧЕСКОЙ
ИНТЕРПРЕТАЦИИ МАЛОАМПЛИТУДНЫХ СТРУКТУР**

© Шатобин Е.А., Самойленко И.Ю., Сианисян Э.С.

*ООО «ЛУКОЙЛ-Инжиниринг», ВолгоградНИПИморнефть, г. Волгоград,
Южный федеральный университет, г. Ростов-на-Дону*

Работа посвящена исследованию неопределенностей и рисков, возникающих в процессе сейсмической интерпретации малоамплитудных залежей. Рассмотрено два примера. Основные их отличия заключается в том, что в первом примере корреляция отражающих горизонтов проводилась по всему 3D кубу данных (максимальная плотность пикирования горизонта с последующей автокорреляцией). Второй пример имитирует интерпретацию данных 2D (корреляция ОГ проведена через 20 inline и 20 crossline).

Ключевые слова: Геологическая неопределенность, анализ неопределенностей, анализ рисков, многовариантное моделирование, структурная интерпретация сейсмических данных.

На сегодняшний день практика поисковых работ свидетельствует о том, что фонд традиционных ловушек УВ антиклинального типа, которые достаточно уверенно картируются сейсморазведкой МОГТ, практически исчерпан. Неосвоенные ресурсы УВ в основном связаны как с малоамплитудными структурами, так и ловушками неантиклинального типа (погребенными русловыми отложениями, отложениями клиноформ, локальным развитием песчаных тел, коллекторами в породах кристаллического фундамента и др.) [1]. Поиск, картирование и оценка углеводородного потенциала такого типа ловушек, требует привлечения новых технологий и методик обработки и интерпретации геолого-геофизических данных. При этом существуют неопределенности и связанные с ними риски.

Данная работа посвящена исследованию неопределенностей и рисков, которые присутствуют на всех этапах геологического изучения перспективных объектов, в частности, в процессе сейсмической интерпретации малоамплитудных залежей.

Неопределенность – это ситуация, когда полностью или частично отсутствует информация о возможных состояниях системы и внешней среды или когда в системе возможны те или иные непредсказуемые события.

Риск – это вероятность наступления нежелательного события (например, убытки от реализации проекта) [8].

Проекты нефтегазовой отрасли характеризуются большим числом неизвестных параметров [9]:

1. Неопределенности, связанные с ограниченностью геологической информации об объекте;
2. Технологические неопределенности. Неопределенности, связанные с возможностью задержек при поставке и/или ремонте оборудования, срывами графиков бурения;
3. Экономические неопределенности (цена, инфляция, налоги).

В данной работе рассматриваются неопределенности, связанные с ограниченностью геологической информации об объекте, а именно:

- в структурных планах: гипсометрия, наклонометрия пластов;
- в литологии: распространение коллекторов в межскважинном пространстве;
- геометрии тектонических нарушений, наличие трещиноватости.

Специалисты, работающие в области геостатистики, преуспели в создании многих методов оценки неопределенности. Одним из таких методов является модель Cohiba (RMS uncertainty modeling) компании ROXAR, которая служит для количественной оценки структурной неопределенности и ее влияния на неопределенность объема нефтесодержащих пород.

Авторами показана возможность применения данного метода, а также проведен анализ полученных результатов на примере фактического материала (сейсмический куб, корреляция сейсмических отражений и др.).

Предлагаемый подход рассмотрен на примере малоамплитудной антиклинальной ловушки, в непосредственной близости с которой выявлены промышленные залежи УВ.

Для интерпретации сейсмических данных стратиграфическая привязка скважин является неотъемлемой и очень важной частью работы.

При выполнении детальной привязки геологических границ к волновому полю в точках глубоких скважин использовались стратиграфические разбивки, установленные по данным бурения и ГИС. Дополнительным критерием являлись наблюдения ВСП (вертикальное сейсмическое профилирование), **выполненные на сопредельных площадях**.

При таких данных создана толстослоистая эффективная сейсмическая модель (ЭСМ), стратифицированы основные реперные горизонты, обобщены скоростные зависимости.

Основные факторы возникновения неопределенностей на этапе привязки: полнота данных о районе исследования (данные о скоростях горных пород и др.), качество данных, сложность волнового поля, субъективность и опыт интерпретатора [6].

Так как значения скоростей обычно используют для контроля качества увязки скважин и волнового поля, то результаты одномерного моделирования на данной территории могут содержать значительную неопределенность положения стратиграфических отбивок.

Мы будем считать, что исследуемый горизонт (далее ОГ) приурочен к кровле продуктивных отложений и коррелируется по положительному экстремуму на временах 0,510 -0,700 с.

В работе рассмотрено два примера. Основные отличия рассматриваемых случаев заключается в том, что в первом примере корреляция ОГ проводилась по всему 3D кубу с автокорреляцией. Второй пример, где корреляция ОГ проведена через 20 inline и 20 crossline (рис.1).

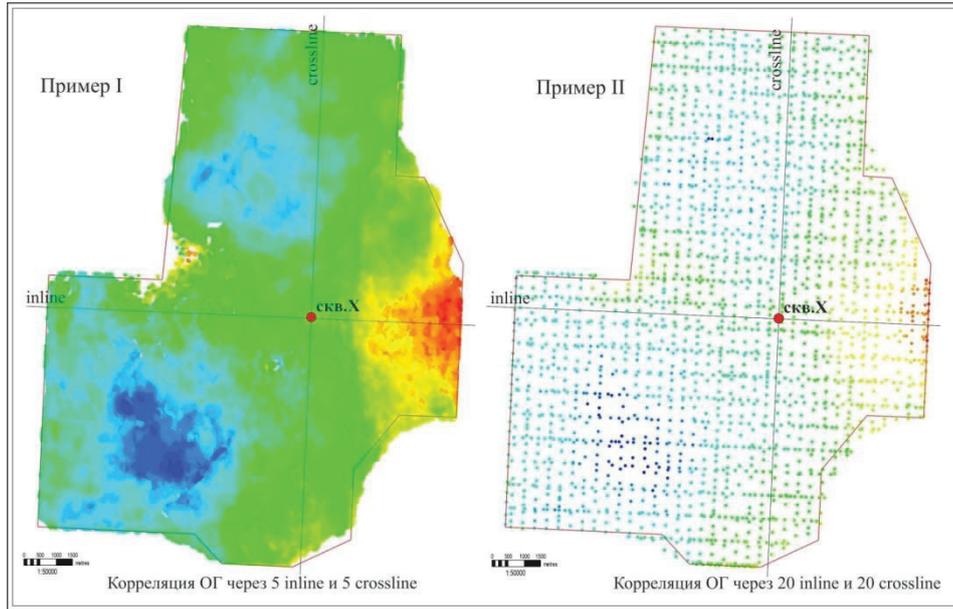


Рис. 1. Плотность интерпретации по площади для примера I и II

Истинное положение отбивки нам не известно или известно с определенной вероятностью. Она может соответствовать переходу от верхнего минимума фазы к максимуму или переходу от максимума к нижнему минимуму. Положение горизонта может соответствовать множеству положений корреляции между нулями или через максимум [7].

Для оценки данной неопределенности положения ОГ во временном поле задается доверительный интервал, в пределах которого существует 95% вероятность нахождения горизонта.[3,4]. Временное окно данного интервала по площади составляет 6-8 мс (положительная фаза) (рис. 2).

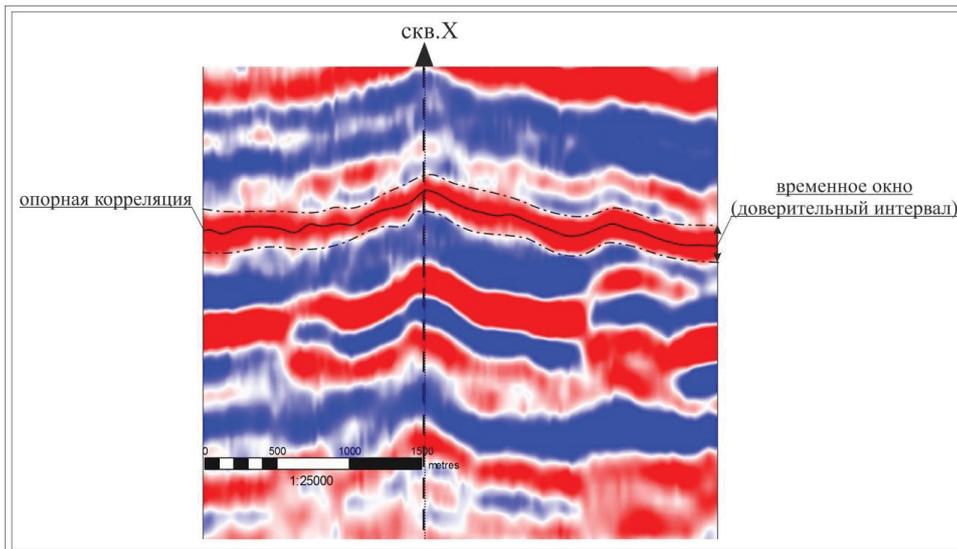


Рис. 2. Определение доверительного интервала

Пример I

В пределах сейсмического 3D куба была выполнена детальная корреляция ОГ, результатами которой являются трендовая карта T_0 ОГ (через максимум) и карта отклонений (рис. 3).

Далее выполнен вариограммный анализ, целью которого является оценка размеров неопределенности, ее формы и направления для выполнения стохастического моделирования (рис. 4).

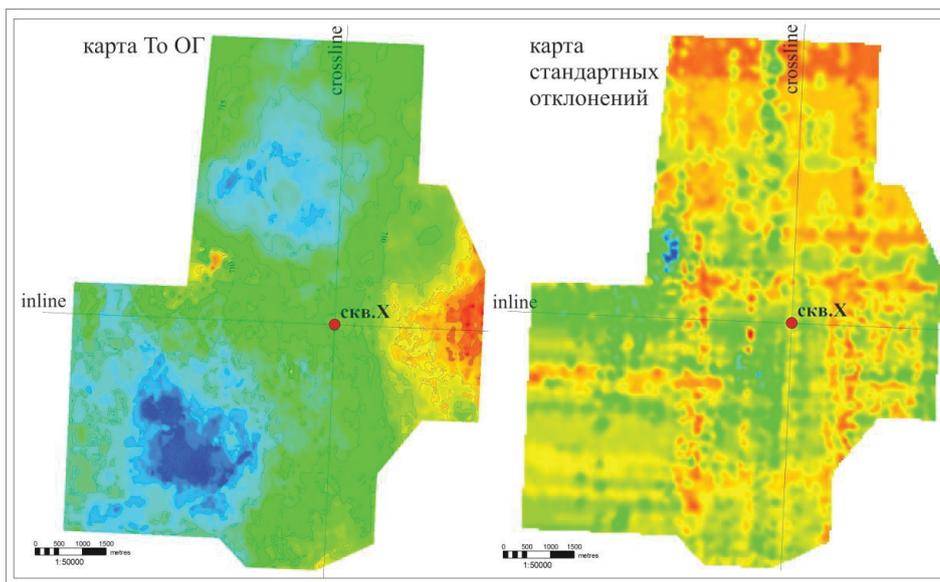


Рис. 3. Трендовая карта T_0 ОГ и карта стандартных отклонений

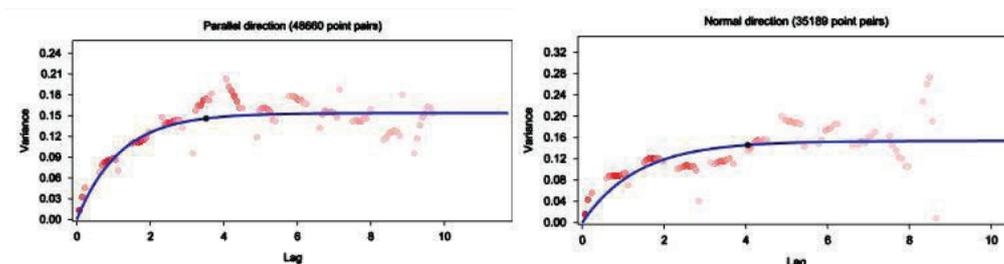


Рис. 4. Горизонтальные вариограммы неопределенности

Из анализа горизонтальных вариограмм следует, что лучше всего вариацию неопределенностей описывает экспоненциальная модель [5,10]. Вариограммы выходят на плато и имеют ранги равные 3524 м для основного направления и 4052 м для нормального к основному направлению. Анизотропии не наблюдается.

На карте изохрон в районе пересечения 387 inline и 544 crossline выделяется структура, которая представляет интерес для поиска УВ (рис. 5).

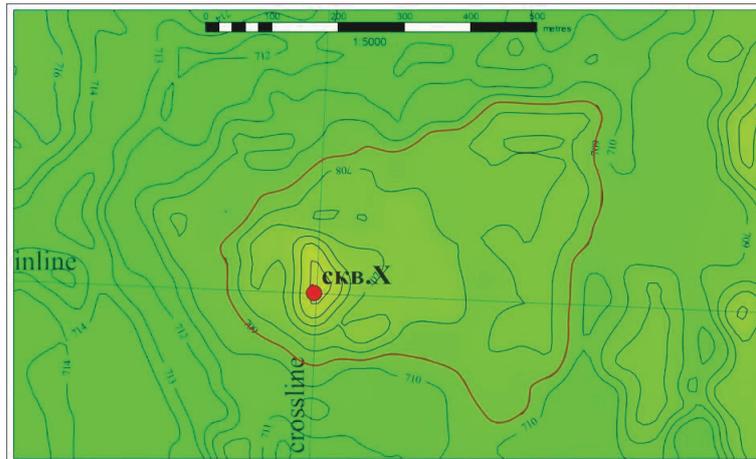


Рис. 5. Область интереса

Традиционно геологические модели и подсчетные параметры залежей УВ определяются в детерминистическом (однозначном) варианте и по одной методике. Очевидно, что детерминированная интерполяция дает нам ложное представление о среде в тех местах, где у нас недостаточная плотность данных. Детерминированное моделирование перестало нас устраивать ровно с того момента, как мы поняли, что оно не позволяет нам сначала определить, а затем воспроизводить в модели истинную пространственную изменчивость среды [7].

Геостатистика дает множество реализаций, каждая из которых точно соответствует имеющимся скважинным данным и точно воспроизводит истинную изменчивость геологической среды.

Для оценки неопределенности данной структуры в программном комплексе RMS методом стохастического моделирования были просчитаны 100 реализаций структурного каркаса, а также одна реализация детерминистическим методом (базовый вариант модели) (рис. 6, 7).

На рисунке 6 показано сравнение результатов расчета разными подходами, где отмечается разная геометрия выявленного объекта.

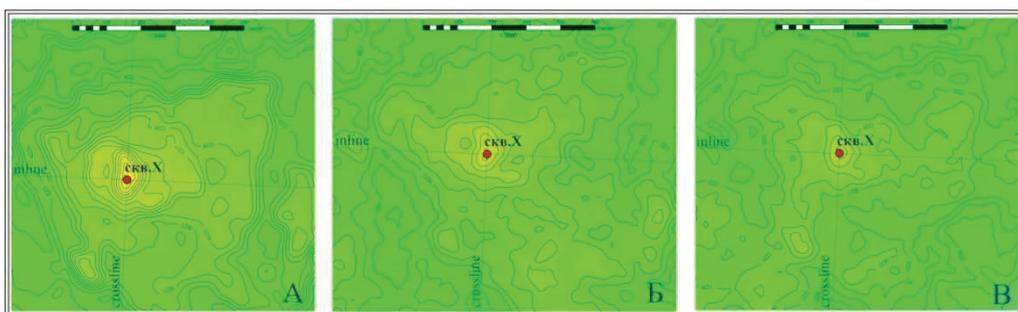


Рис. 6. Глубинные карты ОГ: А-Deterministic, Б-Stochastic simulation (реализация 31), В- Stochastic simulation (реализация 64)

На рисунках 7, 8 отражено сопоставление структурных планов, рассчитанных разными реализациями методом стохастического моделирования. Видно, что площадь залежи меняется от реализации к реализации.

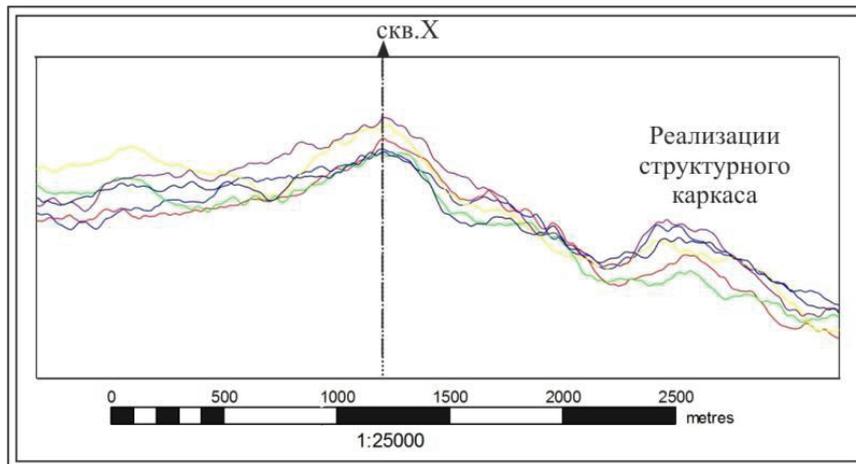


Рис. 7. Разрез, проходящий через «потенциальную» скважину

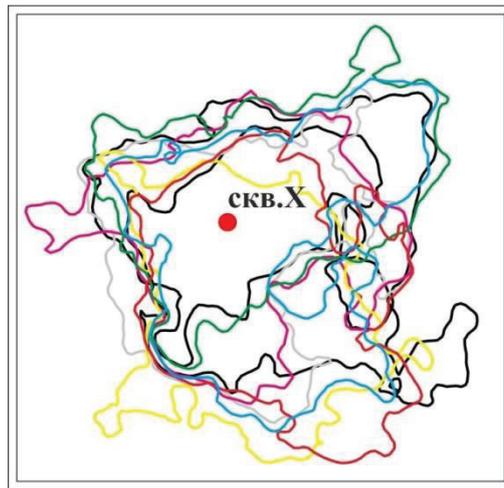


Рис. 8. Расположение контуров структуры в зависимости от реализаций структурного каркаса

Для количественной оценки результатов, в качестве примера, вероятностное распределение ресурсов будет контролироваться площадью структуры. Это позволит проследить, какое влияние при прочих равных геологических параметрах оказывает площадь структуры, рассчитанная по базовому варианту и по наиболее вероятному.

Анализ результатов (пример I)

Результатом анализа полученных данных (распределение площади структуры по 100 реализациям) является гистограмма распределения, а также интеграл плотности вероятности.

Гистограммой в математической статистике называется функция, приближающая плотность вероятности некоторого распределения, построенная на основе выборки из него.

Анализ результатов проводился согласно рекомендациям по обработке геолого–промыслового анализа (табл. 1, рис. 9, 10) [2].

Таблица 1

Анализ результатов распределения площади структуры по 100 реализациям

№ класса	Классы		Частота	Частность	Накопленная частность	Плотность частности
1	8,4	8,4-41,4	7	0,07	0,07	0,0021
	41,4					
2	41,4	41,4-74,4	9	0,09	0,16	0,0027
	74,4					
3	74,4	74,4-107,4	11	0,11	0,27	0,0033
	107,4					
4	107,4	107,4-140,4	13	0,13	0,4	0,0039
	140,4					
5	140,4	140,4-173,4	15	0,15	0,55	0,0046
	173,4					
6	173,4	173,4-206,4	18	0,18	0,73	0,0055
	206,4					
7	206,4	206,4-239,4	12	0,12	0,85	0,0036
	239,4					
8	239,4	239,4-272,4	6	0,06	0,91	0,0018
	272,4					
9	272,4	272,4-305,4	6	0,06	0,97	0,0018
	305,4					
10	305,4	305,4-338,4	3	0,03	1	0,0009
	338,4					
Min=	8,4		Итого:	Итого:		
Max=	337,7		100	1		

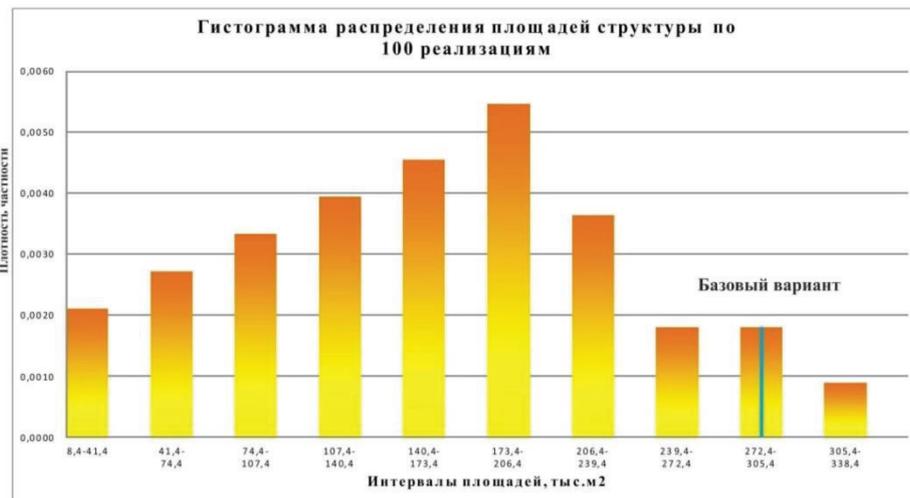


Рис. 9. Гистограмма распределения площадей структуры

Анализ гистограммы распределения площадей структуры указывает на то, что площадь базового варианта, при котором площадь структуры равна 288,8 тыс.м², будет принадлежать интервалу № 9 (табл. 1), где площадь структуры составляет 272,4-305,4 тыс.м², частота равна 6, что значительно меньше, чем наиболее часто встречающиеся значения (мода) площади из интервала №6 (173,4 -206,4), частота которого 18. Также из анализа гистограммы следует то, что значения площадей, которые принадлежат интервалам №1, 2, 3, 4, 5 будут встречаться чаще, чем значения из интервала № 9 (рис. 9).



Рис. 10. Кумулятивная кривая накопленной частности

В геостатистике часто распределение оценивают по контрольным точкам. В нашем случае по квартилям. Квартиль – это значение, которое случайная величина не превышает с фиксированной вероятностью ($P(X \leq x)$).

Проанализировав интеграл плотности вероятности, можно прийти к выводу, что с вероятностью 0,9 площадь данной структуры может принадлежать интервалу от 8,4 до 262,9 тыс.м² и только 0,1 - вероятность того, что площадь данной структуры превышает 262,9 тыс.м². Площадь, посчитанная по базовому варианту составляет 288,8 тыс.м² попадает в интервал превышающий 262,9 тыс.м² (рис.10).

Так, например, если сравнивать ресурсы, оцененные на площади в 191 тыс.м² (площадь, которая наиболее вероятно встречается в распределении интервала №6) и ресурсы, оцененные по базовому варианту, площадь структуры которого составляет 288,8 тыс.м², то получаем, что базовый вариант расчета на 34% завывает ресурсы в сравнении с наиболее вероятным вариантом. Из всего выше сказанного следует, что риск не подтверждения ранее принятых и утвержденных ресурсов велик. Принятие решения о том, на какое значение ресурсов (наиболее вероятных или оценённых детерминистическим методом) ориентироваться, остается за руководителем проекта.

Полученные расчеты неопределенности позволяют ориентироваться на наиболее вероятное значение площади структуры (интервал № 6) (табл.1). Данный факт в будущем, возможно, предотвратит нежелательное списание утверждённых ресурсов (запасов).

Если ранее были утверждены геологические ресурсы, вероятность которых составляет 0,06 (интервал № 9), что на 34% больше оцененных ресурсов, вероятность которых составляет около 0,18. То есть существуют большие риски, что мы необоснованно завысили ресурсы УВ данной структуры.

Допустим, что мы пробурили скважину и структура подтверждается. Можно дать рекомендации для определения положения проектных скважин для дальнейшего первоочередного разбуривания структуры (рис.11).

Если нанести на карту контуры структуры, которые попадают в наиболее вероятный интервал площадей (интервал №6), то можно видеть, что образуется общая для всех реализаций площадь. Данная область и является наиболее перспективной для бурения новых скважин. Каждая вновь пробуренная скважина на данной структуре будет уточнять, корректировать модель.

Также на рис.11 видно, что после осреднения 18 реализаций мы получим базовый вариант.

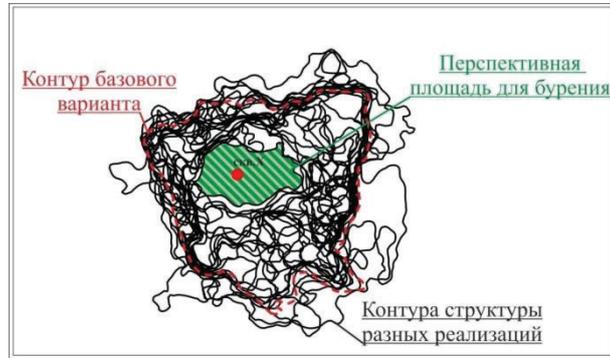


Рис. 11. Вариация контуров структуры после 100 реализаций (пример I)

Анализ результатов (пример II)

Последовательность действий, которая была выполнена для анализа результатов второго случая, идентична последовательности для первого случая. Результаты анализа приведены в табл. 2, рис.12, 13.

Таблица 2

Анализ результатов распределения площади структуры по 100 реализациям для примера II

№ класса	Классы		Частота	Частность	Накопленная частность	Плотность частности
1	65,5	65,5-98,5	2	0,02	0,02	0,0006
	98,5					
2	98,5	98,5-131,5	4	0,04	0,06	0,0012
	131,					
3	131,	131,5-164,5	5	0,05	0,11	0,0015
	164,					
4	164,	164,5-197,5	20	0,2	0,31	0,0062
	197,					
5	197,	197,5-230,5	26	0,26	0,57	0,0080
	230,					
6	230,	230,5-263,5	16	0,16	0,73	0,0049
	263,					
7	263,	263,5-296,5	12	0,12	0,85	0,0037
	296,					
8	296,	296,5-329,5	11	0,11	0,96	0,0034
	329,					
9	329,	329,5-362,5	2	0,02	0,98	0,0006
	362,					
10	362,	362,5-395,5	2	0,02	1	0,0006
	395,					
Min=	65,5		Итого:	Итого:		
Max=	390,		100	1		



Рис. 12. Гистограмма распределения площадей структуры

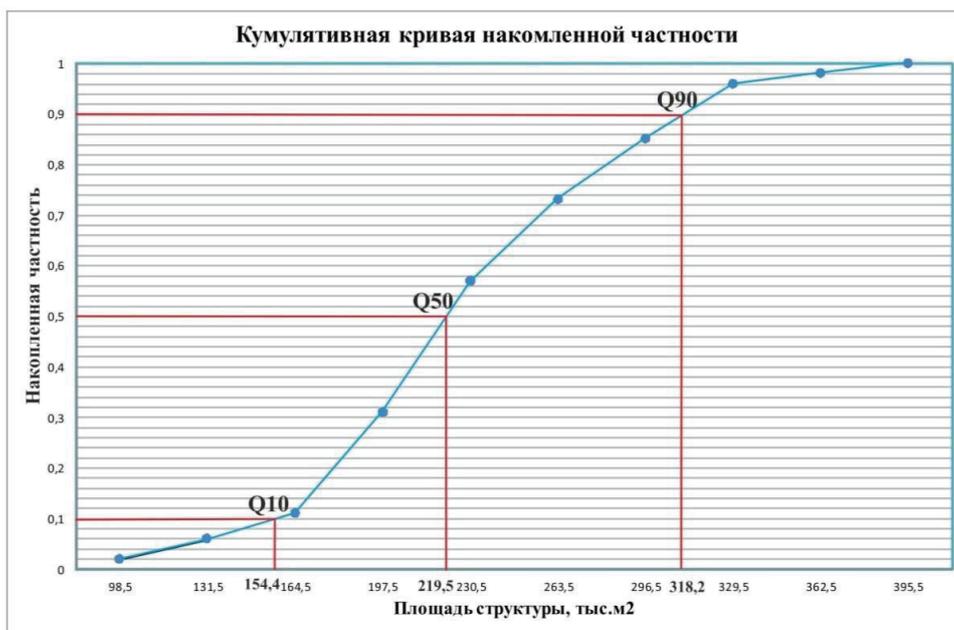


Рис. 13. Кумулятивная кривая накопленной частности

Анализ гистограммы распределения площадей структуры указывает на то, что площадь базового варианта (площадь структуры равна 276,7 тыс.м²) будет принадлежать интервалу №7 (263,5-296,5 тыс.м²), частота которого составляет 12, что значительно меньше, чем наиболее часто встречающиеся значения площади из интервала №5 (197,5-230,5), частота которого 26 (мода).

Также из анализа гистограммы следует то, что в данном случае в распределении преобладают большие значения площадей (табл.2, рис. 12).

Проанализировав интеграл плотности вероятности, можно прийти к выводу, что с вероятностью 0.4 площадь данной структуры может принадлежать интервалу от

219,5 до 318,2 тыс.м². Площадь, посчитанная по базовому варианту, составляет 276,7 тыс.м² попадает данный интервал.

Так, например, если сравнивать ресурсы, оцененные на площади в 212 тыс.м² (площадь которая наиболее вероятно встречается в распределении

интервал №5) и ресурсы, оцененные по базовому варианту, площадь структуры которого составляет 276,7 тыс.м², то получаем, что базовый вариант расчета на 23% превышает ресурсы в сравнении с наиболее вероятным вариантом.

Риск не подтверждения ранее принятых и утвержденных ресурсов все еще велик. Это также указывает на то, что мы, возможно необоснованно завысили ресурсы УВ данной структуры.

Можно дать рекомендации для определения положения проектных скважин для дальнейшего разбуривания структуры (рис. 14).

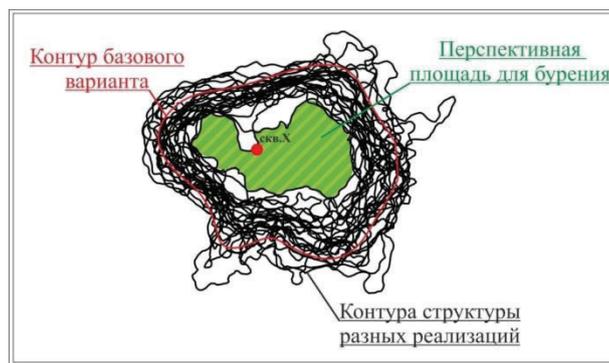


Рис. 14 Вариация контуров структуры после 100 реализаций (пример II)

Если нанести на карту контуры структуры, которые попадают в наиболее вероятный интервал площадей (интервал №5), то можно видеть, что образуется общая для всех реализаций площадь. Данная область и является наиболее перспективной для первоочередного бурения новых скважин.

Выводы:

В данной работе даны определения геологических неопределенностей, которые могут возникнуть в процессе сейсмической интерпретации, дана классификация рисков. Рассмотрен метод стохастического моделирования, который позволяет выполнить количественную оценку структурной неопределенности.

Анализ полученных данных указывает на то, что в обоих случаях (пример I и пример II) существуют значительные риски в оценке ресурсов УВ малоамплитудных залежей. Данные риски, рассмотренные в работе, связаны с неопределенностью интерпретации сейсмических данных. Причем, чем меньше по размерам будет структура, тем больше будут риски.

Также мы видим, что распределение площадей структуры малоамплитудной залежи (интерпретация 2D - пример II) и распределение, полученное в первом случае, противоположны. Пример показывает, что при сейсмической интерпретации малоамплитудных залежей по системе профилей мы уже изначально завышаем значение оцениваемых ресурсов и это несмотря на то, что в данной работе рассматривалась регулярная сетка профилей. На это влияет интерполяция корреляции ОГ в межпрофильном пространстве.

В обоих случаях (пример I и II) площадь базового варианта не входит в модальный интервал. Вероятность существования таких структур намного меньше, чем модальных, с чем и связаны большие риски при оценке перспективных объектов и дальнейшей их разработки.

Литература

1. *Амельченко Н.Б.* Нетрадиционные ловушки углеводородов в нефтегазоносных комплексах Башкирского Приуралья., Георесурсы 2007. 2007.
2. *Гутман И.С., Волк Е.Ю.* Математические методы обработки геолого- промыслового анализа. 2008. 24 с.
3. *Дебрюль О.* Геостатистика в нефтяной геологии. Москва-Ижевск: Институт компьютерных исследований, НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2009. 256 с.
4. *Дебрюль О.* Использование геостатистики для включения в геологическую модель сейсмических данных, 2002. 296 с.
5. *Демьянов В.В., Савельева Е.А.* Геостатистика, теория и практика. Москва-Наука, 2010. 327 с.
6. *Кирилов А.С., Закревский К.Е.* Практикум по сейсмической интерпретации в PETREL. Издательство МАИ-ПРИНТ, 2014. 288 с.
7. *Ковалевский Е.В.* Geological Modelling on the Base of Geostatistics., EAGE Student Lecture Tour RUSSIA & CIS 2011-2012. 2012. 117 с.
8. *Пистменный Д.Т.* Конспект лекций по теории вероятности, математической статистики и случайным процессам. Айрис-пресс, 2010. 288 с.
9. *Станивский П.В., Левин Д.Н., Прудников А.А., Бирун Е.М.* Методика и результаты анализа неопределенностей и рисков при оценке запасов и планировании бурения скважин // Тезисы докладов геофизической конференции ЕАГО «Сочи-2011». 2011.
10. *Струкова О.В., Закревский К.Е.* Геологическое моделирование в RMS. Практические упражнения. 2D и 3D моделирование. 2012. 694 с.