

А. Л. Медведев
В. В. Федоров
В. В. Масюков

ООО "СЛАВНЕФТЬ-НПЦ", ТВЕРЬ
ООО "СЛАВНЕФТЬ-НПЦ", ТВЕРЬ
ООО "СЛАВНЕФТЬ-НПЦ", ТВЕРЬ

ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ И ПОДТВЕРЖДАЕМОСТИ АТРИБУТНОГО ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ПАРАМЕТРОВ ПЛАСТОВ-КОЛЛЕКТОРОВ

Атрибутное прогнозирование параметров продуктивных пластов нефтяных месторождений прочно вошло в практику поисково-разведочных работ и эксплуатационного бурения. Однако вопросы оценки точности прогнозов, а также подтверждаемости прогнозных значений скважинами остаются чрезвычайно актуальными [1 - 4, 6] и нуждаются в дополнительном рассмотрении.

Традиционно подтверждаемость прогнозных значений параметра последующим бурением оценивается с помощью относительных расхождений $(\text{факт-прогноз}/\text{факт}) \cdot 100\%$. Такой подход не учитывает интервальный характер регрессионных оценок прогнозируемого параметра. При одном и том же абсолютном расхождении (факт-прогноз) подтверждаемость может изменяться по площади от хорошей (погрешность < 30%) в области больших значений параметра до плохой (погрешность 50 - 100% и более) в области малых значений.

Как определить точность прогноза и оценить расхождения (факт-прогноз), полученные при бурении новых скважин, в соответствии с используемой для прогноза регрессионной моделью?

При линейном прогнозировании некоторого параметра y по атрибуту x мы предсказываем долю изменчивости y , пропорциональную квадрату коэффициента корреляции (r). Остаточная доля $1 - r^2$ предполагается случайной погрешностью и не прогнозируется [5]. Однако при распределении остатков по нормальному закону можно локализовать доверительный интервал (рис. 1, а), в котором с высокой вероятностью будут находиться наблюдения (как существующие, так и те, которые могут быть сделаны). Очевидно, что ширина этого интервала при фиксированном значении доверительной вероятности (P) характеризует **точность прогноза**: чем уже интервал, т. е. чем меньше разброс точек, тем выше точность прогноза.

Какое значение доверительной вероятности зафиксировать? Нет строгого обоснования значений доверительной вероятности для целей геологического прогнозирования. Выбор основывается на допустимости риска ошибки. При прогнозировании с доверительной веро-

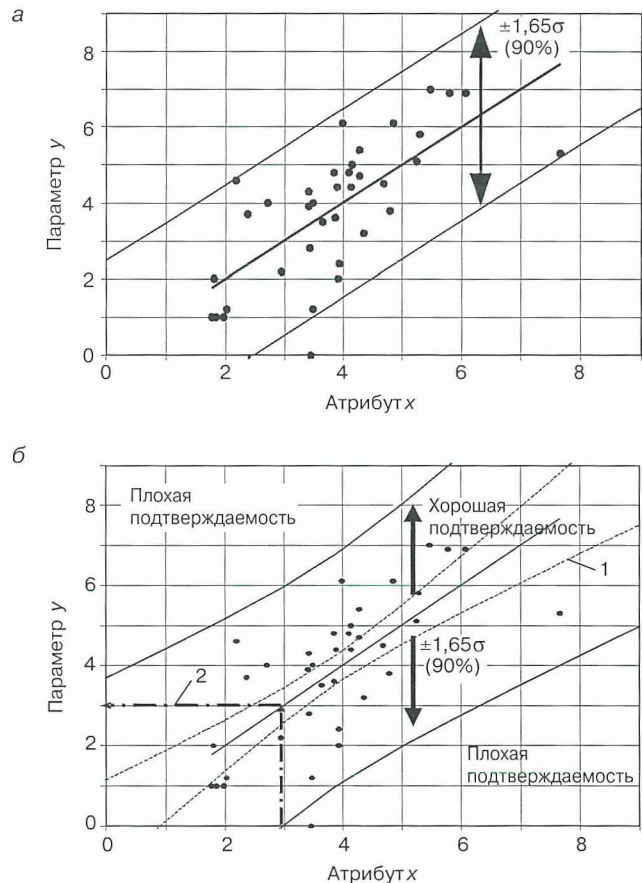


Рис. 1. Доверительный интервал, характеризующий точность прогноза и являющийся критерием для оценки подтверждаемости ($P = 90\%$):

а - случай генеральной совокупности; б - случай выборочной совокупности; 1 - доверительный интервал для линии регрессии; 2 - определение порогового значения прогнозируемого параметра, в областях карты со значениями ниже которого возможны 100-процентные относительные погрешности

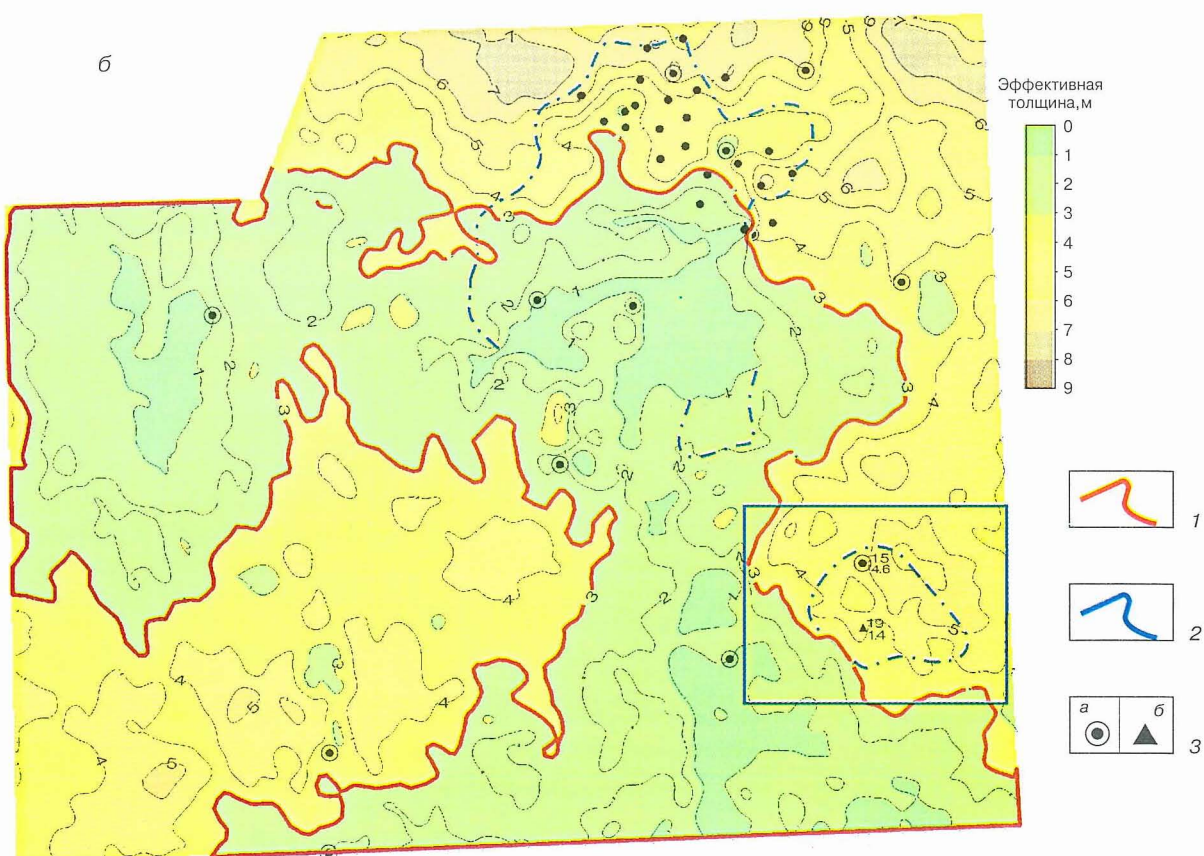
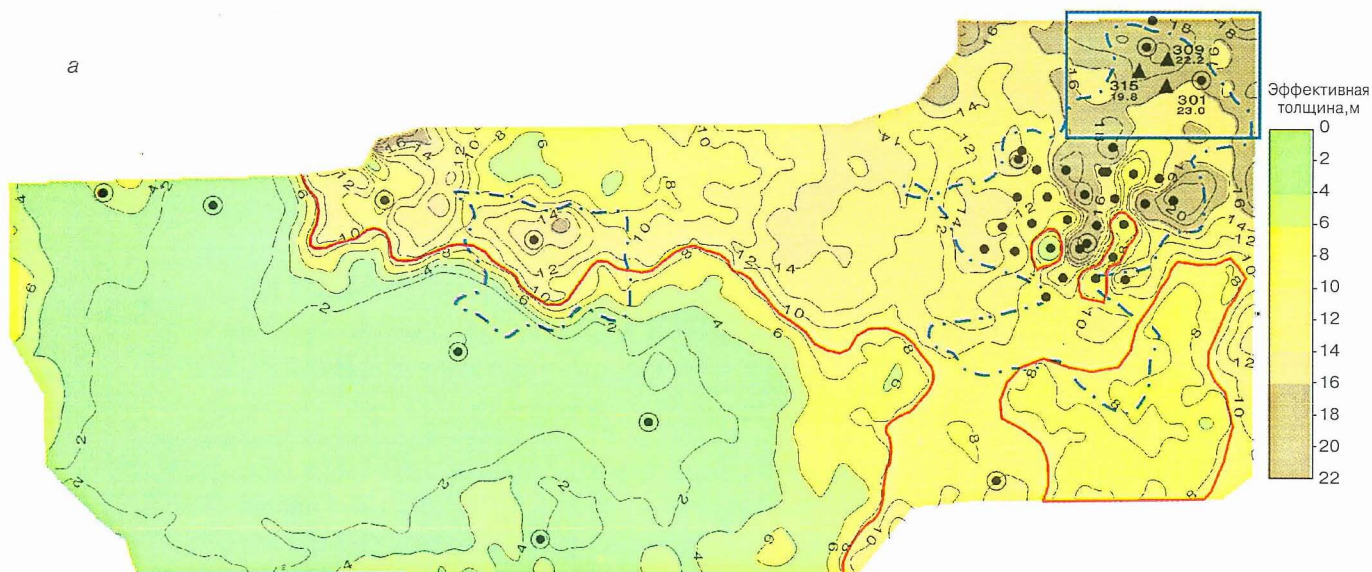


Рис. 2. Карта прогнозных эффективных толщин пласта ЮВ₁ Северо-Ореховского (а) и Западно-Аганского (б) месторождений:

1 - зоны повышенного риска (в сторону меньших значений эффективных толщин), где возможны 100-процентные и более относительные ошибки (факт-прогноз); 2 - области последующего бурения; 3 - скважины, использовавшиеся при прогнозе (а) и пробуренные после прогноза (б)

ятностью 90% в среднем 9 из 10 наблюдений будут находиться внутри доверительного интервала в $\pm 1,65\sigma$ (где σ - среднее квадратическое отклонение), т. е. в 90% случаев расхождение (факт-прогноз) не превысит $\pm 1,65\sigma$.

Таким образом, под точностью прогноза понимаются предельные абсолютные отклонения (факт-прогноз), которые не будут превышены с вероятностью P .

При определении доверительного интервала в случае *выборочной совокупности* необходимо оценивать соответствие закона распределения нормальному и учитывать погрешности оценки среднеквадратического отклонения и коэффициентов регрессии для данного числа используемых скважин (см. рис. 1, б). Из рис. 1, б видно, что ширина доверительного интервала не постоянна, она минимальна при $x = x_{ср}$ и возрастает по мере удаления от среднего значения атрибута [5], следовательно, изменяется по площади и точность прогноза.

Подтверждаемость прогнозируемых значений параметра последующим бурением естественно оценивать относительно попадания фактического наблюдения в доверительный интервал.

Под подтверждаемостью нами понимается соответствие прогнозного значения фактическому в данной точке. Подтверждаемость по единичному наблюдению следует отличать от подтверждаемости прогноза в целом.

Отклонение (факт-прогноз) в пределах доверительного интервала можно считать допустимым, подтверждаемость в этом случае является хорошей, а при наблюдении маловероятных больших расхождений, выходящих за пределы 90-процентного доверительного интервала прогноза, - плохой.

На рис. 1, б также видно, что в областях параметра со значениями, меньшими точности прогноза (например, в областях малых эффективных толщин), относительная погрешность $(\text{факт-прогноз}/\text{факт}) \cdot 100\%$ может достигать 100% и более. Это пороговое минимальное значение параметра определяется как проекция на ось ординат точки пересечения нижней границы доверительного интервала с осью абсцисс. Такие области на некотором удалении от пробуренных скважин будут в значительной степени неопределенными и представляют собой зоны риска (рис. 2). Используя доверительный интервал, можно зонировать прогнозную карту по уровню возможных *относительных погрешностей*, допустим, в 100, 50, 25%.

Рассмотрим оценки точности прогноза и подтверждаемости прогнозируемых значений эффективных толщин пласта ЮВ₁¹ Северо-Ореховского и Западно-Аганского месторождений (рис. 2, 3).

На Северо-Ореховском месторождении проявилась связь эффективных толщин с фактором 1, вычисленным по методу главных компонент по данным 3D-сейсморазведки в окрестности отражающего горизонта ТЮ₁, соответствующего кровле пласта ЮВ₁¹. На Западно-Аганском месторождении по данным 3D-сейсморазведки был осуществлен прогноз эффективных толщин пласта ЮВ₁¹ множественной корреляцией по трем амплитудным слайсам в окрестности отражающего горизонта ТЮ₁. В обоих случаях распределение остатков относительно линии регрессии, оцененное по критерию χ^2 , не противоречит нормальному закону. Статистические характеристики прогнозов приведены в табл. 1.

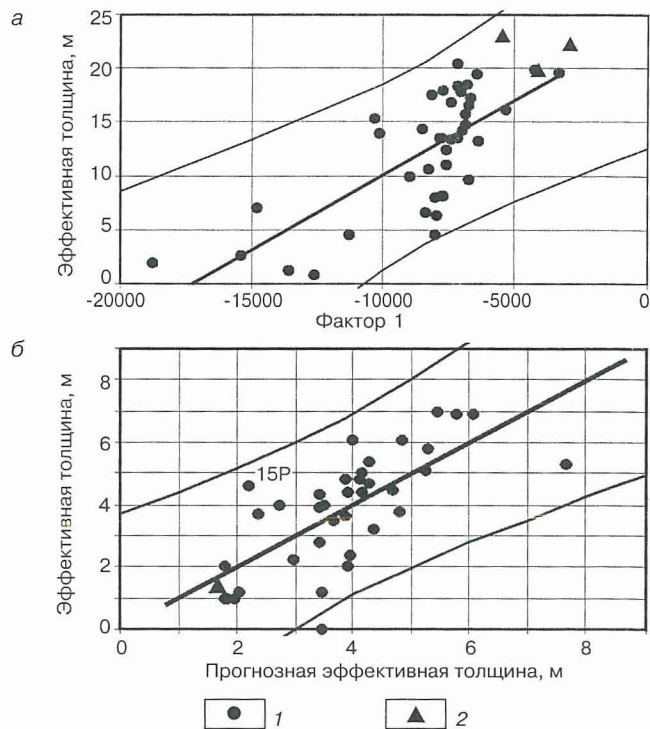


Рис. 3. Кросс-плоты зависимостей (атрибут-эффективная толщина пласта ЮВ₁¹) с границами 90-процентного доверительного интервала:

а - Северо-Ореховское месторождение; б - Западно-Аганское месторождение (по оси абсцисс показан результат множественной регрессии эффективных толщин с амплитудными слайсами); скважины: 1 - использовавшиеся при прогнозе, 2 - пробуренные после прогноза

1. Статистические характеристики прогнозов эффективных толщин пласта ЮВ₁¹ Северо-Ореховского и Западно-Аганского месторождений

| Статистическая характеристика | Северо-Ореховское | Западно-Аганское |
|---|-----------------------|----------------------|
| Изменчивость эффективной толщины пласта по скважинам, м | 0,8 - 20,4 | 0 - 7 |
| Число скважин, шт. | 41 | 37 |
| Коэффициент корреляции | 0,73 | 0,71 |
| Среднеквадратическая погрешность остатка по выборочным данным, м | 3,8 | 1,3 |
| Истинная среднеквадратическая погрешность с вероятностью 90%, не выше, м | 4,5 | 1,5 |
| 90-процентный доверительный интервал прогноза, м | $\pm(8,4 \dots 12,7)$ | $\pm(2,9 \dots 3,7)$ |
| Пороговое минимальное значение параметра, ниже которого возможны 100-процентные и более погрешности прогноза, м | 9 | 3 |

Данные подтверждаемости прогнозируемых значений эффективных толщин на Северо-Ореховском месторождении тремя последующими скважинами приведены в табл. 2. Все значения находятся в пределах вычисленного доверительного интервала, подтверждаемость по всем скважинам оценивается как хорошая.

2. Анализ подтверждаемости прогнозируемых значений эффективных толщин пласта ЮВ₁ Северо-Ореховского месторождения

| Номер скважины | $H_{эф. прогн.}$, м | $H_{эф. факт.}$, м | $\Delta H_{эф. (факт.-прогн.)}$, м |
|----------------|----------------------|---------------------|-------------------------------------|
| 301 | 16,4 | 23,0 | 6,6 |
| 309 | 20,1 | 22,2 | 2,1 |
| 315 | 18,5 | 19,8 | 1,3 |

На Западно-Аганском месторождении после прогноза была пробурена скважина 19Р. Прогнозная эффективная толщина в точке пластопересечения - 4,2 м, фактическая - 1,4 м, погрешность прогноза - 2,8 м. Наблюдение лежит в пределах вычисленного доверительного интервала, подтверждаемость оценивается как хорошая. (Следует отметить, что такое большое расхождение (факт-прогноз) обусловлено влиянием скважины 15Р, которая находится в 1000 м к северу и завышает значения прогнозируемых по регрессионной модели толщин в прилегающей области. Вообще, значения параметра на прогнозной карте не всегда соответствуют регрессионным вследствие приведения вычисленного грида к фактическим скважинным данным, т. е. "посадки" на скважины. Влияние "посадки" на возможные ошибки прогноза выходит за рамки данной статьи и рассматривается, в частности, в работе [6]).

Рассмотренные примеры показывают, что для близких значений коэффициентов корреляции и числа использованных в прогнозе скважин при вариации толщин от 0 до 7 м (Западный Аган) в 90% случаев погрешность прогноза не превысит $\pm(2,9...3,7)$ м, а при изменчивости толщин от 0 до 23 м (Северо-Ореховское месторождение) ожидаемые ошибки не превысят $\pm(8,4...12,7)$ м. Следовательно, при расхождении (факт-прогноз) в 2,5 м и 7 м подтверждаемость может расцениваться как хоро-

шая для первого и второго случаев соответственно, тогда как погрешность прогноза, допустим, в 5 м будет слишком велика для Западного Агана и допустима для Северо-Ореховского месторождения. Все это свидетельствует о том, что **каждый прогноз осуществляется с некоторой точностью**, которую необходимо оценивать в каждом случае индивидуально в зависимости от:

- вариации параметра;
- коэффициента корреляции;
- числа используемых скважин.

ВЫВОДЫ. 1. Точность прогноза характеризуется шириной доверительного интервала при фиксированном значении доверительной вероятности. 2. Подтверждаемость прогнозных значений последующим бурением может расцениваться как хорошая при попадании новых данных в доверительный интервал регрессионной зависимости. 3. На основе доверительного интервала можно зонировать прогнозную карту по уровню возможных относительных погрешностей, допустим, в 100, 50, 25%.

Авторы с благодарностью примут замечания и критику, которые просим направлять по e-mail: sntver@tvcom.ru.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Городков А. Б., Мушин И. А., Погужев В. М.*, 2004, Оценка точности корреляционного прогнозирования параметров геологического разреза: Геофизический вестник, 2.
2. *Левянт В. Б., Билибин С. И., Шурыгин А. М.*, 2002, Граничные условия, способы оптимизации и подтверждаемость атрибутивного прогнозирования параметров продуктивных пластов по данным 3D и ГИС: Геофизика, спецвыпуск "Технологии сейсморазведки".
3. *Левянт В. Б., Керусов И. Н., Екименко В. А., Кошук Е. П., Федорчук Р. А., Шустер В. Л.*, 2003, Точность прогнозирования структурных построений и параметров продуктивных пластов по данным 3D в условиях карбонатного разреза: Геофизика, спецвыпуск "Технологии сейсморазведки-2".
4. *Медведев А. Л., Федоров В. В., Масюков А. В.*, 2003, Оценка точности и подтверждаемости прогнозов параметров пласта-коллектора: Тезисы докладов пятой научно-практической конференции "Геомодель-2003".
5. *Смирнов Н. В., Дунин-Барковский И. В.*, 1959, Краткий курс математической статистики для технических приложений: М., Гос. изд-во физико-математической литературы.
6. *Шленкин В. И., Федоров В. В., Масюков А. В., Масюков В. В.*, 2004, Об оценке точности корреляционного прогнозирования параметров геологического разреза. "Геофизический вестник" (в печати).

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Алексей Львович МЕДВЕДЕВ - ведущий геолог отдела геолого-геофизического моделирования и обобщения ООО "Славнефть-Научно-производственный центр".

Валерий Васильевич ФЕДОРОВ - кандидат геол.-минер. наук, начальник отдела геолого-геофизического моделирования и обобщения ООО "Славнефть-Научно-производственный центр".

Владимир Вадимович МАСЮКОВ - кандидат физ.-мат. наук, доцент, ведущий математик-программист отдела исследований и компьютерного обеспечения ООО "Славнефть-Научно-производственный центр".