

Статья опубликована в открытом доступе по лицензии CC BY 4.0

Поступила в редакцию 27.03.2026 г.

Принята к публикации 22.05.2026 г.

EDN: MVTPMN

УДК 550.834:552.578.061.4:539.217:519.2(571.1)

**Лебедев М.В., Новокрещин А.В., Шамкина К.П.**

ООО «РН-Геология Исследования Разработка», Тюмень, Россия, MVLebedev2@rn-gir.rosneft.ru, AVNovokreschin@rn-gir.rosneft.ru, KPShamkina@rn-gir.rosneft.ru

**Медведев С.Б.**

ООО «Харампурнефтегаз», Тюмень, Россия, MedvedevSB@kharampurneftegaz.ru

## **ОЦЕНКА ДОСТОВЕРНОСТИ ПРОГНОЗОВ ФИЛЬТРАЦИОННО-ЕМКОСТНЫХ СВОЙСТВ ПРОДУКТИВНЫХ ПЛАСТОВ ПО ДАННЫМ СЕЙСМОРАЗВЕДКИ**

*Оценка достоверности сейсмических прогнозов фильтрационно-емкостных свойств пластов - актуальная задача, имеющая большое практическое значение, а её теоретические основы недостаточно разработаны. Целью проводимых исследований является получение оценки, основанное на геостатистическом подходе к интерпретации сейсмических данных. Авторами предложено новое определение понятия «степень достоверности сейсмического прогноза», под которым предложено понимать вероятность попадания фактического значения геологического параметра в заранее заданный коридор прогноза.*

*Посредством геостатистического подхода для каждой точки изучаемой площади выделяется функция плотности вероятности параметра с математическим ожиданием. Полученные результаты допускают экспериментальную проверку, на основе которых строится вероятностная функция количества успешных контрольных скважин и определяются ее квантили, например, P90, P50, P10. Если фактическое количество успешных контрольных скважин попадает в интервал P90-P10, то оценка достоверности считается корректной. Разбор методики представлен на примере прогноза эффективной мощности продуктивного пласта на хорошо изученном месторождении Западной Сибири.*

**Ключевые слова:** оценка достоверности сейсмических прогнозов, фильтрационно-емкостные свойства пластов, геостатистический подход, продуктивный пласт, Западная Сибирь.

---

**Для цитирования:** Лебедев М.В., Новокрещин А.В., Шамкина К.П., Медведев С.Б. Оценка достоверности прогнозов фильтрационно-емкостных свойств продуктивных пластов по данным сейсморазведки // Нефтегазовая геология. Теория и практика. - 2026. - Т.21. - №2. - [https://www.ngtp.ru/rub/2026/14\\_2026.html](https://www.ngtp.ru/rub/2026/14_2026.html) EDN: MVTPMN

---

### **Введение**

Оценка достоверности сейсмических прогнозов фильтрационно-емкостных свойств (ФЕС) пластов, с одной стороны, является весьма актуальной задачей, имеющей большое практическое значение, с другой стороны, теоретические основы такой оценки разработаны далеко не в полной мере. К настоящему времени в этой области уже накоплен определенный опыт. При оценке достоверности прогноза коллекторских свойств по данным сейсморазведки используется среднеквадратическая ошибка и максимальное расхождение между прогнозными и скважинными данными [Безходарнов, 2006]. Для оценки достоверности прогнозных моделей применяется метод кросс-валидации [Лаврик и др., 2007]. Для оценки

достоверности подсчета запасов используется многовариантная модель резервуара, состоящая из 580 реализаций, в частности карты средних значений толщин и среднеквадратического отклонения параметра по всем реализациям модели [Потапов, Ефремова, 2023]. В рамках метода многовариантного прогноза коллекторов оценка достоверности прогноза выполняется на основе коэффициента корреляции и параметра «размах прогноза», показывающего разницу между минимально и максимально возможными прогнозными значениями для множества решений [Путилов, Селетков, Ладейщиков, 2021]. Достоверность прогноза выше при уменьшении величины размаха. Оценка достоверности сейсмических прогнозов выполняется по скважинам в пределах участка исследований, которые не включены в обучающую совокупность [Пинчук и др., 2022]. По контрольным выборкам оценивается достоверность прогноза [Приезжев, Егоров, Щелкунов, 2017; Егоров, Приезжев, 2020].

Предложен способ оценки достоверности сейсмических прогнозов, основанный на геостатистическом подходе и широко применяемый практиками. В нем показано, что для решения поставленной задачи могут использоваться *карты оценок погрешностей прогноза* ( $\sigma$ ), построенные на основе технологий крайгинга (кокрайгинга) [Левянт и др., 2006]. Эти карты рекомендовано трансформировать в карты уровня надежности посредством деления на *карты прогноза*. Для оценки эффективных мощностей (Нэф) рекомендована следующая градация:  $\sigma/\text{Нэф} \leq 0,2$  – высокая надежность;  $0,2 < \sigma/\text{Нэф} \leq 0,4$  – удовлетворительная надежность;  $0,4 < \sigma/\text{Нэф} \leq 0,6$  – низкая надежность;  $\sigma/\text{Нэф} > 0,6$  – прогнозирование не целесообразно. С одной стороны, предложенный способ находится в русле геостатистического подхода к интерпретации сейсмических данных [Дюбрул, 2002; Демьянов, Савельева, 2010], о возможности использования карт оценки погрешностей прогноза, полученных посредством аппарата статистической интерполяции, говорится в опубликованных статьях [Сысоев, Новокрецин, 2001; Новокрецин, 2008]. С другой стороны, по мнению авторов, он имеет свои ограничения. К ним относятся ограничение «деление на 0», что создает неопределенность оценки в зоне малых и нулевых значений параметра, и неочевидность возможности экспериментальной проверки результатов.

Цель проводимых исследований – разработка решения поставленной задачи, основанного на геостатистике и свободного от указанных ограничений. Для ее достижения необходимо:

1. сформулировать в рамках геостатистического подхода определение понятия «степень достоверности сейсмического прогноза»;
2. выявить на модельных данных условия, обеспечивающих корректность оценки достоверности сейсмических прогнозов;

3. апробировать предлагаемое решение путем построения карты достоверности прогноза эффективной мощности пласта Ю<sub>1</sub><sup>1-2</sup> на хорошо изученном месторождении Западной Сибири.

### **Определение понятия «степень достоверности сейсмического прогноза»**

В начале имеет смысл привести два соображения. Первое из них относится к самому понятию «степень достоверности». Понятие «достоверность знания» отражает степень определенности оценки знания с точки зрения его истинности или ложности [Ильичев, 1996]. Формой такой оценки может быть оценка вероятности его истинности. Второе соображение относится к существующей практике геологоразведочных работ. Из опыта авторов следует, что заказчики, как правило, оценивают результаты сейсмических прогнозов ФЕС по проценту расхождения между прогнозным значением параметра и его фактическим значением во вновь пробуренной скважине.

Соответственно, *под степенью достоверности прогноза ФЕС в точке плана сейсмической съемки следует понимать вероятность попадания истинного значения ФЕС в заданный коридор прогноза.* Ширина прогнозного коридора – это параметр, значения которого, по мнению авторов, должно определяться потребителем сейсмического прогноза в зависимости от стоящих задач. Ширина прогнозного коридора может быть определена через константу, например,  $\pm 1$  м, или  $\pm 5$  м от прогнозного значения, либо через процент от прогнозного значения, например,  $\pm 15\%$ , или  $\pm 25\%$ . Очевидно, что чем ниже требования потребителя к точности сейсмического прогноза, тем шире будет прогнозный коридор, и соответственно выше оценка достоверности прогноза.

Если допустить, что на площади по сейсмическим данным выполнен прогноз эффективной мощности, то в результате для каждой точки площади определены:

– прогнозное значение эффективной мощности  $N_{эф}^*$ , полученное путем пересчета карты сейсмического атрибута по соответствующему уравнению регрессии, и скорректированное посредством крайгинг-интерполяции невязок прогноза в точках обучающих скважин;

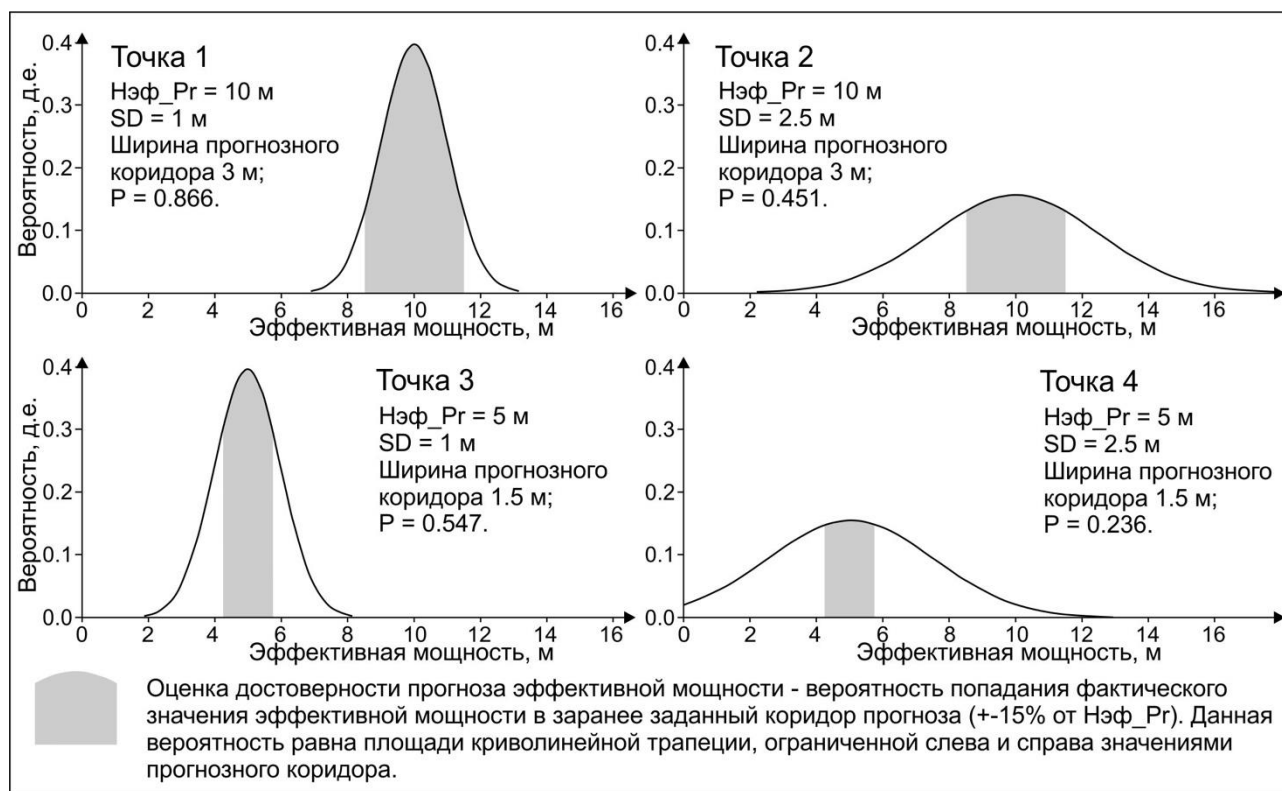
– стандартное отклонение невязок прогноза  $\sigma$ , оцененное в ходе их крайгинг-интерполяции.

Наконец, можно допустить, что фактическое распределение невязок прогноза в скважинах обучающей выборки не противоречит гипотезе об их нормальном распределении. Тогда можно утверждать, что в каждой точке площади определены нормальные функции плотности вероятности эффективной мощности, математические ожидания которых равны прогнозным значениям, а стандартные отклонения – стандартным отклонениям с

соответствующей карты. Эти функции позволяют выявить вероятность нахождения фактического значения эффективной мощности в некотором наперед заданном интервале, например,  $\pm 15\%$  от прогнозного значения.

Пусть на площади выбраны четыре точки: в первой точке  $N_{эф}^*$  равно 10 м,  $\sigma - 1,0$  м; во второй точке –  $N_{эф}^* - 10$  м,  $\sigma - 2,5$  м; в третьей точке –  $N_{эф}^* - 5$  м,  $\sigma - 1,0$  м; в четвертой точке –  $N_{эф}^* - 5$  м,  $\sigma - 2,5$  м.

Соответствующие функции плотности вероятности эффективной мощности приведены на рис. 1. Для точек 1 и 2 ширина прогнозного коридора равна 3 м ( $\pm 15\%$  от  $N_{эф\_Pr}$ , от 8,5 до 11,5 м), а для точек 3, 4 – 1,5 м (от 4,3 до 5,8 м). Вероятность попадания фактической эффективной мощности в коридор прогноза – это определенный интеграл, равный разности значений первообразной функции на границах коридора. Указанная вероятность меняется от 0,236 до 0,866. Из рис. 1 следует, что она изменяется в зависимости от ширины прогнозного коридора и от значения стандартного отклонения.



**Рис. 1. Диаграммы к определению понятия «степень достоверности сейсмического прогноза фильтрационно-емкостных свойств»**

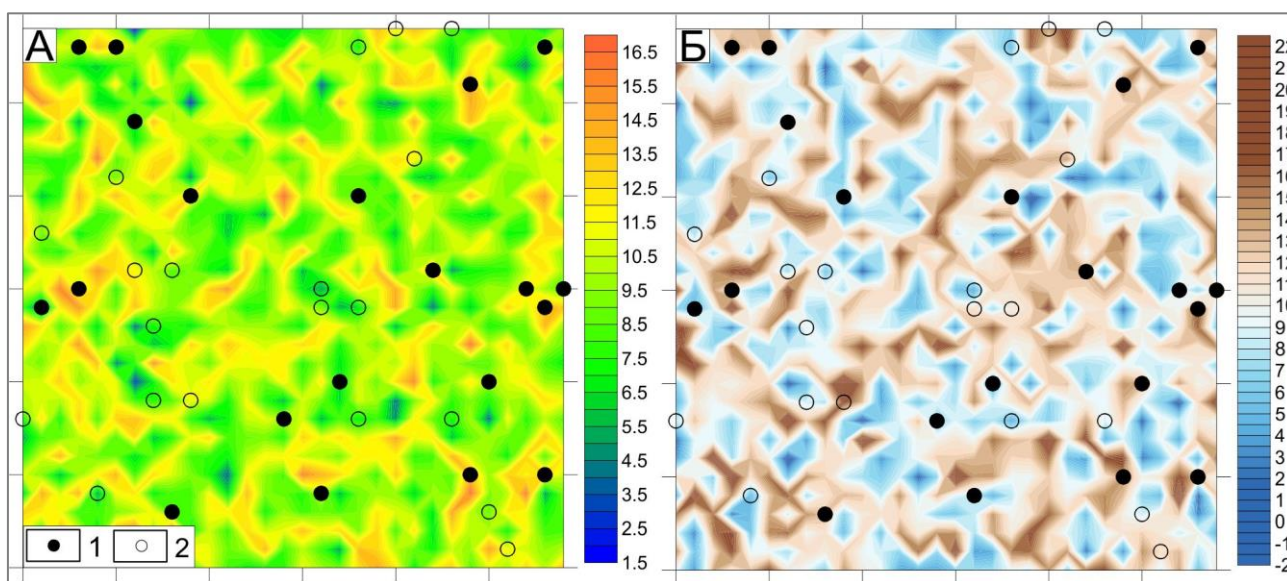
Далее показано, что предложенное понимание достоверности сейсмических прогнозов допускает экспериментальную проверку и что его можно использовать при планировании новых геологоразведочных и эксплуатационных работ.

Для этого создана абстрактная сейсмогеологическая модель, состоящая из 900 точек,

включающая:

– карту эффективной мощности резервуара, созданную посредством одной реализации нормальной случайной функции с математическим ожиданием 10 м и стандартным отклонением 2,5 м в каждой точке планшета (рис. 2А);

– карту сейсмического атрибута, полученную путем суммирования карты эффективной мощности и карты сейсмического шума (рис. 2Б). Последняя карта создана посредством одной реализации нормальной случайной функции с математическим ожиданием 0 м и стандартным отклонением 2,5 м в каждой точке планшета.



**Рис. 2. Сейсмогеологическая модель. Карта эффективной мощности (А) и карта сейсмического атрибута (Б)**

*1 - скважины обучающей выборки, 2 - скважины контрольной выборки.*

Понимание понятий «генеральная совокупность», «обучающая выборка», «контрольная выборка» в общем соответствует существующей традиции:

– Под генеральной совокупностью авторами понимается множество всех точек (скважин), в которых получены данные о значениях сейсмического атрибута и параметра ФЕС (иными словами, это – истина). В модельном примере – это множество всех точек грида, в реальных ситуациях – это множество всех скважин, которые планируется пробурить на площади в соответствии с проектом разработки залежи.

– Под обучающей выборкой авторами предполагается множество точек (скважин), в которых в настоящий момент известны значения сейсмического атрибута и параметра ФЕС. Иными словами, обучающая выборка – это фактический материал, по которому необходимо оценить свойства генеральной совокупности. Это множество разведочных скважин перед началом эксплуатационного бурения, или множество разведочных скважин и множество

эксплуатационных скважин первого этапа разработки залежи.

– Под контрольной выборкой авторами предполагается множество скважин, посредством которого предстоит проверить выполненный сейсмический прогноз. Например, если обучающая выборка – это множество разведочных скважин, то контрольная выборка – это множество эксплуатационных скважин первого этапа разработки залежи. Или, если обучающая выборка – это множество разведочных и эксплуатационных скважин первого этапа разработки, то контрольная выборка – это множество эксплуатационных скважин второго этапа разработки.

Описанную выше модель (900 точек) можно рассматривать как одну реализацию генеральной совокупности, которая имеет следующие характеристики. Уравнение регрессии, связывающее сейсмический атрибут и геологический параметр:  $N_{\text{эф}} = 0,357 * S + 6,3$ , где  $S$  – сейсмический атрибут,  $N_{\text{эф}}$  – эффективная мощность. Коэффициент корреляции между сейсмическим атрибутом и эффективной мощностью равен 0,594. Стандартное отклонение невязок между фактическими и расчетными значениями – 1,95 м.

Исследование 75000 реализаций построенной модели показывает, что среднее значение невязок прогноза в каждой точке площади стремится к 0 м, а их стандартное отклонение – к значению 1,96 м, т. е., невязки прогноза являются стационарным в широком смысле остатком, который можно изучать посредством геостатистического аппарата [Дюбрул, 2002; Демьянов, Савельева, 2010].

Исследование 100 реализаций построенной модели показывает, что фактические распределения невязок в каждой точке площади не противоречат гипотезе об их нормальном распределении с параметрами: среднее 0 м, стандартное отклонение 1,96 м (для шести классов при уровне значимости 0,05 наблюдаемое значение критерия  $\chi^2$  равно 1,2, критическое – 7,81). То есть, для оценки искомых вероятностей можно использовать нормальное распределение невязок.

Далее случайным образом генерируются две совокупности по 20 точек с координатами (X, Y). В каждой точке по сейсмогеологической модели определяются значения сейсмического атрибута и эффективной мощности. Первая совокупность рассматривается как обучающая выборка скважин, вторая – как контрольная. Параметры выборок приведены в табл. 1. Из таблицы следует, что параметры обучающей и контрольной выборок существенно отличаются.

Результаты прогноза эффективной мощности и оценка его достоверности по контрольной выборке приведена в табл. 2.

Таблица 1

**Параметры обучающей и контрольной выборок**

Выборка	Коэффициенты уравнения регрессии $y = ax + b$		Коэффициент корреляции, д. е.	Стандартное отклонение невязок прогноза, м
	a	b		
обучающая	0,538	4,36	0,659	2,17
контрольная	0,390	5,12	0,667	1,49

Уравнение регрессии, полученное по обучающей выборке, используется для прогноза эффективной мощности в контрольных скважинах. Результаты прогноза приведены в столбце 4, а фактические значения невязок прогноза – в столбце 5. Поскольку в сейсмогеологической модели каждая точка является независимой, то математическое ожидание невязок прогноза в контрольных точках принято равным 0 (столбец 6), а их стандартное отклонение согласно данным обучающей выборки – 2,17 м (столбец 7). Далее это стандартное отклонение будет приравниваться к экспериментальному  $\sigma^*$ . Коридор прогноза задан как  $\pm 15\%$  от прогнозного значения (столбцы 8, 9), соответственно его ширина определяется значением  $N_{эф}^*$  (столбец 4). В столбце 10 приведены фактические результаты *теста успешности* контрольных скважин: скважина успешная (1), если фактическое значение эффективной мощности  $N_{эф}$  попадает в коридор прогноза, в противном случае – неуспешная (0). Всего в контрольную выборку попадает 10 успешных скважин из 20. Вероятность попадания фактического значения эффективной мощности в коридор прогноза для каждой контрольной скважины получается путем интегрирования соответствующей нормальной функции плотности вероятности с параметрами ( $N_{эф}^*$ ,  $\sigma^*$ ) в пределах Min-Max (столбец 11).

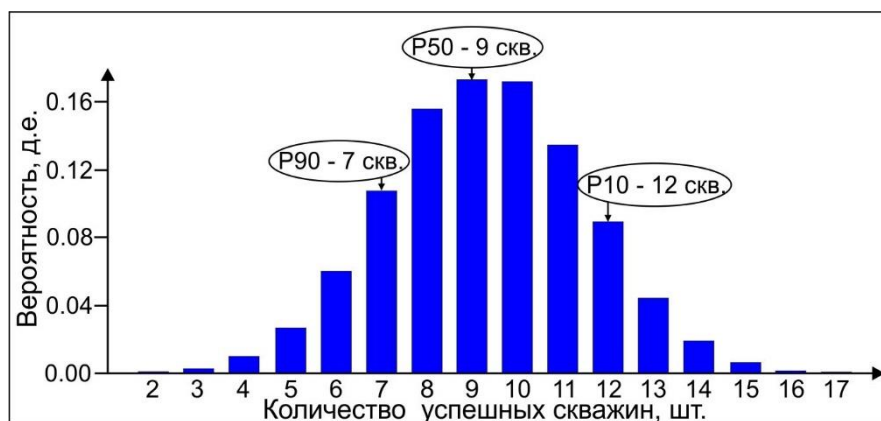
Эмпирическая функция плотности вероятности количества успешных скважин в выборке строится посредством стохастического моделирования на основе вероятностей в столбце 11. В каждой реализации случайного процесса для каждой скважины посредством дискретной функции «Да-Нет» генерируется 1 или 0 с частотой, определенной указанной вероятностью. Затем в каждой реализации полученные данные суммируются. Указанная эмпирическая функция, построенная по результатам 25000 реализаций случайного процесса, приведена на рис. 3. Из нее следует, что с вероятностью 90% в контрольную выборку должно попасть не менее 7 успешных скважин, с вероятностью 50% – не менее 9 успешных скважин, с вероятностью 10% – не менее 12 успешных скважин.

Таблица 2

## Результаты прогноза эффективной мощности и оценка его достоверности по контрольной выборке

Скв.	S, у.е.	Нэф, м	Нэф*, м	Res, м	Res*, м	$\sigma^*$ , м	Коридор прогноза, м		Тест успешности	Достоверность Р, д. е.	Частота, вероятность, д. е.		
							min	max			Факт	Прогноз	
1	4,3	5,2	6,7	-1,5	0,0	2,17	5,7	7,7	0	0,355	0,333	0,374	
2	4,4	6,9	6,7	0,2	0,0	2,17	5,7	7,7	1	0,358			
3	4,6	5,1	6,8	-1,7	0,0	2,17	5,8	7,9	0	0,364			
4	5,2	7,1	7,1	-0,1	0,0	2,17	6,1	8,2	1	0,378			
5	5,8	9,1	7,5	1,7	0,0	2,17	6,3	8,6	0	0,394			
6	5,8	8,6	7,5	1,1	0,0	2,17	6,4	8,6	0	0,394			
7	7,2	11,6	8,2	3,4	0,0	2,17	7,0	9,4	0	0,429	0,500	0,456	
8	7,5	8,9	8,4	0,5	0,0	2,17	7,2	9,7	1	0,439			
9	7,6	8,3	8,4	-0,1	0,0	2,17	7,2	9,7	1	0,440			
10	7,9	7,3	8,6	-1,3	0,0	2,17	7,3	9,9	1	0,447			
11	8,5	7,6	9,0	-1,4	0,0	2,17	7,6	10,3	0	0,464			
12	8,6	8,8	9,0	-0,2	0,0	2,17	7,6	10,3	1	0,465			
13	8,7	7,4	9,1	-1,7	0,0	2,17	7,7	10,4	0	0,468	0,667	0,567	
14	10,0	7,4	9,7	-2,3	0,0	2,17	8,3	11,2	0	0,498			
15	10,8	6,4	10,1	-3,7	0,0	2,17	8,6	11,7	0	0,516			
16	11,5	9,2	10,5	-1,4	0,0	2,17	8,9	12,1	1	0,532			
17	11,5	11,2	10,5	0,7	0,0	2,17	9,0	12,1	1	0,533			
18	13,6	11,5	11,7	-0,1	0,0	2,17	9,9	13,4	1	0,580			
19	13,8	11,6	11,8	-0,2	0,0	2,17	10,0	13,6	1	0,585	0,500	0,465	
20	17,2	11,2	13,6	-2,5	0,0	2,17	11,6	15,7	0	0,653			
<b>Результат теста корректности - 1</b>									<b>10</b>	P90			<b>6</b>
										P50	<b>9</b>		
										P10	<b>12</b>		

*S* - значение сейсмического атрибута для контрольной скважины; *Нэф* - фактическое значение эффективной мощности в контрольной скважине; *Нэф\** - прогнозное значение эффективной мощности в контрольной скважине; *Res* - фактическое значение невязки прогноза в контрольной скважине; *Res\** - расчетное значение невязки прогноза в контрольной скважине;  $\sigma^*$  - экспериментальное стандартное отклонение невязок прогноза по данным обучающей выборки; *min*, *max* - минимальное и максимальное значения прогнозного коридора; тест успешности: 1 - если *Нэф* попало в коридор *min*, *max*, 0 - в противном случае; факт - фактическая частота успешных скважин; прогноз - расчетная вероятность успешности.



**Рис. 3. Диаграмма эмпирической функции плотности вероятности количества скважин, попадающих в коридор прогноза (успешных скважин)**  
*P90, P50, P10 - квантили функции плотности вероятности.*

В последней строке таблицы приведены результаты *теста корректности* оценки достоверности прогноза: оценка достоверности прогноза интерпретируется как корректная (1), если фактическое количество успешных скважин попало в интервал, например, P90-P10 расчетной функции вероятности количества успешных скважин, в противном случае – некорректной (0). Поскольку в данном случае фактическое количество успешных скважин (10 шт.) находится внутри интервала P90-P10 (6-12 шт.), оценку достоверности прогноза можно рассматривать как корректную.

Сопоставление данных в столбцах 10 и 11 показывает, что значение оценки достоверности прогноза очень слабо коррелируется с фактическим результатом в конкретной скважине. Оцененная вероятность в успешных скважинах изменяется в пределах 0,358-0,585, в неуспешных скважинах – в пределах 0,355-0,653. Группирование указанных данных по интервалам оценки достоверности показывает следующее (столбцы 12, 13):

- в интервале 0,355-0,394 (среднее 0,374) фактическая частота успешности 0,333 (2/6);
- в интервале 0,429-0,498 (среднее 0,456) – 0,500 (4/8);
- в интервале 0,516-0,653 (среднее 0,567) – 0,667 (4/6).

Между поинтервальными расчетными и фактическими оценками достоверности прогноза имеется приблизительное соответствие, поэтому предложенная оценка достоверности сейсмических прогнозов полезна при планировании новых геологоразведочных и эксплуатационных работ.

Таким образом, в рамках геосистемного подхода к интерпретации сейсмических данных рассматривается определение степени достоверности сейсмического прогноза ФЕС: под степенью достоверности прогноза ФЕС в точке планшета сейсмической съемки предложено понимать вероятность попадания фактического значения ФЕС в заданный коридор прогноза. Это определение удовлетворяет как философскому содержанию понятия «достоверность», так

и практическим требованиям заказчиков сейсморазведочных работ. Основой для оценки указанной вероятности являются функции плотности вероятности параметра ФЕС с математическим ожиданием, равным прогнозному значению параметра, и стандартным отклонением, оцененным по карте стандартного отклонения невязок прогноза. Сама вероятность определяется путем интегрирования указанной функции в границах заданного коридора прогноза. Корректность оценки достоверности сейсмического прогноза проверяется посредством стохастического моделирования результатов бурения контрольной выборки скважин: если фактическое количество успешных скважин попадает внутрь расчетного интервала, например, P90-P10, то оценку достоверности можно признать корректной. В случае корректной оценки полученные вероятности возможно рассматривать как основу для планирования программ разведочного и эксплуатационного бурения.

### Условия корректности оценки достоверности сейсмических прогнозов

Сейсмический прогноз выполняется на основе данных по обучающей выборке, и затем проверяется по новым скважинам контрольной выборки. Как показано выше раздел, ограниченность объема выборок приводит к существенным различиям в коэффициентах их уравнений регрессии и в стандартных отклонениях невязок прогноза. Соответственно важно разобраться, как указанные различия могут повлиять на оценку достоверности сейсмических прогнозов.

Для прояснения данного вопроса посредством генератора случайных чисел создается 100 выборок по 20 скважин с координатами (X, Y). Для каждой скважины по сейсмогеологической модели получают значения сейсмического атрибута S и эффективной мощности Нэф, определяются коэффициенты линейного уравнения регрессии Нэф на S и стандартные отклонения невязок прогноза Нэф. Коэффициент *a* уравнения регрессии меняется от 0,053 до 0,672, при его значении для генеральной совокупности 0,357, коэффициент корреляции R – от 0,099 до 0,872, при его значении для генеральной совокупности 0,594, стандартное отклонение невязок прогноза – от 1,04 до 2,55, при его значении для генеральной совокупности 1.95. Диапазоны изменения коэффициента *a* и стандартного отклонения невязок рассматриваются как основа для постановки экспериментов по прогнозу эффективной мощности и оценке его достоверности, а упомянутые 100 выборок скважин – как контрольные.

Далее для каждой контрольной выборки прогноз эффективной мощности последовательно выполняется по шести уравнениям регрессии:  $\text{Нэф} * aS + b$ , где Нэф \* – прогнозная эффективная мощность, S – сейсмический атрибут, *a*, *b* – коэффициенты уравнения регрессии. Коэффициент *a* последовательно принимает значения 0,1; 0,3; 0,357 (по генеральной совокупности), 0,5; 0,7; 0,9. Коэффициенты *b* принимаются как средние для

соответствующих коэффициентов  $a$  по данным 100 выборок. Таким образом, всего выполняется 600 прогнозов.

Далее для каждого из 600 прогнозов производится оценка его достоверности посредством восьми экспериментальных стандартных отклонений невязок прогноза  $\sigma^*$ : 1,00 м; 1,25 м; 1,50 м; 1,75 м; 1,95 м (по генеральной совокупности); 2,00 м; 2,25 м; 2,5 м. Коридор прогноза принимается как  $\pm 15\%$  от прогнозного значения эффективной мощности. Таким образом, всего выполнено 4800 экспериментов. В ходе каждого эксперимента определяется:

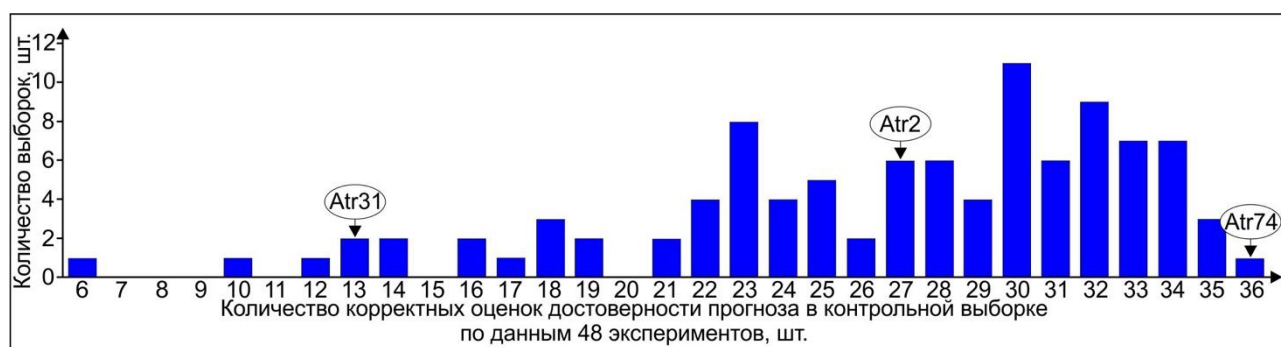
- $\sigma$  – фактическое стандартное отклонение невязок прогноза по 20 скважинам контрольной выборки;
- $N_{\min}$  – количество скважин с минимальными ( $\pm 0,75$  м) невязками в контрольной выборке;
- $N_{\text{fact}}$  – фактическое количество успешных скважин в контрольной выборке;
- $P_{90}$ ,  $P_{50}$ ,  $P_{10}$  – квантили функции вероятности количества успешных скважин в контрольной выборке;
- $d_{\sigma^*-\sigma}$  – разница между экспериментальным стандартным отклонением невязок  $\sigma^*$ , использованным для оценки достоверности прогноза, и фактическим стандартным отклонением невязок  $\sigma$ ;
- $d_{N_{\text{fact}}-P_{50}}$  – разница между фактическим количеством успешных скважин в контрольной выборке и квантилем  $P_{50}$  соответствующей функции вероятности;
- Тест – тест корректности оценки достоверности прогноза: 1 – если  $N_{\text{fact}}$  попало в интервал  $P_{90}-P_{10}$ , 0 – в противном случае.

Полученная база данных используется для выявления факторов, определяющих корректность оценки достоверности сейсмических прогнозов. Из приведенных данных, по мнению авторов, должно следовать, что поставленная в разделе задача предполагает:

- во-первых, выявление факторов, определяющих величину  $N_{\text{fact}}$ ;
- во-вторых, выявление факторов, определяющих квантили  $P_{90}$ ,  $P_{50}$ ,  $P_{10}$ ;
- в-третьих, выявление условий, при которых  $N_{\text{fact}}$  попадает в интервал  $P_{90}-P_{10}$ , или, другими словами, условий приблизительного равенства величин  $N_{\text{fact}}$  и  $P_{50}$ .

В заключение приводятся обобщенные результаты тестов корректности по данным 4800 экспериментов. Для каждой контрольной выборки выполняется 48 тестов. В результате для каждой контрольной выборки устанавливается суммарное количество корректных оценок достоверности прогнозов. Оно меняется от 6 до 36. На рис. 4 по оси X откладывается суммарное количество корректных оценок в контрольной выборке, по оси Y – количество

выборок с соответствующим количеством корректных оценок. Так, например, 13 корректных оценок из 48 установлено в двух выборках, 27 корректных оценок из 48 - в шести выборках, 36 корректных оценок из 48 – в 1 выборке. Поскольку для всех контрольных выборок эксперименты проводятся по одной схеме, полученный результат говорит о серьезном влиянии на их результаты индивидуальных особенностей контрольных выборок. Поэтому последовательное выявление факторов, определяющих  $N_{fact}$ , квантили  $P_{90}$ ,  $P_{50}$ ,  $P_{10}$ , а также условий корректности оценок достоверности сейсмических прогнозов, авторы начинают с анализа трех контрольных выборок  $Atr_{31}$ ,  $Atr_2$ ,  $Atr_{74}$ , характеризующихся различным количеством корректных оценок.



**Рис. 4. Диаграмма обобщения результатов тестов корректности оценки достоверности сейсмических прогнозов по данным 100 контрольных выборок  $Atr_{31}$ ,  $Atr_2$ ,  $Atr_{74}$  - контрольные выборки, использованные для последующего анализа.**

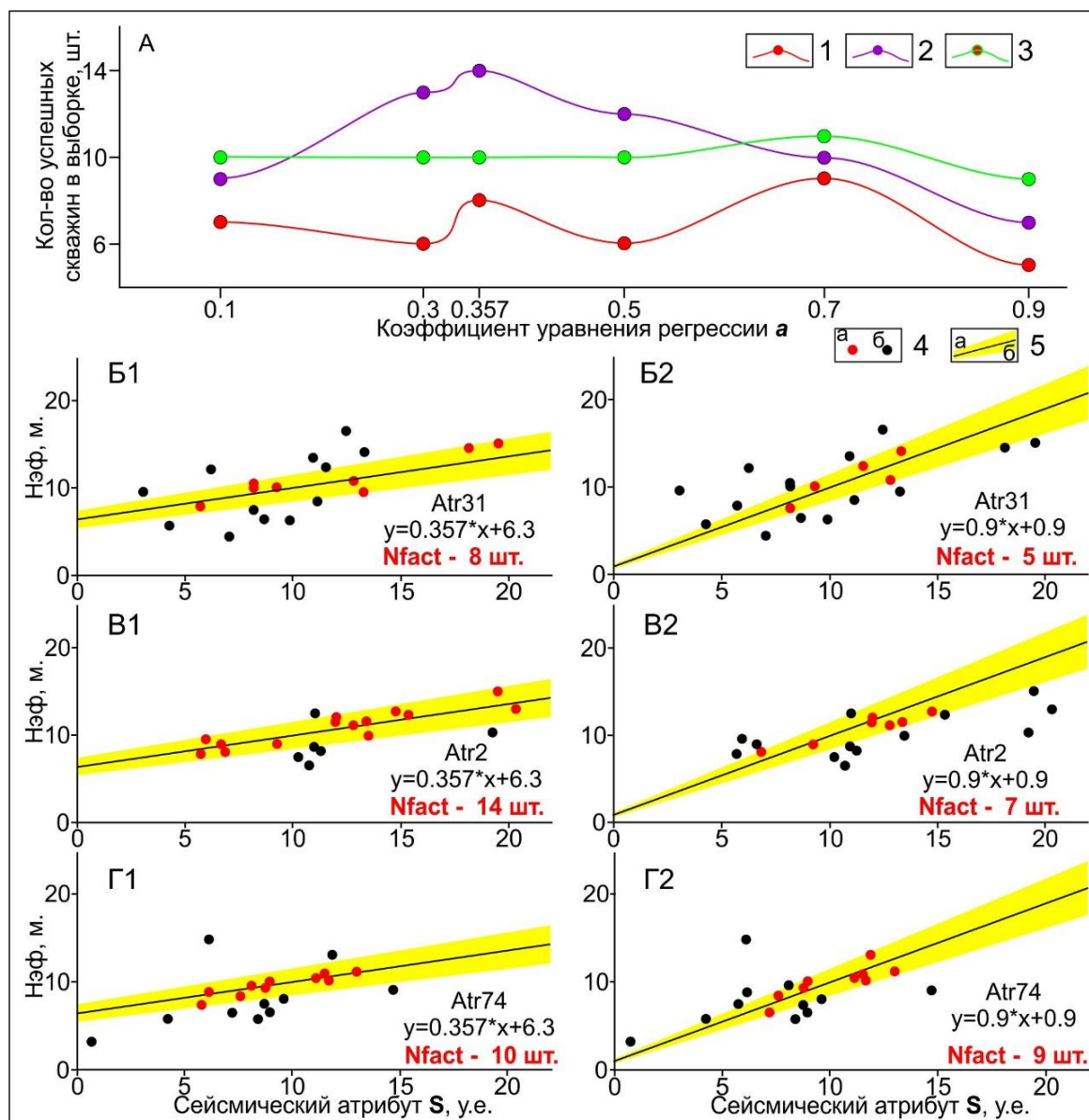
*Факторы, определяющие фактическое количество успешных скважин  $N_{fact}$  в контрольной выборке*

На рис. 5 приведены результаты исследования упомянутых выше выборок  $Atr_{31}$ ,  $Atr_2$ ,  $Atr_{74}$ . Из рис. 5А видно, что количество успешных скважин в зависимости от коэффициента уравнения регрессии  $a$  меняются весьма сложным образом. Этому найдено следующее объяснение. На рис. 5Б1, В1, Г1 для этих выборок приведены кросс-плоты отношения «S-Нэф» с линией регрессии  $y = 0,357 * x + 6,3$  и соответствующем коридором прогноза, на рис. 5Б2, В2, Г2 – те же кросс-плоты, но с линией регрессии  $y = 0,9 * x + 0,9$  и соответствующем коридором прогноза. Красными точками обозначены успешные скважины, в которых фактические эффективные мощности попали в коридор прогноза. Из рисунков следует, что значение параметра  $N_{fact}$  в значительной степени определяется индивидуальной структурой отношения «S-Нэф»:

– для выборки  $Atr_{31}$  значительный разброс точек на кросс-плоте обеспечивает малые значения величины  $N_{fact}$  (5-9), и ее непредсказуемое изменение при перемене наклона линии регрессии (рис. 5Б1, Б2);

– выборка Atr2 характеризуется, с одной стороны, тесным характером связи «S-Нэф», с другой стороны, растянутостью поля точек вдоль оси X. Это приводит к значительным изменениям величины Nfact (7-14) при перемене наклона линии регрессии (рис. 5В, В2);

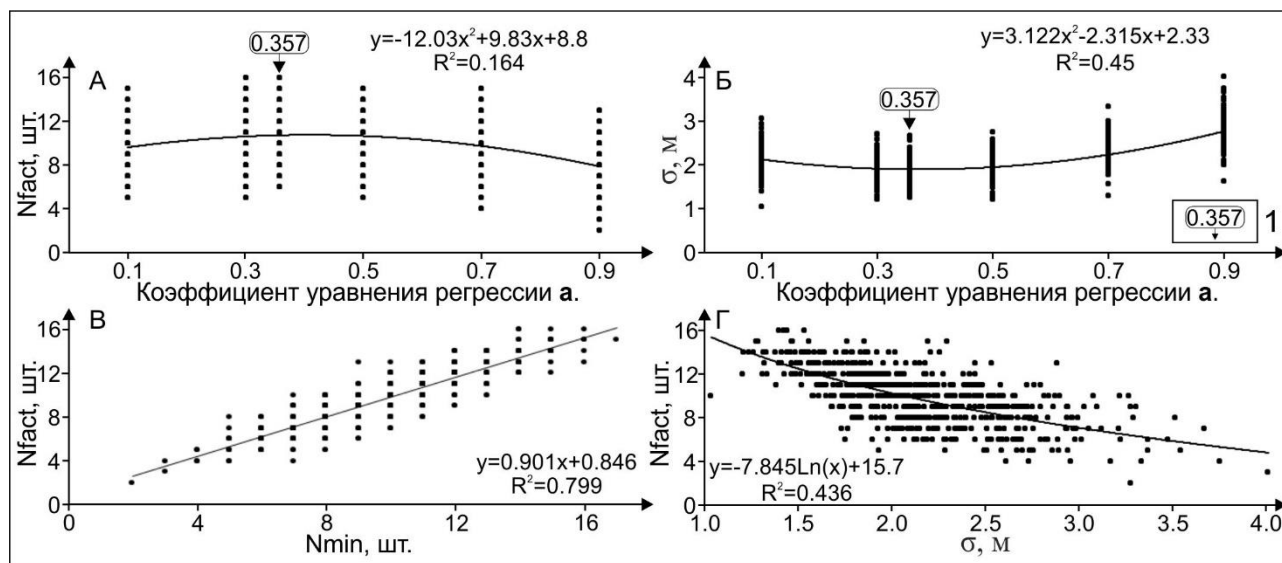
– выборка Atr74 характеризуется компактным расположением большинства точек на кросс-плоте, и это обеспечивает малую чувствительность величины Nfact (9-11) к изменению наклона линии регрессии (рис. 5Г1, Г2).



**Рис. 5. Графики влияния на величину Nfact коэффициентов прогнозного уравнения регрессии по контрольным выборкам Atr31, Atr2, Atr74**

A - отношение количества успешных скважин и коэффициента уравнения регрессии a; B1, B1, G1 - кросс-плоты отношения «S-Нэф» с линией регрессии  $y=0,357*x+6,3$  и соответствующем коридором прогноза; B2, B2, G2 - кросс-плоты отношения «S-Нэф» с линией регрессии  $y=0,9*x+0,9$  и соответствующем коридором прогноза. 1 - выборка Atr31; 2 - выборка Atr2; 3 - выборка Atr74; 4 - скважины успешные (а) и не успешные (б); 5 - линия экспериментального уравнения регрессии (а) и соответствующий коридор прогноза (б).

На рис. 6 приведены результаты выявления факторов, определяющих величину  $N_{fact}$ , по 100 контрольным выборкам.



**Рис. 6. Диаграммы факторов, определяющих фактическое количество успешных скважин  $N_{fact}$  по данным 100 контрольных выборок**

Влияния коэффициента регрессии  $a$  на: А - величину  $N_{fact}$ , Б- фактическое стандартное отклонение невязок прогноза  $\sigma$ ; В - отношение между количеством скважин с минимальными ( $\pm 1,5$  м) невязками прогноза  $N_{min}$  и фактическим количеством успешных скважин  $N_{fact}$  в контрольной выборке, Г - отношение между фактическим стандартным отклонением  $\sigma$  и количеством успешных скважин  $N_{fact}$ . 1 - коэффициент  $a$  уравнения регрессии для генеральной совокупности.

Эти данные подтверждают вывод, что влияние коэффициентов экспериментального уравнения регрессии на величину  $N_{fact}$  в значительной степени затушевывается индивидуальными особенностями контрольных выборок (рис. 6А). Вместе с тем установлено, что максимум функции  $N_{fact} = f(a)$  примерно соответствует коэффициенту  $a$  уравнения регрессии для генеральной совокупности (0,357), отклонение от него в ту или другую сторону приводит к снижению значений данной функции.

Более существенно влияние параметров уравнения регрессии на фактическое стандартное отклонение невязок прогноза  $\sigma$  (рис. 6Б). Отклонение коэффициента  $a$  в ту или другую сторону от значения 0,357 приводит к увеличению стандартного отклонения невязок прогноза.

Ключевым фактором, определяющим величину  $N_{fact}$ , является количество скважин с минимальными (условно  $\pm 0,75$  м) невязками прогноза  $N_{min}$ , которое обуславливается внутренней структурой отношения «S-Нэф» (рис. 6В).

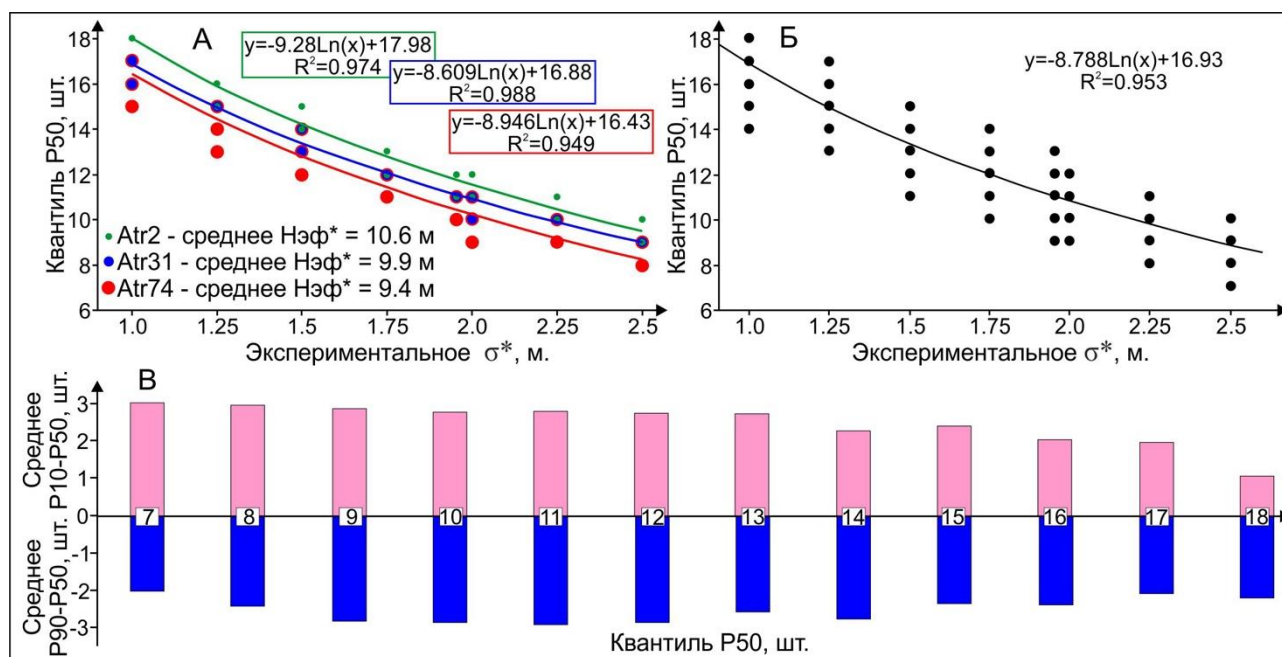
Поскольку  $N_{min}$  статистически связано с  $\sigma$ , то существует значимая связь между  $\sigma$  и  $N_{fact}$ : с увеличением фактического стандартного отклонения невязок количество успешных скважин, попавших в коридор прогноза, уменьшается (рис. 6Г).

*Факторы, определяющие квантили P90, P50, P10 функции вероятности количества успешных скважин*

Как показано выше, квантили P90, P50, P10 расчетной функции вероятности количества успешных скважин в контрольной выборке определяются соответствующими вероятностями в скважинах, а эти вероятности, в свою очередь, контролируются, во-первых, экспериментальными стандартными отклонениями невязок прогноза  $\sigma^*$ , во-вторых, прогнозными значениями параметра ФЕС, задающими ширину прогнозного коридора.

На рис. 7А приведены зависимости между значениями  $\sigma^*$  и квантилями P50 для выборок Atr2, Atr31, Atr74. Из приведенных данных следует:

- квантили P50 весьма плотно коррелируются с  $\sigma^*$ ;
- при одинаковых значениях  $\sigma^*$  квантиль P50 определяется шириной прогнозного коридора, зависящей от среднего значения прогноза в контрольной выборке. Так для выборки Atr74 среднее значение прогноза равно 9,4 м, для выборки Atr31 – 9,9 м, для выборки Atr2 – 10,6 м. Соответственно для выборки Atr74 величина квантиля P50 – в целом пониженная, для выборки Atr31 – средняя, для выборки Atr2 – повышенная.



**Рис. 7. Диаграммы факторов, определяющих квантили P90, P50, P10 функции вероятности количества скважин, попадающих в коридор прогноза**

*А - влияние экспериментального стандартного отклонения  $\sigma^*$  на величину квантиля P50 по трем выборкам с различными значениями средней прогнозной величины Нэф\*; Б - влияние экспериментального стандартного отклонения  $\sigma^*$  на величину квантиля P50 по 100 выборкам; В - влияние на ширину интервала P90-P10 величины квантиля P50.*

На рис. 7Б приведено то же самое отношение, но уже по данным 4800 экспериментов со всеми 100 выборками. Из рисунка следует, что зависимость, установленная по конкретным

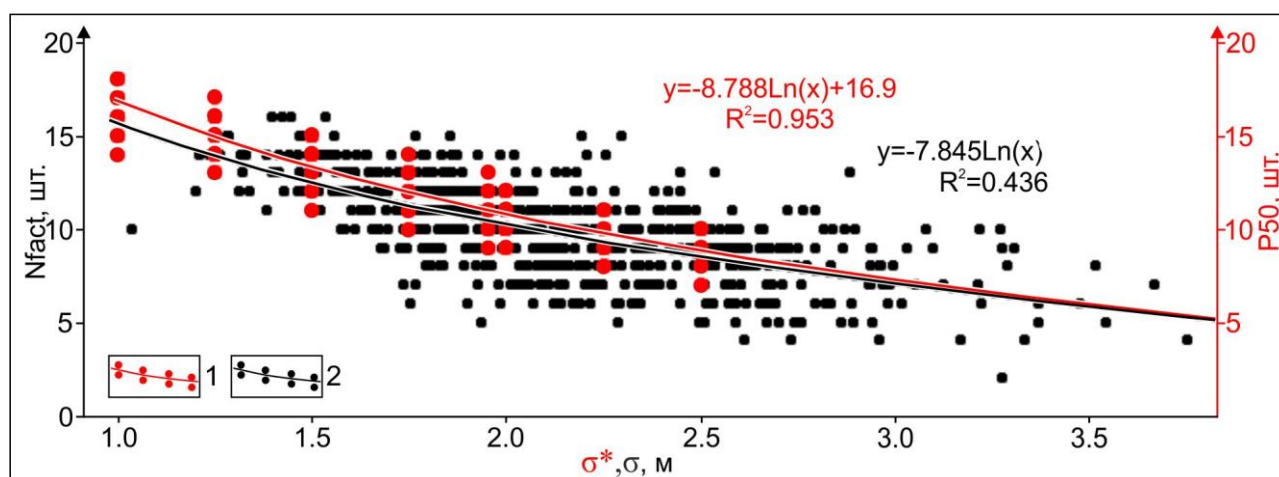
выборкам, имеет общую тенденцию: с увеличением экспериментального стандартного отклонения невязок  $\sigma^*$  величина квантиля P50 уменьшается.

На рис. 7В показано, как меняются средние значения разницы между квантилями P90-P50 и P10-P50 в зависимости от значения квантиля P50. Разница P90-P50 составляет около трех скважин в интервале P50 9-12 скважин и уменьшается как при увеличении, так и при уменьшении P50. Разница P10-P50 – около трех скважин в интервале P50 7-13 скважин, и уменьшается с увеличением P50. Из данного рисунка следует, что ширина интервала P90-P10 закономерно сужается с увеличением квантиля P50.

#### *Условия корректности оценок достоверности прогноза*

Оценка достоверности сейсмического прогноза рассматривается как корректная в случае, когда фактическое количество успешных скважин в выборке Nfact, попавших в коридор прогноза, примерно равно квантилю P50 соответствующей функции вероятности.

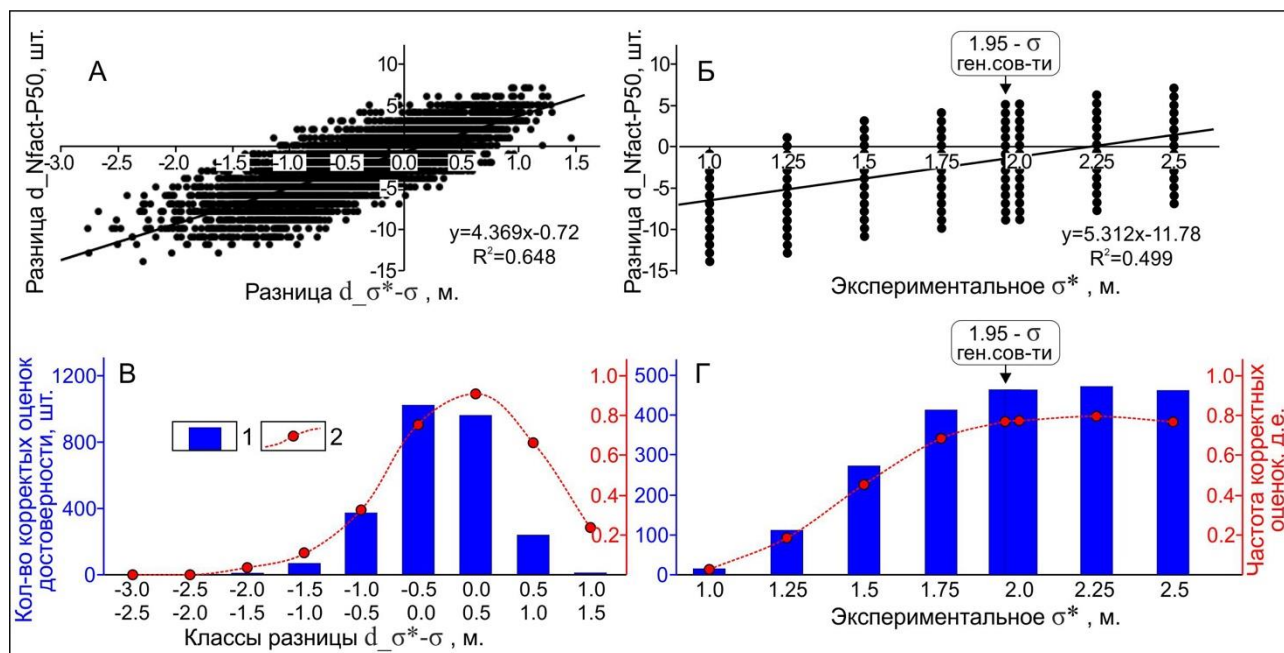
На рис. 6Г приведена зависимость между величиной Nfact и фактическим стандартным отклонением невязок прогноза в выборке  $\sigma$ . На рис. 7Б показана зависимость между квантилем P50 и экспериментальным стандартным отклонением невязок прогноза  $\sigma^*$ , используемым при оценке достоверности. На рис. 8 эти данные зависимости совмещены. Из рисунка можно сделать вывод, что условие, определяющее корректность оценки достоверности прогноза – это примерное совпадение экспериментального стандартного отклонения невязок  $\sigma^*$ , оцененного по обучающей выборке, и фактического стандартного отклонения невязок  $\sigma$  в контрольной выборке.



**Рис. 8.** Диаграмма отношения между P50 и  $\sigma^*$ , между Nfact и  $\sigma$  по данным 4800 экспериментов 1 - отношение P50 -  $\sigma^*$  с линией регрессии, 2 - отношение Nfact -  $\sigma$  с линией регрессии.  $\sigma^*$  - экспериментальное стандартное отклонение невязок прогноза по данным обучающей выборки,  $\sigma$  - фактическое стандартное отклонение невязок прогноза по данным контрольной выборки.

На рис. 9А представлено отношение между  $d_{\sigma^*-\sigma}$  и  $d_{Nfact-P50}$ , где  $d_{\sigma^*-\sigma}$  – разница

между экспериментальным и фактическим стандартным отклонением невязок прогноза,  $d\_Nfact-P50$  – разница между фактическим количеством успешных скважин в контрольной выборке и расчетным значением P50. Приведенные данные показывают, что ошибки предсказания Nfact минимальны при близких значениях экспериментальных и фактических стандартных отклонений невязок прогноза. Вместе с тем разница  $d\_Nfact-P50$  в некоторых выборках даже при нулевых значениях  $d\_σ^*-σ$  может достигать  $±5$  м. Связано это с индивидуальными особенностями структуры отношения «S-Нэф» этих выборок.



**Рис. 9. Диаграммы результатов оценки достоверности сейсмического прогноза эффективной мощности по данным 4800 экспериментов**

*А* - отношение между  $d\_σ^*-σ$  и  $d\_Nfact-P50$ ; *Б* - отношение между экспериментальным  $σ^*$  и  $d\_Nfact-P50$ ; *В* - отношение между классами величины  $d\_σ^*-σ$  и количеством корректных оценок достоверности прогноза в каждом классе, а также их частотой; *Г* - отношение между экспериментальным  $σ^*$  и количеством корректных оценок достоверности прогноза, а также их частотой. 1 - количество корректных оценок достоверности прогнозов эффективной мощности, 2 - частота корректных оценок достоверности прогнозов эффективной мощности.

На рис. 9Б приведено отношение между экспериментальным стандартным отклонением невязок прогноза  $σ^*$  и разницей  $d\_Nfact-P50$  по данным 4800 экспериментов. Из рисунка следует, что тренд разницы  $d\_Nfact-P50$  достигает минимальных значений от -1 - 0 шт., когда  $σ^*$  становится равным или незначительно превышает стандартное отклонение невязок прогноза генеральной совокупности.

На рис. 9В показано количество корректных оценок достоверности сейсмических прогнозов и их частота для разных классов величины  $d\_σ^*-σ$ . Указанные количество и частота достигают максимальных значений (частота 0.9 д. е.) в классах  $d\_σ^*-σ$  «-0,5-0 м» и «0-0,5 м», т.е. при близких значениях экспериментального и фактического стандартного отклонения

невязок прогноза.

На рис. 9Г приведено отношение между экспериментальным стандартным отклонением невязок прогноза  $\sigma^*$  и количеством корректных оценок достоверности прогноза, а также их частотой. Видно, что эти величины достигают максимальных значений, когда  $\sigma^*$  становится равным или превышает стандартное отклонение невязок прогноза в генеральной совокупности.

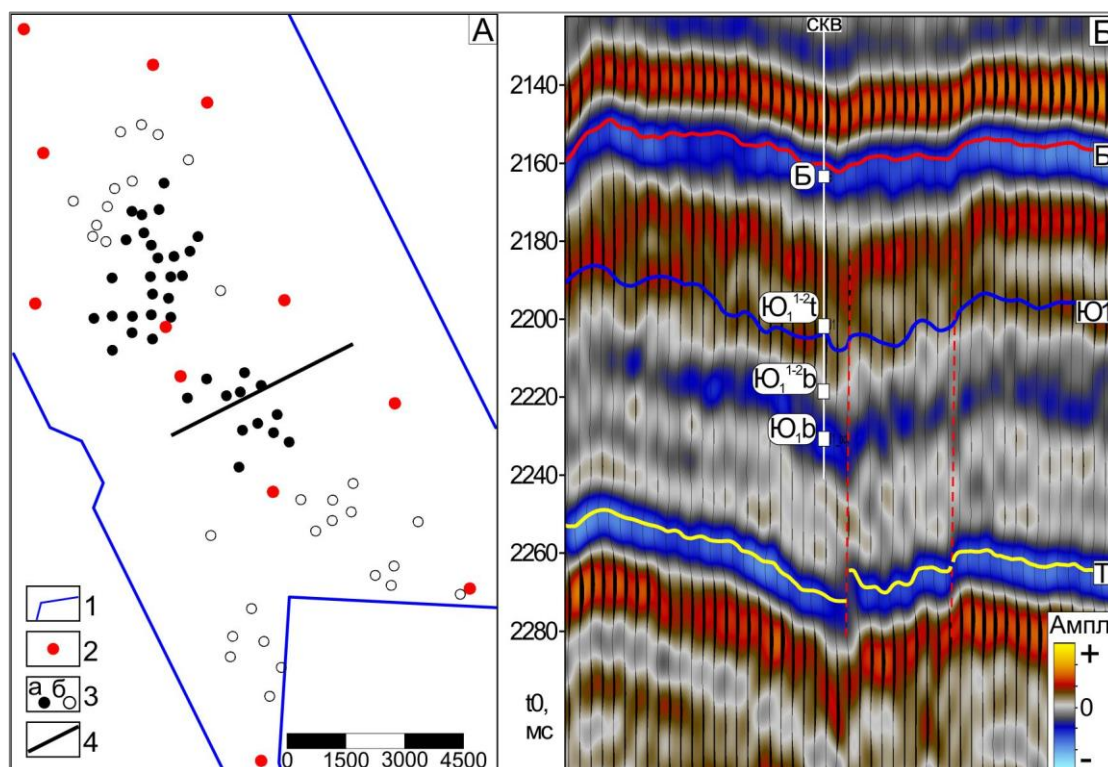
Таким образом, фактическое количество успешных скважин  $N_{fact}$  зависит от индивидуальных особенностей отношения «S-Нэф» контрольной выборки. Поэтому ключевым фактором, определяющим величину  $N_{fact}$ , является количество скважин с минимальными ( $\pm 1,5$  м) невязками прогноза  $N_{min}$ . Но, поскольку  $N_{min}$  статистически связано с фактической  $\sigma$ , то существует значимая связь между  $\sigma$  и  $N_{fact}$ : с увеличением фактического стандартного отклонения невязок  $\sigma$  фактическое количество успешных скважин  $N_{fact}$  уменьшается. Значение квантили P50 функции вероятности количества успешных скважин достаточно плотно коррелируется с экспериментальной  $\sigma^*$ : с увеличением экспериментального  $\sigma^*$  P50 уменьшается. Ширина интервала P90-P10 в целом зависит от величины P50. Основной фактор, определяющий корректность оценок достоверности прогноза – это близость значений экспериментального стандартного отклонения невязок по обучающей выборке  $\sigma^*$  и фактического стандартного отклонения невязок в контрольной выборке  $\sigma$ . В рассмотренном примере при близких к 0 м значениях величины  $d_{\sigma^*-\sigma}$  частота корректных оценок прогноза достигает 90%. Оставшиеся 10% некорректных оценок обусловлены индивидуальными особенностями контрольных выборок. Наиболее важный результат проведенного анализа – это установление стабилизации частоты корректных оценок достоверности прогноза в районе 80% в условиях, когда экспериментальное стандартное отклонение невязок  $\sigma^*$  становится равным или превышает стандартное отклонение невязок прогноза в генеральной совокупности.

### **Апробация предложенного метода на примере прогноза эффективной мощности продуктивного пласта Ю<sub>1</sub><sup>1-2</sup> изученного месторождения Западной Сибири**

Апробация предлагаемого решения выполнена посредством оценки достоверности сейсмического прогноза эффективной мощности продуктивного пласта Ю<sub>1</sub><sup>1-2</sup> на изученном эксплуатационным бурением месторождении Западной Сибири.

На рис. 10А приведена информационная основа в районе залежи в пласте Ю<sub>1</sub><sup>1-2</sup>: фрагменты контура сейсмического куба, а также положение разведочных и эксплуатационных скважин. Для демонстрации прогностических возможностей описанной методики скважины разделены на три выборки:

- в первую обучающую выборку включены все разведочные скважины (всего 16 скважин в пределах сейсмического куба);
- во вторую обучающую выборку - все разведочные и эксплуатационные скважины в центральной части залежи (всего 53 скважины);
- в контрольную выборку – эксплуатационные скважины в периферийной части залежи (всего 31 скважина).



**Рис. 10.** Схемы информационной (А) и сейсмогеологической (Б) основ для прогноза эффективной мощности пласта  $Ю_1^{1-2}$  и оценки его достоверности по реальным данным  
 1 - фрагмент контура сейсмического куба, 2 - разведочные скважины, 3 - эксплуатационные скважины, вошедшие в обучающую выборку (а), составившие контрольную выборку, 4 - положение фрагмента сечения сейсмического куба на рис. Б.

На рис. 10Б приведена сейсмогеологическая основа для прогноза эффективной мощности рассматриваемого пласта – фрагмент сечения сейсмического куба с прослеженными целевыми отражающими горизонтами и результатами привязки к волновому полю геологических границ. Для прогноза используются кинематический и динамический сейсмический атрибут. Кинематический атрибут – это остаточная составляющая временной мощности интервала Б- $Ю_1$ , полученная путем вычитания из данной временной мощности ее линейного тренда. Динамический атрибут – это амплитуды отражения  $Ю_1$ .

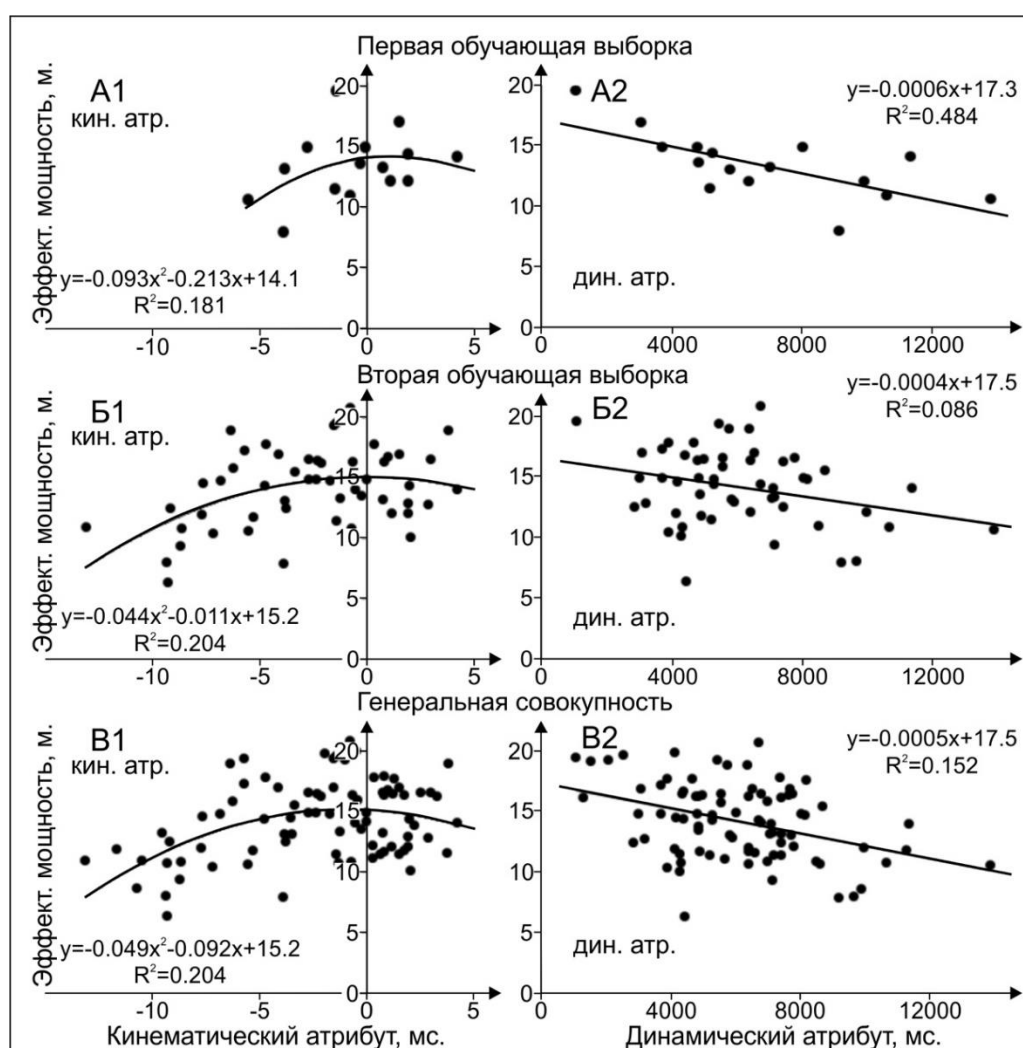
На рис. 11 приведены частные зависимости между:

- кинематическим (А1), динамическим (А2) атрибутом и эффективной мощностью

$Ю_1^{1-2}$  для первой обучающей выборки. Коэффициент корреляции двумерной регрессии – 0,845, стандартное отклонение невязок прогноза – 1,41 м;

– кинематическим (Б1), динамическим (Б2) атрибутом и эффективной мощностью  $Ю_1^{1-2}$  для второй обучающей выборки. Коэффициент корреляции двумерной регрессии – 0,567, стандартное отклонение невязок прогноза – 2,58 м;

– кинематическим (В1), динамическим (В2) атрибутом и эффективной мощностью  $Ю_1^{1-2}$  для всех разведочных и эксплуатационных скважин, которые в данном случае можно рассматривать как генеральную совокупность. Коэффициент корреляции двумерной регрессии – 0,561, стандартное отклонение невязок прогноза – 2,58 м.



**Рис. 11. Диаграммы частных зависимостей между кинематическим, динамическим сейсмическим атрибутом и эффективной мощностью пласта  $Ю_1^{1-2}$  для первой, второй обучающих выборок и генеральной совокупности**

*A1, A2 - частные зависимости между кинематическим, динамическим атрибутом и эффективной мощностью для первой обучающей выборки; Б1, Б2 - частные зависимости между кинематическим, динамическим атрибутом и эффективной мощностью для второй обучающей выборки; В1, В2 - частные зависимости между кинематическим, динамическим атрибутом и эффективной мощностью для генеральной совокупности.*

Далее выполнены два прогноза по первой и второй обучающим выборкам.

Результаты оценки первого прогноза можно свести к следующему. Коэффициент корреляции между прогнозными и фактическими значениями эффективной мощности по данным контрольной выборки равен 0,291, фактическое стандартное отклонение невязок прогноза – 3,92 м. Фактическое количество успешных скважин – 12 шт. Расчетный интервал количества успешных скважин P90-P10 – 21-26 шт. Таким образом, несмотря на высокий коэффициент корреляции между сейсмическими атрибутами и эффективной мощностью в обучающей выборке разведочных скважин, точность прогноза весьма низка, а оценка его достоверности некорректна. Основная причина некорректной оценки достоверности – несоответствие между экспериментальным стандартным отклонением невязок прогноза в обучающей выборке (1,41 м) и фактическим стандартным отклонением невязок прогноза в контрольной выборке  $\sigma$  (3,92 м). Следует особо отметить, что величина  $\sigma^*$  1,41 м намного меньше стандартного отклонения невязок в генеральной совокупности 2,58 м.

Результаты оценки второго прогноза: коэффициент корреляции между прогнозными и фактическими значениями эффективной мощности по данным контрольной выборки равен 0.528, фактическое стандартное отклонение невязок прогноза в контрольной выборке – 2,68 м. Фактическое количество успешных скважин – 16 шт. Ожидаемый интервал количества успешных скважин P90-P10 – 14-21 шт. Таким образом, во втором случае точность прогноза примерно соответствует плотности связи между сейсмическими атрибутами и эффективной мощностью пласта в генеральной совокупности, а оценка его достоверности является корректной. Обусловлено это равенством экспериментального стандартного отклонения невязок прогноза 2,58 м к его значению для генеральной совокупности 2,58 м.

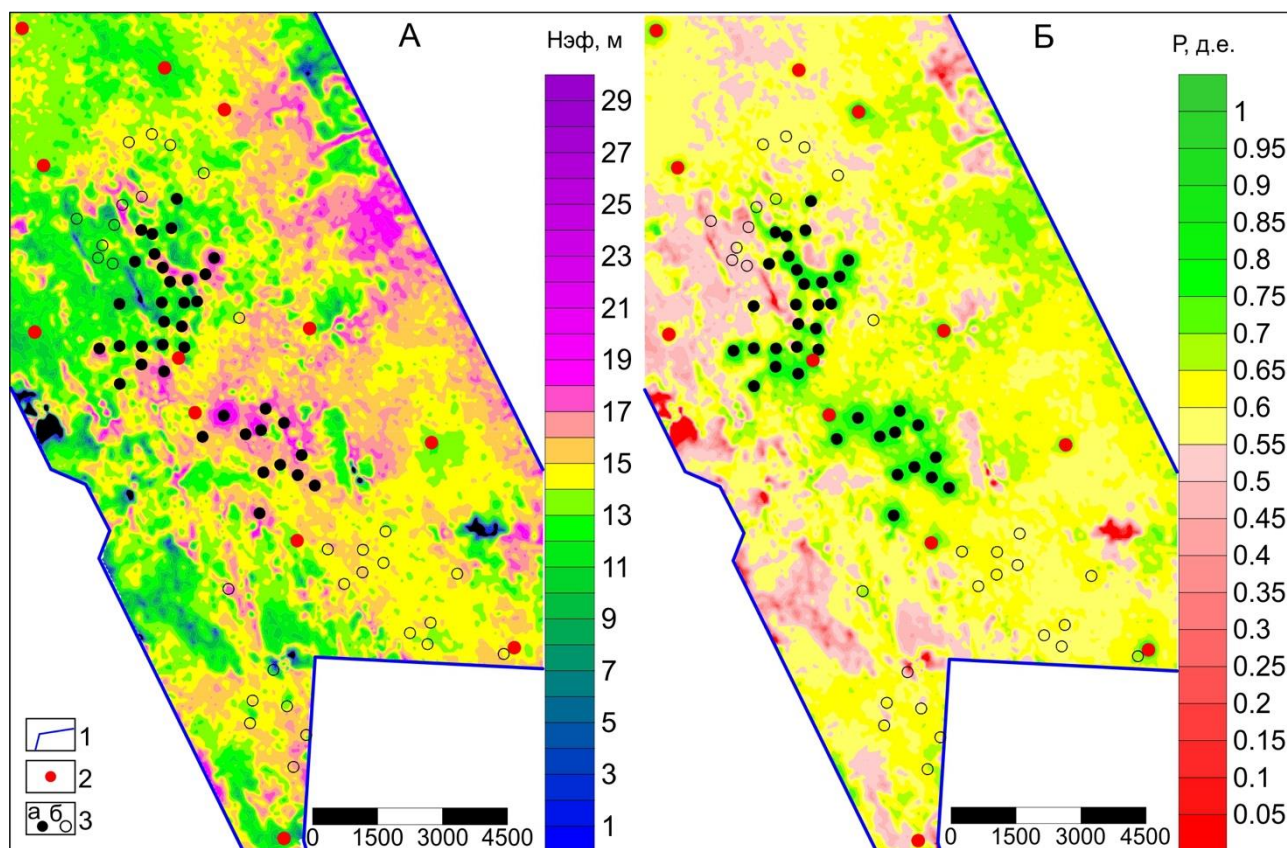
Итоговая карта прогноза эффективной мощности пласта Ю<sub>1</sub><sup>1-2</sup> и карта оценки достоверности прогноза в предлагаемой трактовке приведены на рис. 12.

Как и в модельном примере, описанном выше, расчетные значения вероятности слабо коррелируются с фактическим результатом в конкретной скважине. Оцененная вероятность в успешных скважинах изменяется в пределах 0,45-0,70, в неуспешных скважинах – в пределах 0,29-0,68. Группирование указанных данных по интервалам оценки достоверности показало следующее:

– фактическая частота успешности по пяти скважинам с наименьшей расчетной вероятностью успеха равна 0,400. Средняя расчетная вероятность успеха для них – 0,444;

– фактическая частота успешности по 20 скважинам со средней расчетной вероятностью успеха равна 0,550. Средняя расчетная вероятность успеха для них – 0,599;

– фактическая частота успешности по пяти скважинам с наибольшей расчетной вероятностью успеха равна 0,600. Средняя расчетная вероятность успеха для них – 0,664.



**Рис. 12. Карты результатов прогноза эффективной мощности пласта Ю<sub>1</sub><sup>1-2</sup> (А) и оценки его достоверности (Б)**

*1 - фрагмент контура сейсмического куба, 2 - разведочные скважины, 3 - эксплуатационные скважины, вошедшие в обучающую выборку (а), составившие контрольную выборку.*

Реальные данные также показывают, что между поинтервальными прогнозными и фактическими оценками достоверности прогноза имеется приблизительное соответствие. Следовательно, карту оценки достоверности прогноза при необходимости можно использовать при планировании новых эксплуатационных работ.

Таким образом, анализ реальных данных подтвердил полученные при исследовании моделей выводы. Оценка достоверности прогноза становится корректной, когда экспериментальное стандартное отклонение невязок прогноза  $\sigma^*$ , установленное по обучающей выборке, примерно равно стандартному отклонению невязок в генеральной совокупности. Если под генеральной совокупностью рассматривать все множество разведочных и эксплуатационных скважин, которое планируется пробурить на площади, то оценку его стандартного отклонения в первом приближении можно принять по аналогии с соседними участками, хорошо изученными эксплуатационным бурением.

### Обсуждение результатов

В ходе моделирования получены и подтверждены исследованиями на реальных данных

два принципиально важных результата, касающихся оценки достоверности сейсмических прогнозов ФЕС:

1. условием корректной оценки сейсмических прогнозов ФЕС является близость значений экспериментального стандартного отклонения невязок прогноза, определенного по обучающей выборке, и фактического стандартного отклонения невязок прогноза в контрольной выборке;
2. указанное условие в большинстве случаев соблюдается, когда экспериментальное стандартное отклонение невязок прогноза сопоставимо со стандартным отклонением невязок прогноза в генеральной совокупности.

Посредством анализа модельных показано, что результат оценки достоверности сейсмического прогноза по данным ограниченной контрольной выборки даже при самых благоприятных условиях бывает корректным только в 90% случаев. Причиной этого являются индивидуальные особенности отношения «S-Нэф» контрольной выборки. В связи с этим возникают следующие вопросы:

– Какова вероятность получения корректных оценок достоверности сейсмического прогноза по обучающим и контрольным выборкам ограниченного объема, например, по разведочным скважинам?

– Какой должна быть плотность скважин в обучающей выборке для получения корректной оценки достоверности сейсмического прогноза?

– Как можно использовать данные эксплуатационного бурения для повышения степени достоверности сейсмического прогноза?

Эти вопросы авторы рассматривают как план проведения дальнейших исследовательских работ.

### Заключение

Оценка достоверности сейсмических прогнозов ФЕС продуктивных пластов является весьма актуальной задачей, имеющей большое практическое значение. Несмотря на это, авторам известна только одна работа, в которой предложен способ оценки достоверности сейсмических прогнозов, основанный на геостатистическом подходе к интерпретации сейсмических данных [Левянт и др., 2006]. В развитие этого направления авторами предложено новое определение рассматриваемого понятия: под степенью достоверности прогноза ФЕС в точке планшета сейсмической съемки следует понимать вероятность попадания фактического значения ФЕС в заданный коридор прогноза. Основой для оценки указанной вероятности являются функции плотности вероятности параметра ФЕС с математическим ожиданием, равным прогнозному значению параметра, и стандартным

отклонением, оцененным по карте стандартного отклонения невязок прогноза. Корректность оценки достоверности сейсмического прогноза может быть проверена посредством построения вероятностной функции количества успешных скважин в контрольной выборке, которое выполняется путем стохастического моделирования результатов бурения контрольной выборки скважин. Если фактическое количество успешных скважин в контрольной выборке находится внутри расчетного интервала, определяемого квантилями вероятностной функции, например, P90-P10, то оценку достоверности можно признать корректной.

Для понимания предложенного метода посредством 4800 экспериментов выявлены факторы, контролирующие:

- фактическое количество успешных скважин в контрольной выборке  $N_{fact}$ ;
- квантили P90, P50, P10 функции вероятности количества успешных скважин в контрольной выборке;
- условия, определяющие корректность оценки достоверности прогноза.

Фактическое количество успешных скважин  $N_{fact}$  в значительной степени зависит от индивидуальных особенностей отношения «S-Нэф» контрольной выборки. Вместе с тем существует значимая связь между фактическим стандартным отклонением невязок прогноза в контрольной выборке  $\sigma$  и величиной  $N_{fact}$ : с увеличением  $\sigma$   $N_{fact}$  уменьшается.

Значение квантиля P50 достаточно плотно коррелируется с величиной экспериментального стандартного отклонения невязок прогноза  $\sigma^*$ : с увеличением  $\sigma^*$  величина P50 уменьшается. Ширина интервала P90-P10 в целом зависит от величины P50.

Основной фактор, определяющий корректность оценок достоверности прогноза – это близость значений экспериментального стандартного отклонения невязок по обучающей выборке  $\sigma^*$  и фактического стандартного отклонения невязок по контрольной выборке  $\sigma$ .

Наиболее важный результат проведенного анализа – это стабилизация частоты корректных оценок достоверности прогноза в районе 80% в условиях, когда экспериментальное стандартное отклонение невязок становится равным или превышает стандартное отклонение невязок прогноза в генеральной совокупности. Если под генеральной совокупностью рассматривать все множество разведочных и эксплуатационных скважин, которое планируется пробурить на площади, то оценку его стандартного отклонения в первом приближении можно принять по аналогии с соседними участками, хорошо изученными эксплуатационным бурением. Анализ реальных данных подтвердил полученные при исследовании моделей выводы.

## Литература

*Безходарнов В.В.* Прогнозирование коллекторских свойств пород по данным сейсморазведки на основе многомерного статистического анализа // Нефтяное хозяйство. - 2006. - №8. - С. 34-37. EDN: [JWLKPR](#)

*Демьянов В.В., Савельева Е.А.* Геостатистика: теория и практика. - М.: Наука, 2010. - 327 с. EDN: [YLEGPR](#)

*Дюбрул О.* Использование геостатистики для включения в геологическую модель сейсмических данных. - Zeist: EAGE, 2002. - 296 с.

*Егоров С.В., Приезжев И.И.* Сейсмогеологическое моделирование с целью определения влияния полноты исходной информации и геологических условий на результат прогноза емкостных свойств коллекторов по сейсмическим данным // Нефтегазовая геология. Теория и практика. - 2020. - Т.15. - №2. - [http://www.ngtp.ru/rub/2020/14\\_2020.html](http://www.ngtp.ru/rub/2020/14_2020.html) DOI: [10.17353/2070-5379/14\\_2020](https://doi.org/10.17353/2070-5379/14_2020)

*Ильичев Н.М.* К вопросу о достоверности знания // Вестник Тамбовского университета. Серия: гуманитарные науки. - 1996. - № 2(2). - С. 18-23. EDN: [NUWYZP](#)

*Лаврик А.С., Федотов М.Н., Кузнецова Л.С., Петрова С.М., Исаков Д.В.* Прогнозирование коллекторских свойств неоконских отложений с использованием методов нейросетевого моделирования // Недропользование XXI век. - 2007. - № 4. - С. 24-27. EDN: [KXCDWT](#)

*Левянт В.Б., Ампилов Ю.П., Глоговский В.М., Колесов В.В., Коростышевский М.Б., Птецов С.Н.* Методические рекомендации по использованию данных сейсморазведки (2D, 3D) для подсчета запасов нефти и газа. - М.: ЦГЭ, 2006. - 39 с.

*Новокрецин А.В.* Алгоритмы структурных построений на основе статистической модели по скважинным и сейсмическим данным // Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук. - Новосибирск, 2008. - 21 с. EDN: [NQDLDD](#)

*Пинчук А.В., Пылев Е.А., Поляков Е.Е., Творогов М.А., Чурикова И.В.* Оптимизация кустового бурения на Чайндинском нефтегазоконденсатном месторождении по данным совместного анализа сейсмических атрибутов и ГИС с применением алгоритмов нейронных сетей // Геология нефти и газа. - 2022. - № 2. - С. 17-30. DOI: [10.31087/0016-7894-2022-2-17-30](https://doi.org/10.31087/0016-7894-2022-2-17-30)

*Потапов Д.В., Ефремова Е.И.* Анализ геологических рисков на этапе оценки запасов с целью повышения эффективности освоения актива // Нефтегазовая геология. Теория и практика. - 2023. - Т.18. - №1. - [http://www.ngtp.ru/rub/2023/2\\_2023.html](http://www.ngtp.ru/rub/2023/2_2023.html) EDN: [GUATEE](#)

*Приезжев И.И., Егоров С.В., Щелкунов А.Е.* Количественный прогноз карт эффективных параметров нефтегазовой продуктивности пластов по сейсмическим данным с помощью глубоких нейронных сетей // Геофизика. - 2017. - № 6. - С. 2-9. EDN: [YQTZOY](#)

*Путилов И.С., Селетков И.А., Ладейщиков С.В.* Новые подходы к обработке и интерпретации сейсмических данных на примере одного из месторождений нефти Архангельской области // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. - 2021. - № 2(350). - С. 31-37. DOI: [10.33285/2413-5011-2021-2\(350\)-31-37](https://doi.org/10.33285/2413-5011-2021-2(350)-31-37)

*Сысоев А.П., Новокрецин А.В.* Статистические модели интерпретации по совокупности сейсмических и скважинных данных // Геофизика. - 2001. - № 1. - С. 31-41. EDN: [VCLRGH](#)

*This is an open access article under the CC BY 4.0 license*

Received 27.03.2026

Published 22.05.2026

**Lebedev M.V., Novokreschin A.V., Shamkina K.P.**

RN-Geology Research and Development LCC, Tyumen, Russia, MVLebedev2@rn-gir.rosneft.ru, AVNovokreschin@rn-gir.rosneft.ru, KPShamkina@rn-gir.rosneft.ru

**Medvedev S.B.**

Kharampurneftegaz LCC, Tyumen, Russia, MedvedevSB@kharampurneftegaz.ru

## **ASSESSING THE RELIABILITY OF FORECASTS OF PRODUCTIVE UNITS FILTRATION AND CAPACITY PROPERTIES BASED ON SEISMIC DATA**

*Assessing the reliability of seismic forecasts of reservoir filtration and capacity properties is a pressing problem of great practical importance, yet its theoretical foundations remain insufficiently developed. The objective of this research is to obtain an estimate based on a geostatistical approach to seismic data interpretation. The authors propose a new definition of the "degree of reliability of a seismic forecast" defined as the probability of the actual value of a geological parameter falling within a predetermined forecast corridor.*

*Using the geostatistical approach, a probability density function with a mathematical expectation is derived for each point in the study area. The obtained results are experimentally verifiable, allowing for the construction of a probability function for the number of successful test wells and the determination of its quantiles, such as P90, P50, and P10. If the actual number of successful test wells falls within the P90-P10 range, the reliability assessment is considered correct. The methodology is discussed using the example of forecasting the effective thickness of a productive units at a well-studied field in Western Siberia.*

**Keywords:** *seismic forecast reliability assessment, reservoir filtration and capacity properties, geostatistical approach, productive unit, Western Siberia.*

---

**For citation:** Lebedev M.V., Novokreschin A. V., Shamkina K. P., Medvedev S. B. Assessing the reliability of forecasts of productive units filtration and capacity properties based on seismic data. *Neftegazovaya Geologiya. Teoriya I Praktika*, 2026, vol. 21, no. 2, available at: [https://www.ngtp.ru/rub/2026/14\\_2026.html](https://www.ngtp.ru/rub/2026/14_2026.html) EDN: MVTPMN

---

### **References**

Bezkhodarnov V.V. *Forecasting reservoir properties of rocks based on seismic survey data using multivariate statistical analysis*. Oil Business, 2006, no. 8, pp. 34-37. (In Russ.). EDN: [JWLKPR](#)

Dem'yanov V.V., Savel'yeva E.A. *Geostatistics: Theory and Practice*. Moscow: Nauka, 2010, 327 p. (In Russ.). EDN: [YLEGPR](#)

Dyubrul O. *Using geostatistics for incorporating seismic data into geological models*. Zeist: EAGE, 2002, 296 p. (In Russ.).

Egorov S.V., Priezzhev I.I. Seismogeological modeling in order to determine the influence of the completeness of initial information and geological conditions on the result of forecast of poro-perm reservoirs properties. *Neftegazovaya Geologiya. Teoriya I Praktika*, 2020, vol. 15, no. 2, available at: [http://www.ngtp.ru/rub/2020/14\\_2020.html](http://www.ngtp.ru/rub/2020/14_2020.html) (In Russ.). DOI: [10.17353/2070-5379/14\\_2020](https://doi.org/10.17353/2070-5379/14_2020)

Il'ichev N. M. On the question of the reliability of knowledge. *Bulletin of Tambov University. Series: Humanities*, 1996, no. 2(2), pp. 18-23. (In Russ.). EDN: [NUWYZP](#)

Lavrik A.S., Fedotov M.N., Kuznetsova L.S., Petrova S.M., Isakov D.V. Forecasting reservoir properties of Neocomian strata using neural-network modeling methods. *Nedropol'zovaniye XXI vek*, 2007, no. 4, pp. 24-27. (In Russ.). [KXCDWT](#)

Levyant V.B., Ampilov Yu.P., Glogovskiy V.M., Kolesov V.V., Korostyshevskiy M.B., Ptetsov S.N. *Methodological recommendations for using seismic survey data (2D, 3D) for estimating*

*oil and gas reserves*. Moscow: CGE, 2006, 39 p. (In Russ.).

Novokreschin A.V. Algorithms of structural modeling based on statistical models from well and seismic data. *Abstract of the dissertation for the degree of Candidate of technical sciences*. Novosibirsk, 2008, 21 p. (In Russ.). EDN: [NQDLDD](#)

Pinchuk A.V., Pylyev E.A., Polyakov, E.E. Tvorogov M.A., Churikova I.V. Optimization of well-cluster drilling at the Chayanda oil-gas condensate field based on joint analysis of seismic attributes and GIS using neural-network algorithms. *Geologiya nefti i gaza*, 2022, no. 2, pp. 17-30. (In Russ.). DOI: [10.31087/0016-7894-2022-2-17-30](#)

Potapov D.V., Efremova E.I. Analysis of geological risks at the stage of reserves assessment in order to increase the asset development efficiency. *Neftegazovaya Geologiya. Teoriya I Praktika*, 2023, vol. 18, no. 1, available at: [http://www.ngtp.ru/rub/2023/2\\_2023.html](http://www.ngtp.ru/rub/2023/2_2023.html) (In Russ.). EDN: [GUATEE](#)

Priezzhev I.I., Egorov S.V., Schelkunov A.E. Quantitative forecast of maps of effective parameters of oil and gas productivity using seismic data with the help of deep neural networks. *Geofizika*, 2017, no. 6, pp. 2-9. (In Russ.). EDN: [YQTZOY](#)

Putilov I.S., Seletkov I. A., Ladeyschikov S.V. New approaches to processing and interpreting of seismic data on the example of one of the oilfield of Arkhangelsk region. *Geologiya, geofizika i razrabotka neftyanykh i gazovykh mestorozhdeniy*, 2021, no. 2(350), pp. 31-37. (In Russ.). DOI: [10.33285/2413-5011-2021-2\(350\)-31-37](#)

Sysoyev A.P., Novokreshchin A.V. Statistical interpretation models based on the combination of seismic and well data. *Geofizika*, 2001, no. 1, pp. 31-41. (In Russ.). EDN: [VCLRGH](#)