

# ОЦЕНКА ПОГРЕШНОСТИ И НАДЕЖНОСТИ СЕЙСМИЧЕСКИХ СТРУКТУРНЫХ ПОСТРОЕНИЙ

**А. Г. Авербух**, главный геофизик отдела интерпретации данных сейсморазведки, д-р техн. наук

**Н. Л. Иванова**, научный сотрудник отдела интерпретации данных сейсморазведки, канд. физ.-мат. наук

ОАО ЦГЭ

Любая структурная карта, построенная по данным сейсморазведки, содержит ошибки, вызванные погрешностями сейсмических данных, а в случае съемки 2D – еще и погрешностями их интерполяции. Карты применяются при решении постоянно обновляемого комплекса геолого-геофизических задач; оценка их надежности, несмотря на значительное внимание, уделяемое проблеме [1–4], остается актуальной и, к сожалению, на сегодняшний день не до конца решенной задачей, особенно для данных 3D сейсморазведки. Актуальны вопросы как вычисления погрешностей сейсмических построений, так и определения их влияния на надежность выявления и оконтуривания перспективных геологических объектов, на выбор местоположения скважин и на оценку ресурсов углеводородов.

В качестве количественной характеристики сейсмических ошибок необходимо и достаточно рассматривать их вариограмму [5, 6], значения которой определяются среднеквадратичной ошибкой  $\sigma$  и эффективным радиусом их корреляции  $\alpha$ . Среднеквадратичная ошибка характеризует отклонения прогнозируемых глубин (времен, скоростей) от реальных; радиус корреляции – расстояние, на котором ошибки становятся статистически независимыми.

На практике при оценке ошибок нередко ограничиваются определением только их среднеквадратичного значения. Оценка  $\sigma$  достаточно информативна только при радиусах корреляции гораздо меньших, чем размеры изучаемых объектов, во всех других случаях учет пространственной коррелированности ошибок может существенно менять представления о надежности построений. В сейсморазведке коррелированность ошибок возникает как обязательное следствие использования многократно перекрывающихся наблюдений. Минимальный радиус корреляции сейсмических погрешностей составляет порядка  $L$ , где  $L$  – длина сейсмической расстановки.

**Оценка погрешностей сейсмических данных.** В качестве исходных используем данные об участке, содержащем достаточное для построения вариограммы число скважин, находящихся в точках с координатами  $(x_1, y_1), \dots, (x_k, y_k)$ . В этих точках имеются скважинные данные  $(H_1, \dots, H_k)$  о глубинах залегания границы и соответствующие значения сейсмических времен  $(t_1, \dots, t_k)$ . На рис. 1 показаны линейный тренд  $H_r(t) = a_t + b$  зависимости глубина – время (полученный на участке работ 3D площадью 400 км<sup>2</sup>, где располагалось свыше 100 скважин) и найденная по тем же данным вариограмма. В этом реальном примере по тренду и вариограмме получены идентичные оценки значений среднеквадратичной ошибки ( $\sigma = 64$  м), а по вариограмме, кроме того, оценен эффективный радиус корреляции ( $\alpha \approx 3000$  м). Средняя ошибка, в силу независимости исходных значений  $H$  и  $t$ , в данном случае равна нулю.

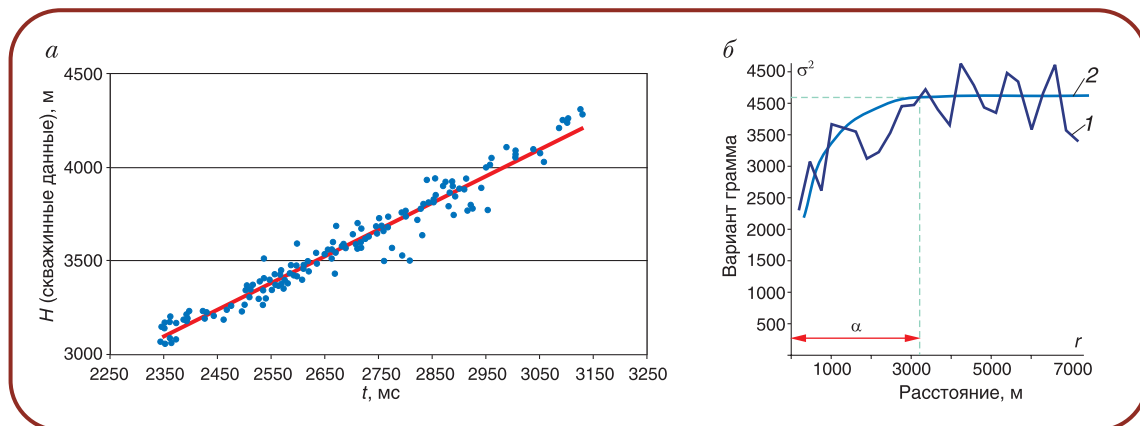
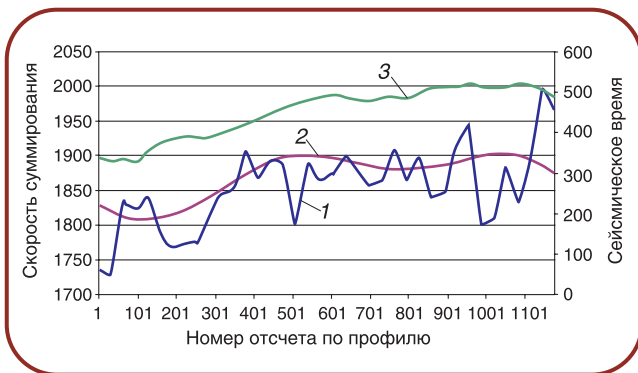


Рис. 1. Линейный тренд зависимости глубина – время (а) и найденная по тем же данным вариограмма (б): 1, 2 – эмпирическая и теоретическая модели соответственно

Нередко на практике для построения структурных карт применяется не непосредственно тренд  $H(t)$ , как на рис. 1, а, а независимая скоростная модель, которая в точках скважин дополнительно корректируется таким образом, чтобы обеспечить совпадение с известными по скважинам глубинами, либо же скоростная модель строится по данным о глубинах  $H_i$  и сейсмических временах  $t_i$ ;  $v_i = H_i/t_i$ . Оба эти случая сводятся к рассмотренному выше, если по результирующей структурной карте в точках скважин построим тренд  $H_{tr}(t) = f(t)$  типа представленного на рис. 1. Дополнительно появляется возможность оценить среднеквадратичную погрешность используемой скоростной модели.

Часто нет достаточной скважинной информации для оценки сейсмических погрешностей. В этом случае ошибки оцениваем по флуктуациям скоростей суммирования либо непосредственно, либо после пересчета их в средние скорости. Используем предположение, что на участках плавного поведения временных сейсмических границ скорости также должны плавно меняться в пространстве. Поэтому «излишние» (с точки зрения допустимого уровня гладкости) флуктуации скоростей являются ошибочными. Используя алгоритм сглаживания скоростей, учитывающий плавность зависимости скорости от времени и гладкость ее изменения вдоль временных горизонтов, оцениваем среднеквадратичные ошибки скоростей, а по ним находим ошибки времен  $t_0$ . На рис. 2 приведен пример сглаживания по профилю значений скорости суммирования с учетом поведения временного горизонта. Результирующая оценка среднеквадратичной ошибки скоростей равна  $\sigma_v$ , соответствующая ей ошибка времен  $t_0$  составляет  $\sigma_{t_0}$  при радиусе корреляции ~4 км.



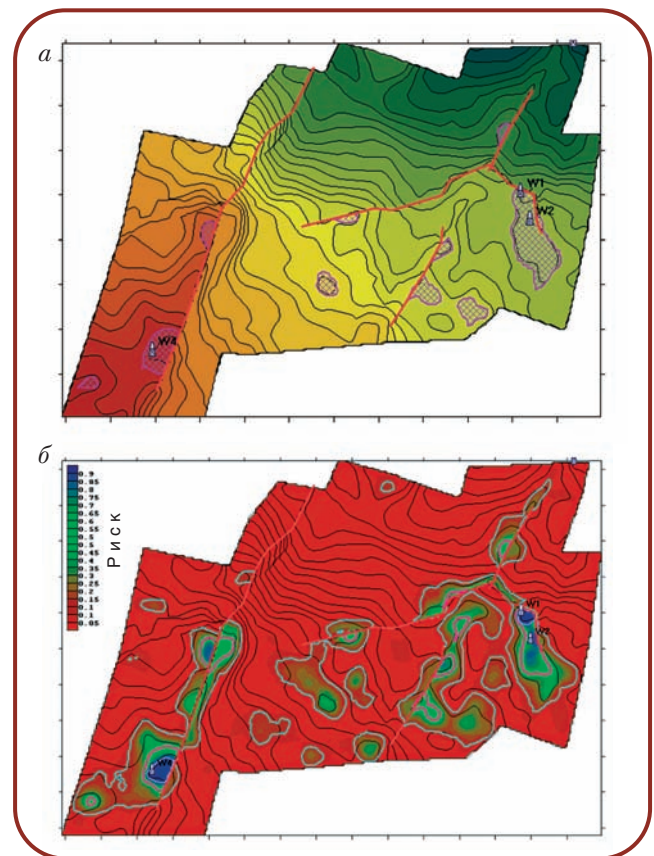
**Рис. 2. Пример сглаживания скоростей суммирования для оценки ошибок:**  
1 – исходная скорость суммирования; 2 – сглаженная скорость суммирования; 3 – время

В случае пространственной неоднородности поля ошибок будем использовать данные о погрешностях, относящихся к окрестности рассматриваемой точки. Карта отношения ошибки в фиксированной точке к интегральной ошибке, усредненной по всей рассматриваемой площади, определяет *относительную* ошибку, задающую неоднородность погрешностей по площади.

При построении структурных карт по данным съем-

ки 2D вне профилей присутствуют погрешности  $E_{int}$ , вызванные применением интерполяционной процедуры; вдоль профилей они равны нулю. Чтобы количественно оценить эти погрешности, применяем следующий алгоритм. Последовательно исключая из рассмотрения по одному профилю, получаем с помощью интерполяции карту, построенную без учета отброшенного профиля; находим ошибки на этом профиле вычитанием карт, построенных с его учетом и без. Повторив эту процедуру для каждого из профилей, получаем невязки, которые плавно сходятся к нулю в точках пересечения профилей. По полученным данным оцениваем среднеквадратичную ошибку интерполяции и эффективный радиус корреляции невязок.

**Моделирование погрешностей структурных построений.** Для оценки степени неопределенности структурных построений, вызванной сейсмическими ошибками, используем стохастическое имитационное моделирование полей ошибок глубин (времен, скоростей) в межскважинном пространстве, позволяющее генерировать множество допустимых реализаций структурных карт, отличающихся от исходной в пределах оцененных выше ошибок [6, 7]. Для имитационного моделирования допустимых карт применяется метод спектральных симуляций, позволяющий генерировать поля ошибок, отвечающие заданным параметрам: среднеквадратичной ошибке, радиусу корреляции и форме вариограммы. Да-



**Рис. 3. Варианты локализации замкнутых объектов:**  
а – стандартный детерминистический; б – стохастический

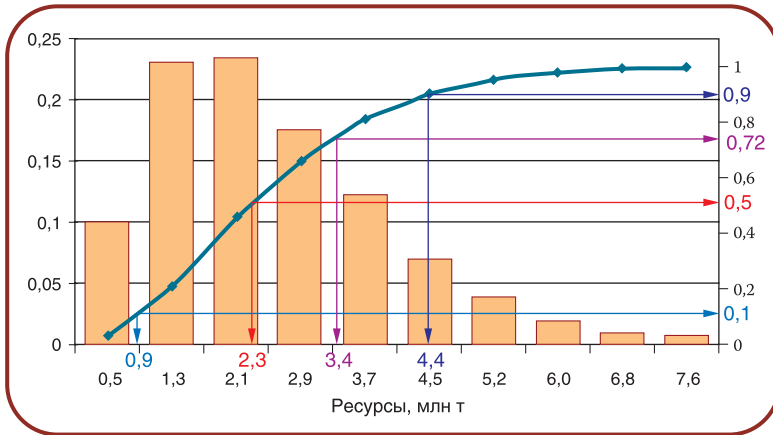


Рис. 4. Гистограмма и функция риска величины ресурсов

лее (если требуется) проводится учет нестационарности сейсмических погрешностей.

В точках скважин ошибки предполагаются равными нулю, область влияния каждой из скважин определяется значением радиуса корреляции. Таким образом, каждая скважина уменьшает ошибку в зоне своего влияния.

На основании множества допустимых структурных карт проводится локализация геологических объектов с учетом экранирующих элементов (экранирующих разломов, зон выклинивания и т. д.). Рис. 3 иллюстрирует стандартный и предлагаемый варианты локализации замкнутых объектов. Видно, что при стохастическом подходе учет погрешностей структурных построений позволяет более полно и гибко отобразить расположение, размеры и надежность замкнутых объектов, указывая в том числе и на возможность существования, в рамках определенной степени риска, дополнительных структур и структурных осложнений.

В результате имитационного моделирования получаем, кроме того, стохастические оценки пространственных характеристик каждого геологического объекта, а при заданной глубине контакта – и содержащейся в объекте залежи углеводородов, в частности площади, объема и амплитуды. Они представляются графически в виде час-

тотных гистограмм или графиков функции риска (рис. 4). Можно также применять интервалы 10–90 %-ного уровней риска (см. ниже).

На основе изложенных результатов создан программный комплекс оценки рисков, возникающих при использовании сейсмических карт для выявления и оконтуривания геологических объектов, обоснования положения поисковых и разведочных скважин, оценки запасов и ресурсов углеводородов. При расчетах моделируется не только влияние погрешностей сейсморазведки, но и неточностей определения эффективных толщин, положения

**Диапазоны 10-, 50-, 90 %-ного уровней риска пространственных характеристик залежей**

Уровень риска, %	10	50	90	Исходная карта
Площадь, км <sup>2</sup>	10,6	16,6	21,3	18,8
Амплитуда, м	14,4	18,6	25,4	19,9
Объем, млн м <sup>3</sup>	51,9	104,3	161,8	119,1

контактов, неопределенностей или ошибок прогноза фильтрационно-емкостных свойств, на следующие количественные показатели риска:

- ◆ надежность локализации и оконтуривания перспективных геологических объектов (ловушек и/или залежей углеводородов);
- ◆ пространственные характеристики (амплитуды, площади, объемы) геологических объектов;
- ◆ величины геологических и извлекаемых ресурсов и запасов;
- ◆ плотности ресурсов и запасов.

С помощью программного обеспечения Нурег Тгар по заказам ведущих нефтяных компаний (Роснефть, Лукойл, Зарубежнефть и пр.) выполнен количественный анализ рисков на ряде изученных сейсморазведкой и бурением объектов, расположенных в Западно-Сибирском, Тимано-Печерском, Северо-Африканском, Южно-Китайском и других бассейнах.



*Список литературы*

1. Инструкция по оценке качества структурных построений и надежности выявленных и подготовленных объектов по данным сейсморазведки МОВ–ОГТ (при работах на нефть и газ). – М.: Нефтегеофизика, 1984.
2. Кивелиди В. Х., Старобинец М. Е., Эскин В. М. Вероятностные методы в сейсморазведке. – М.: Недра, 1982.
3. Методические рекомендации по использованию данных сейсморазведки (2D, 3D) для подсчета запасов нефти газа // В. Б. Левянт, Ю. П. Ампилов, В. М. Глоговский и др. – М., 2005.
4. Методические рекомендации по подсчету геологических запасов нефти и газа объемным методом // Под ред. В. И. Петерсилье, В. И. Пороксуна, Г. Г. Яценко. – Москва – Тверь: ВНИГНИ, НПЦ Тверьгеофизика, 2003.
5. Демьянов В. В., Каневский М. Ф. Описание пространственной вариабельности и неопределенности. Стохастическое моделирование // Проблемы окружающей среды и природных ресурсов. – 1999. – № 11.
6. Dubrule O. Geostatistics for Seismic Data Integration in Earth Models: Distinguished Instructor Short Course. – Tulsa, Okla, 2003.
7. Ivanova N. L., Averbukh A. G. Modeling structural mapping errors for stochastic estimation of geologic risk // 66<sup>th</sup> EAGE Conference «Sharing the Earth». – Paris, 2004.