

**ВЛИЯНИЕ СТРУКТУРНЫХ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТЕЙ
НА ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ РИСКИ**

STRUCTURE UNCERTAINTIES INFLUENCE ON GEOLOGICAL RISKS

Т. И. Хасанов, А. А. Куркин, С. А. Федоров, Е. А. Зыза, В. А. Пономаренко

T. I. Hasanov, A. A. Kurkin, S. A. Fedorov, E. A. Zyza, V. A. Ponomarenko

*ООО «НОВАТЭК НТЦ», ООО «НППГМ "ГЕОСЕЙС», ООО «ЛНТНГ» Петрограф»,
г. Тюмень**Ключевые слова: структурная неопределенность; оценка рисков;
внутренняя сходимость; скоростная ошибка; временная ошибка**Key words: structure uncertainty; risks evaluation; intrinsic convergence;
velocity error; time error*

В последние годы нефтяные компании на этапе геологоразведочных работ все больше внимания уделяют оценке возможных рисков, связанных с геологическими факторами. Данный подход предполагает как объективную оценку, рассчитанную в полуавтоматическом режиме, так и экспертную оценку. Сам по себе риск является сочетанием вероятности и последствий наступления неблагоприятных событий и в основном определяется вероятностной характеристикой, имеющей безразмерную величину от 0 до 1.

Одним из основных факторов, который в значительной степени влияет на итоговые геологические риски, является величина структурных неопределенностей. Данный фактор принято оценивать по «Методическим рекомендациям...» 2006 г. [1] с помощью анализа внешней сходимости данных сейсморазведки с данными бурения. В условиях недостаточной разбуренности часто используют «Методические указания...» 1984 г. [2], где учитывается также внутренняя сходимость метода. В основу методики положены количественная оценка точности структурных построений, точность определения параметров подготовки структур и надежность выявленных структур.

1. Точность структурных построений определяется как совокупность погрешности, рассчитанной по внутренней сходимости данных глубинно-скоростной модели и оцененной по внешней сходимости данных сейсморазведки с данными бурения.

2. Точность определения параметров подготовки структур сводится к сопоставлению оценки данных сейсморазведки с данными глубокого бурения и производится только для подготовленного объекта.

3. Надежность выявленных структур характеризуется вероятностью события, когда сейсмическая структура реально существует и включает в себя такие факторы, как размеры структуры, точность структурных построений, плотность сейсмических данных и коэффициент прослеживаемости целевого горизонта.

4. В конце проводится оценка качества сейсморазведочных работ. Данный анализ сводится к сравнению параметров структуры, из которых складывается надежность ее существования, с аналогичными параметрами по всем объектам НГО. Структура счи-

тается условно существующей, если надежность структуры превышает среднюю надежность по структурному этажу.

Описанная методика по своему объему и глубине представляет собой большую аналитическую работу, с большим объемом статистической информации не только по рассматриваемым объектам, но и по структурам в пределах НГО. Однако в наше время во главу угла поставлены такие критерии, как стоимость работ и их сроки, поэтому реализация изложенной методики в короткий период малыми силами зачастую не представляется возможной. По этой причине, при оценке рисков структурных неопределенностей, предлагаем использовать только оценку качества структурных построений вместе с надежностью выявления структур. Это позволит с одной стороны оценить точность глубинно-скоростной модели и сопоставить эти данные с размерами выявленных структур, из чего рассчитывается значение риска, а с другой стороны — сократить время на проведение необходимых расчетов.

Параметры в данной методике, вычисляемые в виде погрешности, представлены в виде отклонения рассчитанного значения величины от ее истинного (действительного) значения. По причине своего возникновения данный вид погрешности относится к методической погрешности, которая обусловлена несовершенством метода, а также упущениями, положенными в основу методики [3].

Расчет структурной неопределенности (внутренняя сходимость). По методике 1984 года для вычисления ошибки структурных построений, предлагалось рассчитывать погрешности структурной карты, которая, в свою очередь, складывалась из дисперсии погрешностей структурных построений по профилям (σ_n) и дисперсии погрешностей интерполяции ($\sigma_{инт}$):

$$\sigma^2 = \sigma_n^2 + \sigma_{инт}^2.$$

Расчет значения среднеквадратичной ошибки для каждого горизонта производится по формуле

$$\sigma_n^2 = \frac{1}{4} \sqrt{V^2 * \sigma_t^2 + t^2 * \sigma_v^2},$$

где V — среднее значение скорости, σ_v — дисперсия погрешности средних скоростей, t — среднее значение двойного времени, σ_t — дисперсия погрешностей времени.

Полученное значение (σ) является обычным числом, характеризующим среднеквадратичную ошибку по конкретному горизонту. Данная константа плохо отражает реальную ошибку в каждой конкретной точке грида, поскольку фактическая неопределенность с высокой степенью вероятности в удаленных от бурения областях отстраиваемой карты будет занижаться, а вблизи скважин — завышаться. Эта проблема послужила стимулом для адаптации методики, составленной таким образом, чтобы распределить среднеквадратичную ошибку по площади. Сейчас значение этой ошибки рассчитывается в каждом узле грида, так как одновременно учитываются сразу все данные о структурном каркасе по горизонту [4]. В основном варианте расчета среднеквадратичной ошибки отсутствует параметр дисперсии погрешностей интерполяции ($\sigma_{инт}$), так как он потерял свою актуальность в связи с совершенствованием и автоматизацией процесса картопостроения.

Ранее для количественной оценки точности структурных построений использовали либо расчет по внутренней сходимости, либо по сопоставлению с данными бурения (внешняя сходимость). Сейчас эти два метода могут использоваться параллельно, а результаты их расчетов суммируются для получения наибольшей возможной ошибки. Алгоритм, применяемый нами для расчета погрешностей структурных построений и определения рисков, связанных с ними, представлен на рис. 1.

Как видно на рисунке, концепция расчета ошибки по внутренней сходимости состоит из комбинированного перемножения исходных данных, участвующих при построении структурного каркаса, на расчетные параметры, которые представлены в виде карт ошибок. Так, исходная карта изохрон перемножается на скоростную ошибку, а карта средних скоростей перемножается на карту временных ошибок. В свою очередь карты временных и скоростных ошибок последовательно рассчитываются по следующим алгоритмам.

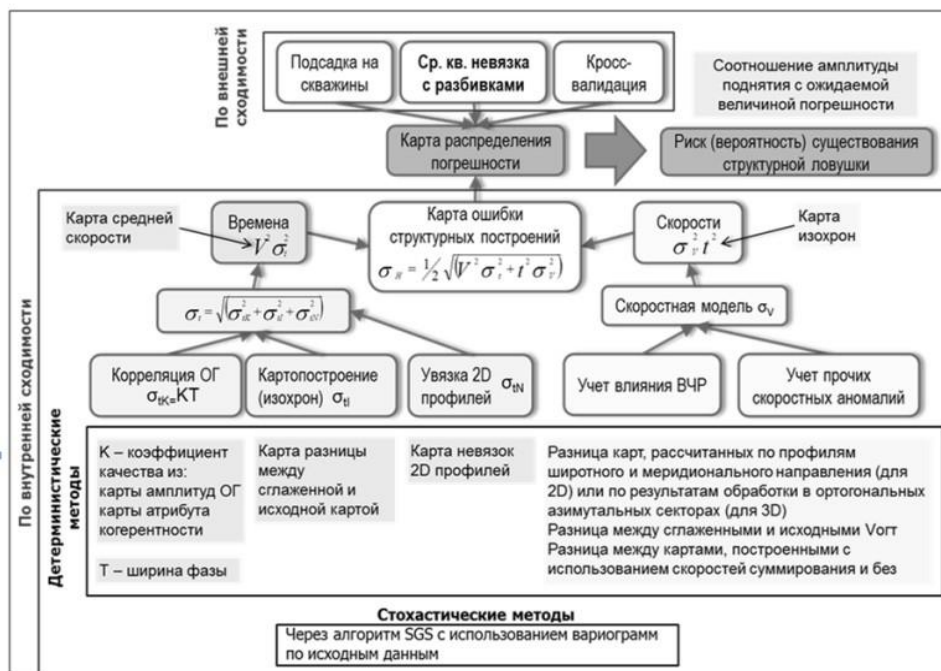


Рис. 1. Оценка геологических рисков для структурной ловушки

Расчет погрешности определения скоростей. Для расчета карты скоростной ошибки предлагается использовать разницу между картами сейсмических скоростей, рассчитанных во взаимно перпендикулярных направлениях. В нашем случае (2D-сейсморазведка) для расчета весь массив профилей делится на две группы: субширотные и субмеридиональные [5].

По каждой группе строится отдельная карта, после чего вычисляется разница между ними. Области большой разницы с высокой степенью вероятности соответствуют высокой неопределенности скоростной характеристики среды и зонам аномалий скоростей. Итоговая карта погрешности определения скоростей берется по модулю (рис. 2).

На карте наблюдается общая взаимосвязь между плотностью сети профилей и величиной ошибки. Низкие значения ошибки приурочены к области с высокой плотностью площадных работ. Увеличение ошибки, наоборот, свойственно одиночным и региональным профилям, включая краевые эффекты и значительные расхождения с площадными работами. Причиной тому послужило использование разномастного сейсмического материала, с различным качеством обработки.

Расчет погрешности определения времен. Временная ошибка включает в себя три компонента: погрешность корреляции отражающего горизонта σ_{tK}^2 , погрешность при картопостроении σ_{tI}^2 и погрешности увязки профилей σ_{tN}^2 .

$$\sigma_t = \sqrt{\sigma_{tK}^2 + \sigma_{tI}^2 + \sigma_{tN}^2}.$$

Погрешность корреляции отражающего горизонта σ_{tK} рассчитывается как произведение ширины коррелируемой фазы (T/4) на качество прослеживаемости отражающего горизонта (K)

$$\sigma_{tK} = K * T/4.$$



Рис. 2. Карта скоростной ошибки

Расчет параметра $T/4$ производится через построение карты атрибута «максимальная длительность сигнала (ширина фазы)» («maximum loop duration», Loop). Атрибут рассчитывается в интервале между двумя ближайшими экстремумами («closest trough» в случае, если горизонт проведен по положительной фазе, либо «closest peak» в случае, если горизонт проведен по отрицательной фазе), окно поиска (search window) задается так, чтобы захватить ближайшие экстремумы, по умолчанию предлагается задавать 50 мс вверх и вниз от горизонта. Значения карты атрибута делятся на 2 (половина ширины фазы): $T/4 = \text{Loop}/2$.

Качество прослеживаемости отражающего горизонта K рассчитывалось при помощи сейсмического атрибута «максимальная амплитуда» («maximum magnitude»). Окно для расчета использовалось такое же, что и для расчета ширины коррелируемой фазы (вверх и вниз от горизонта на интервал $\text{Loop}/2$).

Карта качества прослеживаемости нормируется от 0 до 1, где

$K = 0$ — высокие значения амплитуд, уверенное прослеживание фазы,

$K = 1$ — низкие значения амплитуд, слабое прослеживание фазы.

В некоторых случаях можно увеличить максимальное значение K больше 1 для того, чтобы отразить увеличение интервала погрешности корреляции в зонах плохой прослеживаемости, где не сработал параметр $T/4$.



Рис. 3. Карта погрешности корреляции ОГ

Карта произведения параметров $\sigma t K = K \cdot T/4$ принимается равной среднеквадратичной ошибке. Производится визуальная проверка интервала погрешности корреляции на сейсмических разрезах с вынесением поверхностей «горизонт + $\sigma t K$ », «горизонт – $\sigma t K$ », в случае необходимости — ручная корректировка карты интервала.

По результатам расчета погрешности корреляции большую роль на значения атрибутов оказывает процесс обработки, увязки сейсмических данных и, самое главное, их качество. С большой долей условности можно выделить взаимосвязь рассчитанных атрибутов с рельефом и условиями осадконакопления (рис. 3).

Погрешность при картопостроении σ_{tI} рассчитывается через карту разницы между сглаженной (конечной) и исходной картой изохрон (полученной из корреляции горизонта). Карта отражает любые субъективные правки, вносящиеся интерпретатором при картопостроении, а также возможные ошибки алгоритма и погрешности (заглаживание мелких структурных элементов). Значения на карте разницы берутся по модулю и принимаются равными среднеквадратичной ошибке картопостроения σ_{tI} (рис. 4).



Рис. 4. Карта погрешности при картопостроении

По фактическим данным погрешность при картопостроении характеризует повышенными значениями те участки территории, которые в рельефе несглаженной карты представляли резкие впадины, поднятия, выступы или структурные носы, имеющие небольшую площадь распространения. Данные структуры в большей степени подвержены сглаживанию и, как следствие, имеют наибольшую ошибку. С другой стороны, повышенные значения также отмечаются на концах профилей, относятся к краевым эффектам и требуют дополнительного анализа для обоснования завышенных ошибок. В основном при незначительных перепадах глубин и отсутствии краевых эффектов ошибка редко превышает 5–10 метров, что не является критичным при оценке структурных рисков.

Погрешности увязки профилей σ_{tN} рассчитываются только в случае 2D-сейсморазведки как карта невязок корреляции ОГ в точках пересечения сейсмических профилей после увязки профилей по фазе. Значения на карте разницы берутся по модулю и принимаются равными среднеквадратичной ошибке увязки профилей σ_{tN} . В случае 3D-сейсморазведки данная погрешность принимается равной нулю.

Фактически значения погрешности увязки профилей в 80 % укладываются в диапазон от 10 до 15 мс, за исключением краевых эффектов и единичных случаев, которые требуют отдельного рассмотрения.



Рис. 5. Карта временных ошибок

Результирующая карта временных ошибок, рассчитанная на основе трех компонентов, в целом унаследовала все краевые эффекты, расположенные в областях либо с низкой плотностью, либо с полным отсутствием сеймопрофилей, и характеризуется там повышенными значениями ошибки. Логически это не противоречит общей концепции, согласно которой ошибка за пределами сеймопрофилей должна быть выше, чем на территории, покрытой сейморазведочными работами. В основном в пределах территории исследования временная ошибка составляет не более 12–15 мс, что не превышает значения ошибок, рассчитанных по компонентам. Также стоит отметить, что те структуры, которые имеют резкие перепады глубин и небольшое распространение по площади, так и остались с повышенными значениями временной ошибки (рис. 5). Это является наиболее интересным моментом, так как характеризует структурные объекты повышенными рисками по временной составляющей, на которое стоит обратить особое внимание при рассмотрении их в качестве перспективных объектов.

По результатам *расчета погрешности структурных построений* по внутренней сходимости можно отметить, что результирующая карта в целом повторяет очертания карт изохрон и средних скоростей (рис. 6).



Рис. 6. Карта погрешности структурных построений (внутренняя сходимость)

Так, закономерное увеличение значений t_0 от периферии к осевой части бассейна отражается и увеличением среднеквадратичной ошибки в этом направлении. На общем фоне заметно выделяются участки, которые на картах временной и скоростной ошибки имели пониженные значения. Прежде всего это участки с пониженными значениями ошибок, которые приурочены к территории с высокой плотностью сейсмопрофилей. Краевые эффекты и различные некорректные значения за пределами сейсмопрофилей практически не выделяются на общем фоне, что является положительной стороной многокомпонентной системы, в которые данные проблемы нивелируются исходными данными.

Оценка по внешней сходимости сейсморазведки с данными бурения. Полученные оценки погрешностей необходимо проверять на сходство с оценками по внешней сходимости данных сейсморазведки со скважинными данными (ретроспективный метод), то есть, по разнице рассчитанных неподсаженных карт глубин и фактических глубин в точках скважин.

Проверку бурением предлагается имитировать поочередным исключением одной или нескольких скважин из процесса подсадки карты. Такой подход называется кросс-валидацией. Он необходим для проверки кондиционности структурной карты и характеризует среднеквадратичную ошибку по горизонту. Такой метод дает более взвешенную оценку, чем стандартный метод определения среднеквадратической ошибки, а также может дать информацию о распределении этой ошибки по площади.

В результате применения метода кросс-валидации рассчитывается количество карт, равное количеству скважин, вскрывших ОГ, для которого определяется погрешность. По всем полученным картам вычисляется огибающая, которая представляет собой карту распределения максимального разброса полученных значений.

В качестве карты распределения ошибки по внешней сходимости можно использовать собственно карту невязок с данными бурения (карту подсадки на разбивки), либо постоянное по площади значение среднеквадратического отклонения невязок со всеми разбивками. Так как целевой горизонт вскрыт очень малым количеством скважин, то для него рассчитывалось постоянное значение.

Итоговую погрешность предлагаем рассчитывать как максимальное значение составляющих (по внутренней внешней сходимости) в каждой точке карты. По данным кросс-валидации, среднеквадратичная ошибка составила 30 м, что существенно ниже ошибки, рассчитанной по внутренней сходимости (около 110 м). Это говорит о недостаточности статистических данных для расчета погрешности по внешней сходимости.

Оценка надежности выделенной структуры характеризуется вероятностью P , когда структура реально существует. При расчете существования структуры такие параметры, как амплитуда и площадь, были представлены в виде карты амплитуд. Распределение амплитуд реализовано путем расчета разницы между исходной и сглаженной структурными картами. Далее из карты разницы вырезались участки, в которых выделены объекты, и карта заново отстраивалась по этим участкам с учетом тренда. В качестве тренда использовалась та же карта разницы исходной и сглаженной поверхностей. В результате, итоговая карта бралась по модулю, чтобы исключить отрицательные значения амплитуд, и сравнивалась с имеющейся картой среднеквадратичной погрешности структурных построений.

При создании карты рисков учитывалось условие, при котором амплитуда в каждой точке сравнивалась с погрешностью, и если амплитуда превышала двойную ошибку, то риск на структурный фактор в данной точке принимался за 1. Если же амплитуда была меньше погрешности, то тогда пропорционально рассчитывалось значение риска в данной точке. По итогам расчетов создавалась карта рисков структурных неопределенностей (рис. 7). По ней в пределах контуров выделенных залежей рассчитывалось среднее значение риска на каждую структуру.

Анализируя полученные карты, можно сделать вывод о том, что при оценке структурных рисков все значения сводятся к соотношению амплитуды объекта с величиной погрешности. Об этом свидетельствует то, что объекты, имеющие погрешность от 50 до 150 м, могут иметь риск на структуру, равный 1. Около 60 % объектов имеют низкие риски благодаря удачному соотношению двух параметров и, как следствие, большую вероятность существования структуры.

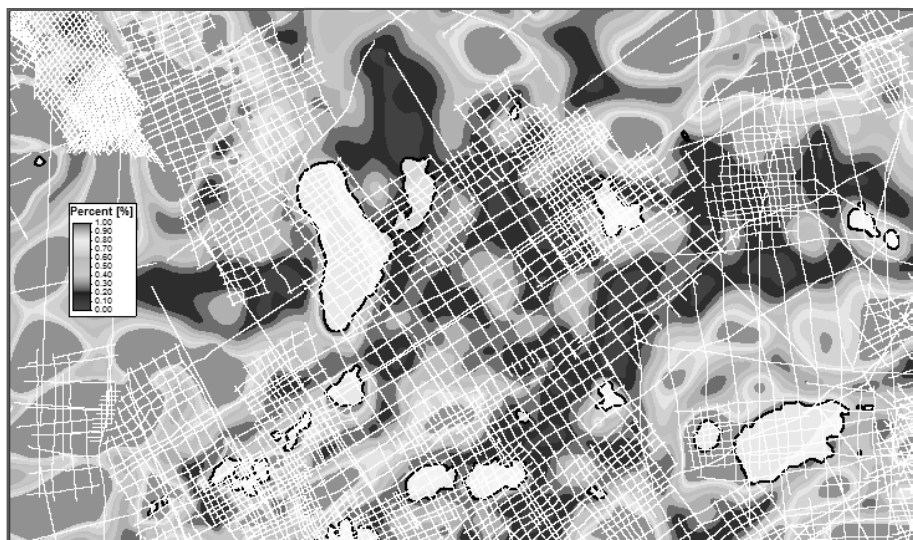


Рис. 7. Карта структурных рисков

Площадь объектов учитывается косвенно, так как при расчете среднего значения рисков учитывались данные по всей площади объекта. По сравнению с прошлой методикой, для обозначения амплитуды структуры использовалось одно число, которое как правило составляло максимальную амплитуду в куполе структуры. В текущей ситуации, даже если амплитуда структуры превосходит погрешность в куполе, то это совершенно не означает, что такая величина сохраняется по всей площади объекта. Это отражается на карте рисков, где видно, что низкий риск на структуру приурочен к замку структуры, в то время как на ее крыльях значения рисков возрастают в половину.

По итогам оценки влияния структурных неопределенностей на геологические риски стоит сказать, что намеченная тенденция на увеличение детальности и скорости расчетов приводит к возникновению нового класса проблем. Это, прежде всего, проблемы, связанные с пространственным распределением погрешностей структурных построений, учетом различного рода дополнительной и априорной информации. К такой информации можно отнести данные геофизических исследований (магниторазведка, гравитаразведка и электроразведка). В текущей работе почти все погрешности, полученные за пределами сейсмопрофилей, имели завышенные значения. С другой стороны, если бы в этих местах учитывались данные геофизических исследований, то это могло помочь дать более обоснованный прогноз распределения ошибок, а следовательно, и более взвешенную оценку рисков.

Согласно числовым показателям, расчет стандартным методом среднеквадратичного отклонения составил около 22 м, в то время, как среднее значение по карте погрешностей структурных построений (см. рис. 6) составило чуть больше 100 м. Такое отличие обусловлено в первую очередь низкой изученностью анализируемого горизонта бурением и отражает недостатки использования традиционного подхода. Пространственное распределение ошибки дает серьезное преимущество при оценке качества структурных построений. Так, по исследованному горизонту ошибки изменяются от 60 м в областях с повышенной плотностью с/п до 200 м в областях с редкой сеткой с/п. Очевидно, что оценку стандартным методом можно с большой степенью условности принять корректной только для разбуренных поднятий. В погруженных зонах, областях скоростных аномалий, местах плохой прослеживаемости отражающего горизонта ошибка будет существенно выше.

Список литературы

1. Методические рекомендации по использованию данных сейсморазведки (2D,3D) для подсчета запасов нефти и газа. – М.: ОАО «ЦГЭ», 2006.

2. Инструкция по оценке качества структурных построений и надежности выявленных и подготовленных объектов по данным сейсморазведки МОВ ОГТ (при работах на нефть и газ). – М.: ВНИИГеофизика, 1984.
3. Мадера А. Г. Риски и шансы: неопределенность, прогнозирование и оценка. – М., 2014.
4. Куркин А. А., Курышкин С. Е., Долгих Ю. Н. Методика расчета карт распределения структурной неопределенности. – М.: РГУ нефти и газа имени И. М. Губкина, 2015
5. Федоров С. А., Куркин А. А. и др. Создание единой сейсмогеологической модели строения Гыданского полуострова, комплексное изучение перспектив его нефтегазоносности. – Тюмень: ООО «НОВАТЭК НТЦ», 2013.

Сведения об авторах

Хасанов Тимур Ильдарович, аспирант, Тюменский государственный нефтегазовый университет, г. Тюмень, ведущий геолог, ООО «ЛНТНГ «Петрограф», тел. 8912990-84-18, e-mail: has_ti@geoseis.ru

Куркин Александр Анатольевич, аспирант, Тюменский государственный нефтегазовый университет, г. Тюмень, начальник отдела, ООО «НОВАТЭК НТЦ», тел. 89058205869, e-mail: aakurkin@novatek.ru

Федоров Сергей Александрович, руководитель группы, ООО «ЛНТНГ «Петрограф», г. Тюмень, тел. 79129908418, e-mail: fed_sa@geoseis.ru

Зыза Евгений Александрович, аспирант, Тюменский государственный нефтегазовый университет, г. Тюмень, руководитель группы, ООО «НППГМ «Геосейс», тел. 89220030656, e-mail: ziz_ea@geoseis.ru

Пономаренко Вадим Александрович, аспирант, Тюменский государственный нефтегазовый университет, г. Тюмень, геолог 1-й категории, ОАО «НАК АКИ-ОТЫР», тел. 89829003725, e-mail: mann86@yandex.ru

Information about the authors

Hasanov T. I., postgraduate of Tyumen State Oil and Gas University, leading geologist of LLC «LNTNG Petrograph», phone: 89129908418, e-mail: has_ti@geoseis.ru

Kurkin A. A., postgraduate of Tyumen State Oil and Gas University, head of the department of LLC «NOVATEK NTC», phone: 89058205869, e-mail: aakurkin@novatek.ru

Fedorov S. A., team manager at LLC «LNTNG Petrograph», phone: 89129908418, e-mail: fed_sa@geoseis.ru

Zyza E. A., postgraduate of Tyumen State Oil and Gas University, team manager at LLC «NPPG Geoseis», phone: 89220030656, e-mail: ziz_ea@geoseis.ru

Ponomarenko V. A., postgraduate of Tyumen State Oil and Gas University, category I geologist of OJSC «NAK AKI-OTYR», phone: 89829003725, e-mail: mann86@yandex.ru