

## Вероятностная оценка ресурсов и запасов при нефтегазозоразведочных работах

М.В. Лебедев\*, Т.В. Глухов, К.П. Шамкина  
ООО «РН – Геология Исследования Разработка», Тюмень, Россия

Проблема прогноза результатов геологоразведочных работ (ГРР) на различных этапах нефтегазозоразведки является весьма актуальной при освоении лицензионных участков. По мнению авторов, она может быть решена посредством технологии вероятностной оценки локализованных ресурсов и запасов с учетом вероятностей существования залежей. Цель проведенного исследования – повышение достоверности таких оценок на основе геостатистического подхода к интерпретации данных современных методов изучения недр. Для достижения поставленной цели решались две научные задачи: задача оценки вероятности существования залежи ( $P_g$ ) на поисково-оценочном этапе ГРР, и задача оценки вероятности существования залежи в точке разведочной скважины ( $P_e$ ) на разведочном этапе ГРР. В статье на модельных данных показано, что ключевые компоненты  $P_g$  – вероятности существования резервуара и покрышки в пределах ловушки – могут быть оценены по результатам их сейсмического прогноза: итоговым картам и картам стандартного отклонения невязок. Вероятность существования структурных ловушек может быть получена по данным стохастического моделирования структурных поверхностей, а вероятность их заполнения – по данным бассейнового моделирования. Компоненты  $P_e$  – вероятность существования резервуара в точке разведочной скважины и вероятность залегания кровли пласта выше контакта «продукт-вода» также могут быть получены по результатам сейсмического прогноза. Основным преимуществом предлагаемого подхода является объективная количественная оценка вероятности существования залежи, основанная на современных технологиях исследований нефтегазоносных бассейнов и степени изученности объектов. Основная проблема – степень достоверности оценки статистических параметров генеральной совокупности по данным выборки. Хотя первые результаты ее решения выглядят обнадеживающими, исследования в данном направлении необходимо продолжать.

**Ключевые слова:** вероятностная оценка ресурсов, вероятностная оценка запасов, вероятность существования залежи, геостатистический подход к интерпретации данных, поисково-оценочный этап, разведочный этап

**Для цитирования:** Лебедев М.В., Глухов Т.В., Шамкина К.П. (2026). Вероятностная оценка ресурсов и запасов при нефтегазозоразведочных работах. *Георесурсы*, 28(2), с. 27–43. <https://doi.org/10.18599/grs.2026.2.9>

### Введение

В новой парадигме стратегии развития сырьевой базы нефтедобывающей промышленности Российской Федерации (Конторович, Эдер, 2015) большое значение уделено именно мелким залежам, которые могут разрабатываться небольшими компаниями, и которые могут стать объектами поддержки нефтедобычи в старых промысловых районах. Но, как справедливо отмечено в диссертационной работе С.В. Шатрова (Шатров, 2018, стр. 4), их разработка может быть рентабельной только в случае объединения с другими мелкими залежами. Поэтому

в настоящее время становится крайне актуальной задача оценки ресурсной базы лицензионных участков, особенно в уже хорошо изученных районах. Она включает в себя возможное количество открытий и суммарный прирост ресурсов УВ, которые можно получить в результате проведения геологоразведочных работ (ГРР). Основным методом решения этой задачи стала вероятностная оценка ресурсов УВ с учетом вероятности существования залежи.

Понимание запасов и ресурсов как вероятностной величины было обосновано в (Фотиади и др., 1981; Роуз, 2011 и др.). Технология вероятностной оценки ресурсов УВ с учетом вероятности существования залежи, представляющая собой стохастическое моделирование результатов ГРР, описана в работах (Фокин, 2011; Шатров, 2018 и др.).

Далее необходимо изложить наше понимание терминов «вероятность существования залежи  $P_g$ » и «вероятность существования залежи в точке разведочной скважины  $P_e$ ».

\* Ответственный автор: Михаил Валентинович Лебедев  
e-mail: MVLebedev2@rn-gir.rosneft.ru

© 2026 Коллектив авторов

Статья находится в открытом доступе и распространяется в соответствии с лицензией Creative Commons Attribution (CC BY) License (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

Под вероятностью существования залежи в данной статье мы будем понимать вероятность наличия скопления УВ в резервуаре без учета его промышленной значимости, а также без учета усилий, которые могут быть затрачены на его открытие.

Тогда с учетом работ (The CCOP Guidelines..., 2000; Роуз, 2011; Фокин, 2011; Поляков, Мурзин, 2012; Поляков, 2016; Шатров, 2018; Емельянова, Пороскун, 2021 и др.) под вероятностью существования залежи на поисково-оценочном этапе ГРП  $P_g$  мы будем понимать произведение вероятностей геологических факторов, определяющих существование залежи:  $P_g = P_1 \cdot P_{2a} \cdot P_{2b} \cdot P_{3a} \cdot P_{3b} \cdot P_4$ , где  $P_1$  – вероятность существования резервуара в пределах ловушки,  $P_{2a}$  – вероятность существования замкнутого контура,  $P_{2b}$  – вероятность существования покрывки,  $P_{3a}$  – вероятность существования зрелой материнской толщи,  $P_{3b}$  – вероятность миграции,  $P_4$  – вероятность сохранности залежи.

В случае, если факт существования залежи был достоверно установлен по результатам бурения поисковой скважины, можно утверждать, что факторы существования покрывки, зрелой материнской толщи, миграционного потока и сохранности залежи являются доказанными. Тогда под вероятностью существования залежи на разведочном этапе ГРП  $P_e$  мы будем понимать произведение вероятностей геологических факторов, определяющих существования залежи в конкретной точке заложения разведочной скважины:  $P_e = P_{1e} \cdot P_{2e}$ , где  $P_{1e}$  – вероятность существования резервуара,  $P_{2e}$  – вероятность залегания кровли резервуара выше уровня «продукт-вода» в точке заложения разведочной скважины.

В качестве основы для оценки  $P_g$ ,  $P_e$ , а также в качестве критерия их истинности, по нашему мнению, следует использовать опыт ГРП, который обобщается посредством различных параметров (Отмас, 2006; Орлова и др., 2010; Отмас, Подольский, 2014).

Для прояснения роли вероятностной оценки ресурсов и запасов на различных этапах ГРП необходимо рассмотреть следующий модельный пример. Допустим, что существует лицензионный участок, в пределах которого сейсморазведочными работами подготовлено для глубокого бурения 10 мелких ловушек углеводородов (УВ) L1 – L10 (рис. 1А). Около каждой ловушки приведены:

над чертой – неопределенность объема ресурсов в ловушке (средняя оценка (M) и оценка стандартного отклонения (SD) в у.е.), под чертой – вероятность существования залежи  $P_g$ . Требуется оценить запасы лицензионного участка посредством стохастического моделирования результатов ГРП.

В ходе стохастического моделирования ГРП методом Монте-Карло в каждой реализации ресурсы каждой ловушки принимают конкретные значения в соответствии, например, с логнормальными распределениями с параметрами (M, SD), а  $P_g$  – значения «0» или «1» с соответствующей частотой.

Стохастическое моделирование ГРП методом Монте-Карло предполагает совместное моделирование неопределенности наличия скопления УВ в ловушке и неопределенности его объемов:

– В каждой реализации случайного процесса существование залежи будет либо установлено (1), либо нет (0). При этом частота выпадения единиц определяется заданным значением  $P_g$ ;

– В каждой реализации случайного процесса объем запасов в каждой ловушке принимает конкретное значение в соответствии с заданной функцией его плотности вероятности. Например, в соответствии с логнормальным распределением с параметрами (M, SD).

Т.е., в каждой реализации в каждой ловушке залежь либо существует (1) и имеет определенные запасы, либо нет (0). В результате моделирования получаются вероятностные распределения суммарного количества залежей и суммарного объема запасов. В рассматриваемом примере получен следующий прогноз результатов ГРП. С вероятностью 99% можно утверждать, что в пределах территории исследования существует не менее 1 залежи с запасами не менее 1.7 у.е. С вероятностью 50% – не менее 4 залежей с суммарными запасами не менее 22.3 у.е. С вероятностью 1% – не менее 7 залежей с суммарными запасами не менее 47.2 у.е.

Допустим далее, что на рассматриваемых ловушках было проведено поисковое бурение, в результате которого сделано 3 открытия с суммарными запасами 24.3 у.е. (рис. 1Б). В ловушке 4 открыта залежь с запасами 3.9 у.е. В ловушке 6 – залежь с запасами 11.0 у.е. В ловушке 9 – залежь с запасами 9.4 у.е. Фактический результат по обоим

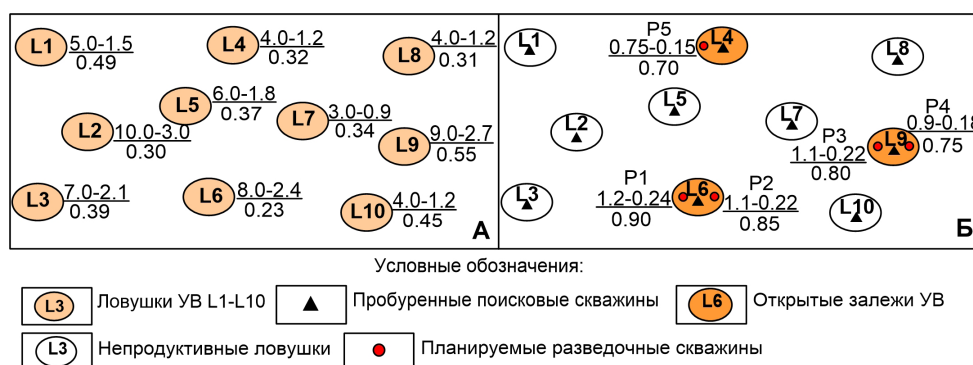


Рис. 1. Лицензионный участок с ловушками УВ. А – поисково-оценочный этап, Б – разведочный этап. А: над чертой – неопределенность объема ресурсов в ловушке: средняя оценка M – оценка стандартного отклонения SD в у.е.; под чертой – вероятность существования залежи  $P_g$ . Б: над чертой – неопределенность прироста запасов категории C1: средняя оценка M – оценка стандартного отклонения SD в у.е.; под чертой – вероятность существования залежи в точке заложения разведочной скважины  $P_e$ . Для рассматриваемой модели будем считать, что успех разведочной скважины всегда сопровождается соответствующим приростом запасов.

параметрам попадает в интервал прогноза P99–P1, следовательно, прогноз можно считать подтвердившимся.

Приведенный пример должен продемонстрировать, что на поисковом этапе оценки ресурсной базы участка существуют две ключевые неопределённости: неопределённость существования залежей в ловушках, и неопределённость объема их запасов, которые можно учесть методом вероятностной оценки ресурсов с учетом  $P_g$  (Шатров, 2018).

Далее предположим, что для успешного развития проекта на рассматриваемом лицензионном участке требуется прирастить еще 5 у.е. запасов категории C1. Для этого запланировано бурение 5 разведочных скважин P1–P5 (рис. 1Б). Как и в предыдущем случае, около каждой запланированной скважины над чертой приведена неопределенность запасов C1: средняя оценка  $M$  и оценка его стандартного отклонения ( $SD$ ) в у.е., под чертой – вероятность существования залежи в точке заложения разведочной скважины  $P_e$ . Для упрощения будем считать, что Недропользователь обладает всеми необходимыми технологиями, соответственно успех разведочного бурения всегда сопровождается соответствующим приростом запасов. Суммарная оценка объема запасов – 5.05 у.е. Требуется выяснить: удастся ли посредством бурения запланированных 5 скважин надёжно обеспечить требуемый прирост запасов 5 у.е.

По мнению авторов, методической основой для решения данной задачи может быть вероятностная оценка прироста запасов с учетом  $P_e$ . В рассматриваемом случае вероятность прироста 5 у.е. запасов C1 составляет около 19%. С вероятностью 99% можно ожидать, что успешными будет не менее 2 скважин, при этом прирост запасов будет не менее 1.7 у.е. С вероятностью 50% – успешными будет не менее 4 скважин с приростом запасов не менее 4.1 у.е.

Второй приведенный пример должен был продемонстрировать, что и на разведочном этапе существуют неопределенности, которые также можно учесть посредством технологии вероятностной оценки.

Из приведенных примеров, по нашему мнению, должно следовать, что вероятностная оценка ресурсов и запасов с учетом  $P_g$  и  $P_e$  может быть эффективным инструментом, позволяющим оценивать ресурсную базу лицензионных участков и планировать программы как поискового, так и разведочного бурения. Эта технология позволяет количественно прогнозировать пессимистический, наиболее вероятный и оптимистический результаты разных этапов ГРП на лицензионном участке. Следовательно, она может стать неотъемлемой частью комплекса ГРП при соблюдении следующего необходимого условия: используемые в расчетах оценки  $P_g$ ,  $P_e$  должны объективно отражать как свойства геологических объектов, так и степень их изученности. Соответственно цель проведенного исследования – это повышение достоверности таких оценок на основе геостатистического подхода к интерпретации данных современных методов изучения недр.

Для достижения поставленной цели решались две научные задачи:

– Задача оценки вероятности существования залежи  $P_g$  на поисково-оценочном этапе ГРП;

– Задача оценки вероятности существования залежи в точке заложения разведочной скважины  $P_e$  на разведочном этапе ГРП.

Эти задачи и определили общую структуру статьи:

– В первом разделе были рассмотрены современные представления о возможностях оценки вероятности существования залежи;

– Во втором разделе – общие положения геостатистического подхода к интерпретации данных современных методов изучения недр;

– В третьем разделе – особенности вероятностной оценки ресурсов с учетом  $P_g$  на поисково-оценочном этапе ГРП;

– В четвертом разделе – особенности вероятностной оценки ресурсов с учетом  $P_e$  на разведочном этапе ГРП.

## 1. Современные представления о возможностях оценки успеха ГРП

Статья А.А. Полякова и Ш.М. Мурзина (Поляков, Мурзин, 2012) целиком посвящена обсуждаемой проблеме. Ее авторы вероятность  $P$  понимают как количественную меру возможности осуществления события при наличии неопределенности, а риск  $R$  – как  $1 - P$ . В статье отмечено следующее: «Анализ геологических рисков представляет собой оценку мультипликативного влияния критичных для формирования и сохранности залежи углеводородов факторов. Как правило, выполняется она субъективно и предпосылок появления методов объективной количественной оценки риска пока нет, поскольку очень сложно оценить индивидуальное влияние совокупности факторов, приводящих к неудачам при проведении ГРП» (Поляков, Мурзин, 2012, стр.1). В статье (Поляков, 2016, стр. 6–7) отмечено: «Необходимо подчеркнуть, что обсуждение конкретной величины геологического риска не имеет смысла и корректно вычислено быть не может. Что действительно важно – организовать работу по оценке риска в едином ключе для последующего сопоставления и ранжирования геологических проектов».

Важность стандартизации оценок  $P_g$  также подчеркнута в (Фокин, 2011). Вместе с тем, А.Н. Фокин отмечает, что: «При реализации программы ГРП правильная оценка рисков позволяет добиться значений фактических приростов запасов, близких к запланированным» (Там же, стр. 84). Из цитаты следует, что оценка  $P_g$ , соответствующая объективной реальности, возможна, а степень «правильности» ее может быть проверена экспериментально.

Аналогичный вывод можно сделать и из диссертации С.В. Шатрова: автор в разделе 2.6 проводит сопоставление полученных им прогнозов прироста запасов с новыми фактическими данными, и приходит к выводу об их удовлетворительной сходимости (Шатров, 2018, стр. 101–105). В этой же работе показан путь совершенствования рассматриваемого метода – ретроспективный анализ результатов ГРП: «Такой ретроспективный анализ даёт геологам возможность постепенно отлаживать свои подходы к оценке геологических факторов и в результате постепенно улучшать точность своих вероятностных оценок» (Шатров, 2018, стр. 28).

*Ретроспективный анализ коэффициентов успешности, подтверждаемости, достоверности.* Ему посвящены работы (Орлова и др., 2010; Отмас, Подольский, 2014). «Вероятность открытия месторождения –  $p_m$  при разбуривании единичной структуры принято отождествлять с достигнутым коэффициентом удачи» (Отмас, Подольский, 2014, стр. 2). Под коэффициентом удачи понимается произведение коэффициента подтверждаемости ловушек на коэффициент успешности (Отмас, 2006). В статье (Орлова и др., 2010) приводится динамика изменений указанных коэффициентов по годам, а также их изменения по нефтегазоносным областям Ненецкого автономного округа. Рекомендуется учет полученных данных при планировании геологоразведочных работ. В статье (Отмас, Подольский, 2014) показано, как на основе теории игр и знания достигнутого коэффициента удачи можно выполнить оценку возможного количества открытий и прироста запасов при опоисковании фонда подготовленных структур в Ненецком автономном округе.

С нашей точки зрения рассмотренный подход имеет очень высокую степень объективности, поскольку для его реализации нет необходимости привлекать какие-либо теоретические представления о факторах, контролирующих формирование и сохранность залежей УВ. Он основан на анализе предшествующего опыта ГРП, и эффективен при прогнозе результатов ГРП в крупных регионах (например, Отмас, Подольский, 2014). Сложности могут возникнуть при его применении на небольшом лицензионном участке, поскольку эффективность ГРП может существенно меняться от места к месту в пределах одной нефтегазоносной области в зависимости от локальных геологических условий (например, Орлова и др., 2010).

*Анализ геологических факторов, контролирующих формирование и сохранность залежей УВ.* В настоящее время, с нашей точки зрения, он является основным подходом к решению поставленной задачи. По мнению авторов, в нем можно выделить три направления:

- Использование шаблонов оценки  $P_g$ ;
- Адаптация шаблонов к геологическим условиям района посредством ретроспективного анализа результатов ГРП;
- Количественный анализ связей между геологическими факторами и коэффициентами успешности.

Использование шаблонов упоминается в (Фокин, 2011) и подробно описано в (The CCOP Guidelines..., 2000; Поляков, Мурзин, 2012). Согласно последним работам, оценка  $P_g$  определяется следующими четырьмя основными факторами:

- Вероятность существования резервуара  $P_1$ , включающая вероятность наличия соответствующих фаций  $P_{1a}$  и вероятность наличия у них коллекторских свойств  $P_{1b}$ ;
- Вероятность существования ловушки  $P_2$ , включающая вероятность наличия замкнутого контура  $P_{2a}$  и вероятность наличия флюидоупора  $P_{2b}$ ;
- Вероятность заполнения ловушки углеводородами  $P_3$ , включающая вероятность наличия зрелой материнской толщи  $P_{3a}$  и вероятность миграции углеводородов в ловушку  $P_{3b}$ ;
- Вероятность сохранности залежи  $P_4$ .

$P_g$  оценивается путем перемножения соответствующих вероятностей. Для каждого компонента формулы  $P_g$

предложен шаблон оценки его вероятности, учитывающий как геологическую ситуацию, так и наличие данных.

Использование указанных факторов является прямым следствием осадочно-миграционной теории нефтидогенеза. Очевидно, что использование шаблонов позволяет выполнять оценку  $P_g$  для разных объектов в едином ключе, обеспечивая тем самым возможность их сопоставления и ранжирования. Сложности могут возникнуть при дальнейшем неподтверждении количественного прогноза результатов ГРП. В этом случае используемые шаблоны необходимо адаптировать к геологическим условиям района работ.

Примерами адаптации шаблонов к геологическим условиям района являются работы (Икон, Олюнина, 2019; Полищук, 2020, 2022).

В первой статье посредством ретроспективного анализа результатов ГРП на лицензионных участках Тазовского и Толькинского нефтегазоносных районов показано, что адаптацию шаблонов к геологическим условиям района можно рассматривать как последовательное решение «прямой» и «обратной» задач ГРП. На первом этапе был выполнен отбор скважин с известными результатами оценки насыщения пластов. Им были присвоены априорные вероятности  $P_1$ – $P_4$  в соответствии с (The CCOP Guidelines..., 2000), и решена «прямая» задача ГРП. Под «прямой» задачей в данном случае понимается вероятностная оценка возможного количества открытий, полученная стохастическим моделированием на основе заданных значений  $P_g$ . Если фактическое количество открытий попадает в прогнозный интервал, определяемый, например, квантилями  $P_{90}$ – $P_{10}$ , то можно утверждать, что использованный шаблон  $P_g$  не противоречит геологической реальности. Если же фактический результат меньше  $P_{90}$  или больше  $P_{10}$ , то с 90%-ой вероятностью можно сделать вывод, что принятый шаблон необходимо адаптировать, т.е., решать «обратную» задачу ГРП. Иными словами, под «обратной» задачей понимается коррекция шаблона оценки вероятностей на основе известных результатов ГРП.

В работах (Полищук, 2020, 2022) описана адаптация шаблона  $P_g$  для суббассейна Журуа (Бразилия): «Результаты адаптации шаблона  $P_g$  оценивались через степень совпадения смоделированных и фактических данных в каждом из 5 продуктивных пластов (JR80-100, JR70B, JR70A, JR60, JR10), по числу открытий во всех пластах, по числу продуктивных структур. Если фактические данные попадали в наиболее вероятный интервал по данным стохастического моделирования, то шаблон принимался как корректный; если не попадали – то шаблон адаптировался» (Полищук, 2020, стр. 27). Очень важно, что вероятности заполнения ловушек и возможные объемы УВ оценивались автором на основе бассейнового моделирования – поискового метода, который, по мнению авторов, может стать одним из основных инструментов ГРП в XXI веке.

В рассматриваемом направлении оценки  $P_g$  удачным образом сочетаются общие положения осадочно-миграционной теории с опытом ГРП в конкретном районе. Сложность адаптации шаблона  $P_g$  заключается в том, что «обратная» задача ГРП имеет неединственное решение.

Различные модификации анализа связей между геологическими факторами и коэффициентами успешности описаны в работах (Галкин и др., 1997; Галкин, 2009, 2012; Бурштейн и др., 2006; Грекова, 2011).

Например, в работе (Грекова, 2011) приведен следующий алгоритм прогноза продуктивности локальных объектов в васюганском комплексе Западно-Сибирской нефтегазоносной провинции. На первом этапе выполнялся анализ информативности прогностических параметров. В качестве целевого параметра была принята вероятность ( $p$ ) получения притока ( $q$ ) на структуре  $p(q)$ , определяемая как отношение числа структур с притоком нефти  $> 3 \text{ м}^3/\text{сут}$  или газа  $> 3000 \text{ м}^3/\text{сут}$  к общему числу изученных бурением структур.  $P(q)$  далее интерпретировалась как вероятность нефтегазоносности структуры. В качестве прогностических рассматривались различные параметры коллекторов, флюидоупоров, материнской толщи, гипсометрии и толщины региональных комплексов, параметры локальных поднятий. Значения каждого параметра  $x_i$  разбивались на интервалы по 20–30 значений, для каждого из которых оценивалась  $p(q|x_i)$  – условная вероятность нефтегазоносности структуры. Информативным принимался параметр  $x_p$ , с ростом которого  $p(q|x_i)$  значительно (монотонно или с экстремумом) изменяется. На втором этапе на основе информативных прогностических признаков рассчитывался комплексный параметр  $f$  – значения дискриминантной функции, разделяющей ловушки на два класса – нефтегазоносные и пустые. На заключительном этапе выполнялся прогноз вероятности нефтегазоносности локальных структур. Диапазон изменений комплексного параметра был разбит на интервалы, в каждом из которых подсчитано отношение числа нефтегазоносных структур к общему числу структур, на которых проводилось бурение. В результате была построена нелинейная функция, связывающая условную вероятность нефтегазоносности структуры  $p(q|f)$  с комплексным параметром  $f$ . Результирующая функция была использована для построения карты вероятности нефтегазоносности ловушек в горизонте Ю<sub>1</sub> на территории Томской области.

В работе (Галкин, 2012) также показаны возможности оценки  $Pg$  с помощью вероятностно-статистических методов. В результате проведенных исследований было получено вероятностное распределение количества открытий, а также соответствующая плотность вероятности прироста запасов УВ для изучаемого объекта.

Ограничения описанного подхода, а также способ их преодоления, приведены в работах (Бурштейн и др., 2006; Грекова, 2011).

По мнению авторов настоящей статьи, рассмотренное направление оценки  $Pg$  также эффективно сочетает положения осадочно-миграционной теории нефтидогенеза с опытом проведения ГРП в районе работ. Сложности могут возникнуть при существенном отклонении фактических значений параметров  $x_i$  от их прогнозных значений на объектах исследования.

Результаты проведенного анализа можно свести к следующим утверждениям:

1. Оценка вероятности существования залежи на поисково-оценочном этапе ГРП  $Pg$ , с одной стороны, крайне важна для геолого-экономической оценки лицензионных

участков и планирования работ, с другой стороны, степень достоверности таких оценок представляется неочевидной.

2. Оценка вероятности существования залежи на разведочном этапе ГРП  $Pe$  в известных авторам статьях не рассматривается.

3. Как следует из проанализированных источников, повышение достоверности оценок  $Pg$  возможно посредством анализа предшествующего опыта ГРП.

4. По мнению авторов, указанная оценка должна:

– Во-первых, основываться на ранее упомянутых факторах  $P1, P2, P3, P4$ , которые в соответствии с осадочно-миграционной теорией контролируют формирование и сохранение залежей УВ;

– Во-вторых, опираться на предшествующие результаты ГРП в районе исследования;

– В-третьих, учитывать неопределенность оценок ключевых геологических параметров на объектах прогноза.

Далее, с учетом сделанных выводов, изложены представления авторов о вероятностной оценке ресурсов на поисковом и разведочном этапе ГРП, которая основана на геостатистическом подходе к интерпретации данных современных методов исследования. Первые результаты в данном направлении уже опубликованы в статьях (Глухов, 2022; Глухов, Лебедев, 2025).

## 2. Общие положения геостатистического подхода к вероятностной оценке ресурсов и запасов

С нашей точки зрения, проблема оценки вероятности существования залежи и неопределенности объема ресурсов в ловушках на современном этапе развития геологии может быть решена посредством использования геостатистического подхода к интерпретации данных современных методов исследования недр.

Геостатистика – наука и технология для анализа, обработки и представления пространственно-распределенной (или пространственно-временной) информации с помощью статистических методов (Chiles et al., 1999; Демьянов, Савельева, 2010). Предметом геостатистики являются пространственные переменные (или регионализованные переменные – regionalised variables), имеющие координатную привязку ( $x, y$ ). В основу исследования положена гипотеза универсального крайкинга: пространственная переменная  $F(x, y)$  состоит из систематического тренда  $m(x, y)$  и случайной компоненты, которая является реализацией случайно распределенной стационарной функции  $Z(x, y)$  с нулевым средним (Dubrule, 2003). Если для  $Z(x, y)$  может быть построена вариограмма, имеющая порог, то согласно теореме Слуцкого,  $Z(x, y)$  эргодична. Из эргодичности  $Z(x, y)$  следует возможность оценить ее статистические параметры по одной реализации. А знание статистических параметров позволяет построить карту  $Z(x, y)$  и карту стандартного отклонения  $Z(x, y) - SD(x, y)$ .

В нашем случае  $m(x, y)$  – это карта прогноза геологического параметра (например, эффективной мощности резервуара или мощности покрышки) по сейсмическим данным, которая строится по уравнению регрессии, связывающему значения геологического параметра и сейсмического атрибута.

$Z(x,y)$  – это стационарный остаток, не описываемый в рамках принятого метода прогноза, т.е., это невязки между фактическим значением геологического параметра в точках скважин и его прогнозным значением по уравнению регрессии. Как правило, прогноз можно улучшить посредством учета невязок, который выполняется методом Kriging-интерполяции на основе соответствующей вариограммы.  $F(x,y)$  – это итоговая карта прогноза геологического параметра как сумма  $m(x,y)$  и  $Z(x,y)$ .

Будем считать, что в данном случае карты  $F(x, y)$  и  $SD(x, y)$  задают в каждой точке площади нормальную функцию плотности вероятности геологического параметра с математическим ожиданием  $F(x, y)$  и стандартным отклонением  $SD(x, y)$ . Эти данные позволяют выполнить согласованную оценку неопределенностей объема ресурсов и вероятностей факторов контроля нефтегазозности, в частности, вероятности наличия коллектора или покрышки.

Поясним сказанное на следующем примере. Допустим, что в некоторой точке площади в результате прогноза резервуара итоговое значение эффективной мощности составило 2 у.е., а оценка стандартного отклонения невязок прогноза 2.5 у.е. Эти параметры позволяют построить функцию плотности вероятности эффективной мощности в данной точке, которая приведена на рис. 2А. Следует обратить внимание, что в левой части области определения аргумент функции принимает отрицательные значения. Указанные формальные построения имеют следующую содержательную интерпретацию. Площадь под кривой плотности нормального распределения, ограниченная справа нулевым значением эффективной мощности, интерпретируется как вероятность отсутствия резервуара (примерно 0.23). Площадь, ограниченная слева нулевым значением – как вероятность существования резервуара (примерно 0.77).

На рис. 2Б приведены результаты согласованного стохастического моделирования эффективной мощности и вероятности существования резервуара. Если в конкретной реализации значение эффективной мощности попадает в положительную область, то реализация считается успешной, и значение может использоваться в вероятностной оценке ресурсов. Если в отрицательную

область – то резервуар отсутствует, и значение ресурсов обнуляется. Результатом такого моделирования является согласованная оценка объемов УВ и вероятности наличия резервуара.

#### Выводы по разделу 2

– Количественный прогноз геологических факторов позволяет построить в каждой точке планшета их функции плотности вероятности с математическим ожиданием, равным прогнозному значению фактора и стандартным отклонением, определенным по карте стандартного отклонения невязок прогноза. Эти функции являются основой для определения вероятностей существования геологических факторов в каждой точке планшета. Вероятность существования фактора в этом случае равна площади под кривой плотности вероятности, ограниченной слева критическим значением фактора. Соответственно, вероятность отсутствия фактора равна площади под кривой плотности вероятности, ограниченной критическим значением фактора справа.

– Степень достоверности полученных вероятностных оценок определяется степенью достоверности статистических параметров генеральной совокупности по данным выборки. Это серьезная проблема, которая требует дальнейшего исследования.

– Полученные вероятности могут быть проверены последующим бурением: если результаты новой программы ГРП попадают в прогнозный интервал, например, между квантилями P99-P1 (см. «Введение»), то полученные вероятности можно считать корректными на данной степени изученности.

### 3. Вероятностная оценка ресурсов на поисково-оценочном этапе ГРП

Для раскрытия данной темы рассмотрим следующий модельный пример. Допустим, что в районе имеется два критических фактора, определяющих нефтеносность ловушек УВ:

- Наличие резервуара с эффективной мощностью более 3 у.е. – P1;
- Наличие покрышки с мощностью более 2 у.е. – P2b.

На рис. 3 для гипотетического лицензионного участка приведены соответствующие карты истинных

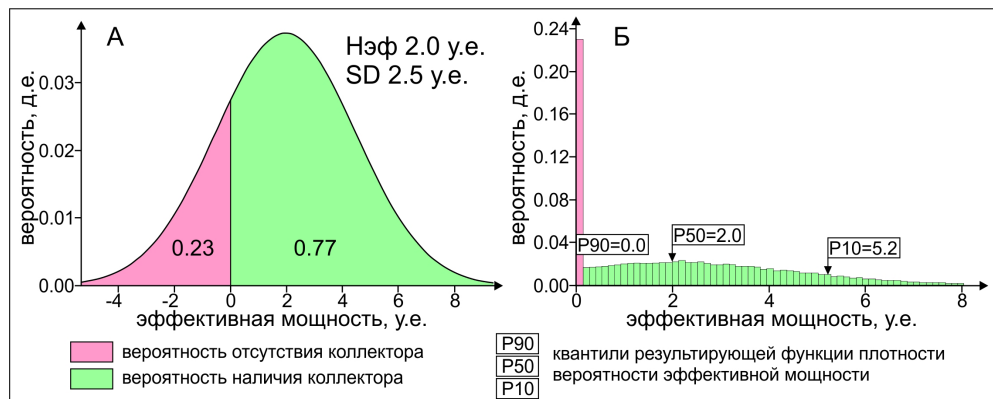


Рис. 2. Оценка вероятности существования резервуара в точке планшета на основе функции плотности вероятности эффективной мощности. А – Функция плотности вероятности эффективной мощности. Справа от 0 м – площадь, соответствующая вероятности существования резервуара, слева от 0 м – площадь, соответствующая вероятности его отсутствия; Б – Результаты согласованного стохастического моделирования эффективной мощности и вероятности существования резервуара. С вероятностью 23% резервуар в исследуемой точке отсутствует, с вероятностью 50% его эффективная мощность будет не менее 2 м, с вероятностью 10% – не менее 5.2 м.

значений эффективной мощности резервуара и мощности покрышки. Эффективная мощность смоделирована посредством одной реализации нормальной случайной функции в равномерной сети с ячейкой 1 км. Мощность покрышки – посредством реализации одной нормальной случайной функции в равномерной сети с ячейкой 4 км.

Далее допустим, что участок исследован трехмерной сейсморазведкой. В результате интерпретации сейсмических данных для резервуара и покрышки получены соответствующие сейсмические атрибуты (рис. 4). Каждый сейсмический атрибут включает в себя, во-первых, сигнал, который коррелируется с геологическим параметром, во-вторых, шум, который с геологическим параметром не коррелируется. Шум задан посредством одной реализации нормальной случайной функции в равномерной сети с ячейкой 2.5 км.

Также допустим, что на лицензионном участке в пределах антиклинальных ловушек пробурено 25 поисковых

скважин (рис. 4). Координаты скважин определены при помощи генератора случайных чисел. В точках скважин по соответствующим картам определены истинные значения эффективной мощности резервуара и мощности покрышки. Успешными считались поисковые скважины, в которых эффективная мощность более 3 у.е. и мощность покрышки более 2 у.е. При таком подходе на площади оказалось успешными 16 скважин. Коэффициент успеха составил 0.64 (=16/25). Объем прироста запасов составил 4.635 у.е. Для упрощения расчетов при оценке прироста запасов площадь нефтеносности принималась 1 км<sup>2</sup>, коэффициент пористости 0.15, коэффициент нефтенасыщенности 0.65, коэффициент усадки 0.85, плотность нефти 0.85 у.е./м<sup>3</sup>.

На основании приведенных данных требуется спрогнозировать результаты бурения (количество открытий и суммарный прирост запасов) следующих 25 поисковых скважин, заложенных на подготовленных

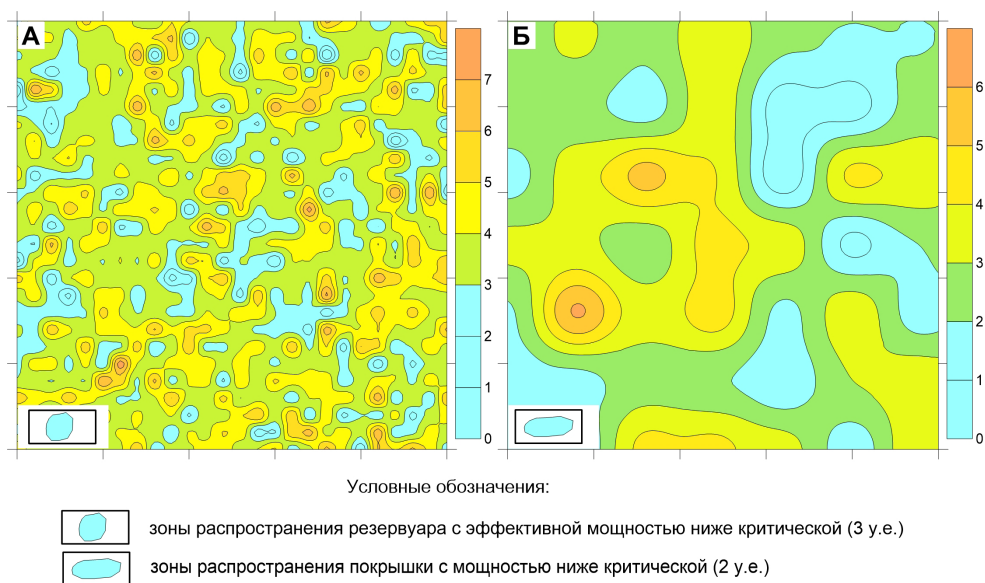


Рис. 3. А – карта эффективной мощности резервуара; Б – карта мощности покрышки

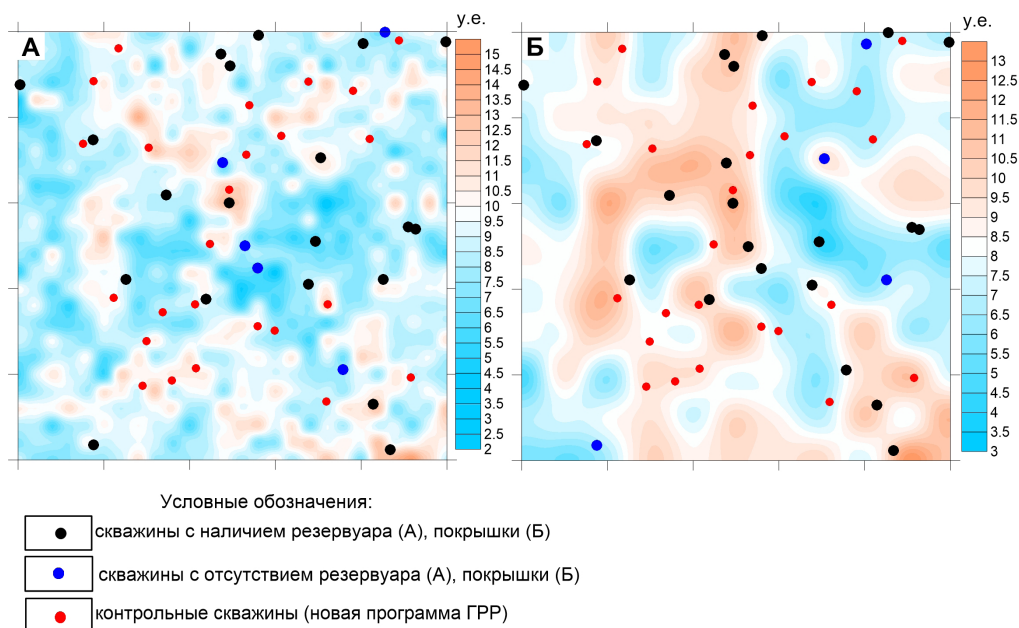


Рис. 4. Карты сейсмических атрибутов для прогноза эффективной мощности резервуара (А) и мощности покрышки (Б)

сейсморазведкой антиклинальных ловушек. Их положение также приведено на рис. 4. Для решения поставленной задачи необходимо:

- Выполнить прогноз резервуара и покрышки по комплексу сейсмических и скважинных данных;
- Оценить вероятности существования резервуара и покрышки;
- Оценить эффективность предлагаемого подхода по контрольной выборке.

#### Прогноз резервуара и покрышки

Для оценки вероятности существования резервуара и покрышки можно использовать результаты количественной интерпретации данных сейсморазведки. Наиболее типичным представляется следующий подход:

- В начале выявляют количественные связи между искомыми геологическими параметрами и сейсмическими атрибутами;
- Затем карты сейсмических атрибутов по соответствующим уравнениям пересчитываются в карты геологических параметров;

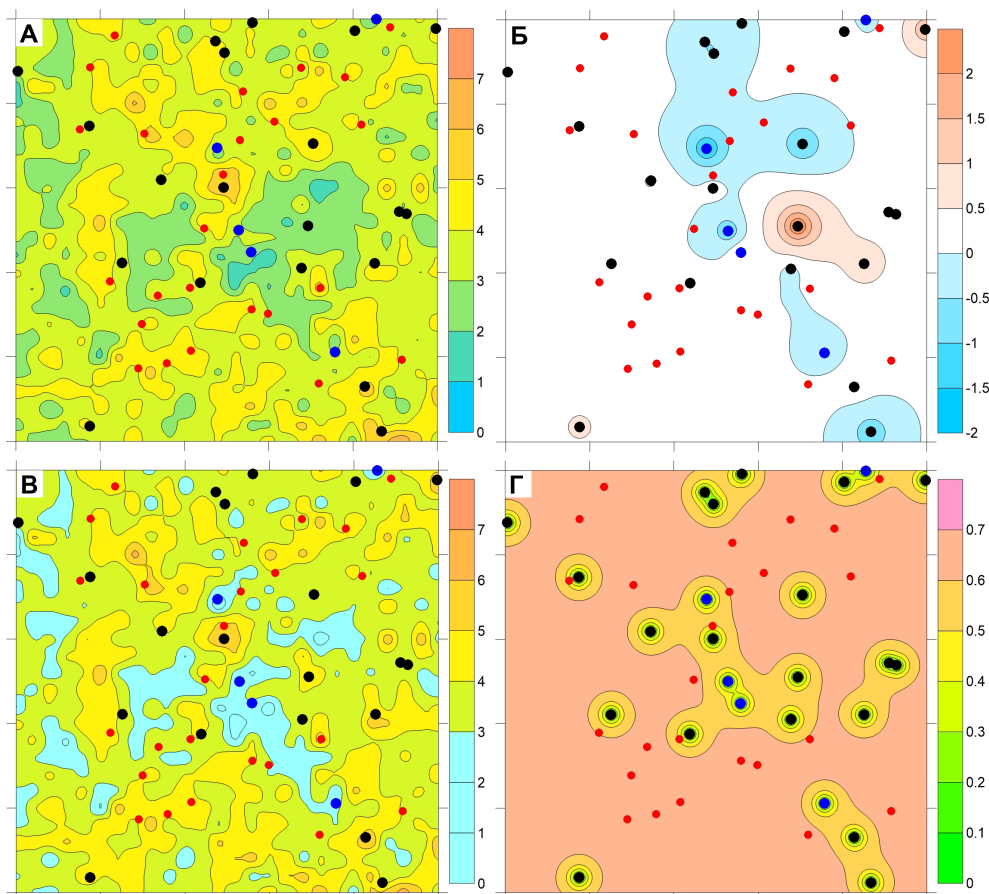
- Далее определяются невязки между фактическими и расчетными значениями параметров в точках скважин;
- Посредством построения вариограмм оцениваются их статистические характеристики, и выполняется Kriging-интерполяция невязок с построением карт стандартного отклонения;

– Результирующие карты геологических параметров получают путем сложения расчетных карт и карт невязок.

Зависимости между сейсмическими атрибутами, эффективной мощностью резервуара и мощностью покрышки в рассматриваемом случае имеют коэффициенты корреляции около 0.6–0.65 – типичные для таких построений.

Ввиду малого объема выборки радиусы вариограмм были определены по данным сейсмических атрибутов, отражающих степень изменчивости среды, а плато вариограмм – по данным невязок прогноза (дисперсия невязок).

Расчетная карта эффективной мощности, карта невязок прогноза, итоговая карта эффективной мощности приведены на рис. 5. Расчетная карта мощности покрышки, карта невязок прогноза, итоговая карта мощности покрышки



Условные обозначения:





-  скважины с наличием эффективного резервуара ( $N_{эф} > 3\sigma_{e.}$ )
-  скважины с отсутствием эффективного резервуара ( $N_{эф} < 3\sigma_{e.}$ )
-  контрольные скважины (новая программа ГРП)
-  прогнозные зоны отсутствия эффективного резервуара ( $N_{эф} < 3\sigma_{e.}$ ) (B)

Рис. 5. А – расчетная карта эффективной мощности; Б – карта невязок прогноза; В – итоговая карта эффективной мощности; Г – карта оценки стандартного отклонения невязок прогноза

– на рис. 6. Можно обратить внимание, что итоговые карты только в общих чертах повторяют «истинные» карты на рис. 3. Это обуславливает значительную неопределенность прогнозов, которую необходимо учитывать при проектировании новых работ.

*Оценка вероятности существования резервуара P1, вероятности существования покрышки P2b, оценка вероятности существования залежи Pg*

Как уже отмечалось в предыдущем разделе, карты вероятности существования резервуара и покрышки могут быть построены посредством интерпретации соответствующих итоговых карт прогноза и карт оценки стандартного отклонения невязок прогноза, которые также приведены на рис. 5, 6. Указанные карты вероятностей приведены на рис. 7. Значения вероятности в основном определяются значениями геологического параметра: чем больше его величина превышает критическое значение, тем больше вероятность существования. При малых значениях геологического параметра вероятность существования резервуара и покрышки увеличивается с увеличением стандартного отклонения невязок прогноза, при больших значениях – наоборот, уменьшается.

На рис. 8 приведена итоговая карта вероятности существования залежи Pg. В соответствии с условиями задачи критическими являются только два фактора контроля нефтегазонасыщенности: вероятность существования резервуара P1 и вероятность существования покрышки P2b. Вероятность существования остальных факторов принята равной единице. Соответственно Pg равен произведению P1 на P2b в пределах 25 ловушек УВ, на которых запланированы контрольные скважины (рис. 8). Положение контрольных скважин определено при помощи генератора случайных чисел.

*Проверка алгоритма прогноза на контрольной выборке*

Как уже отмечалось выше, контрольная выборка состояла из 25 скважин, не участвовавших в построении карт на рис. 4, 5. Содержательно – это запланированные на подготовленных ловушках скважины новой программы ГРП, результат которой надо предсказать методом вероятностной оценки ресурсов.

Проверка полученных вероятностей существования резервуара, покрышки была выполнена путем стохастического моделирования результатов ГРП. Если по результатам моделирования фактическое количество скважин,

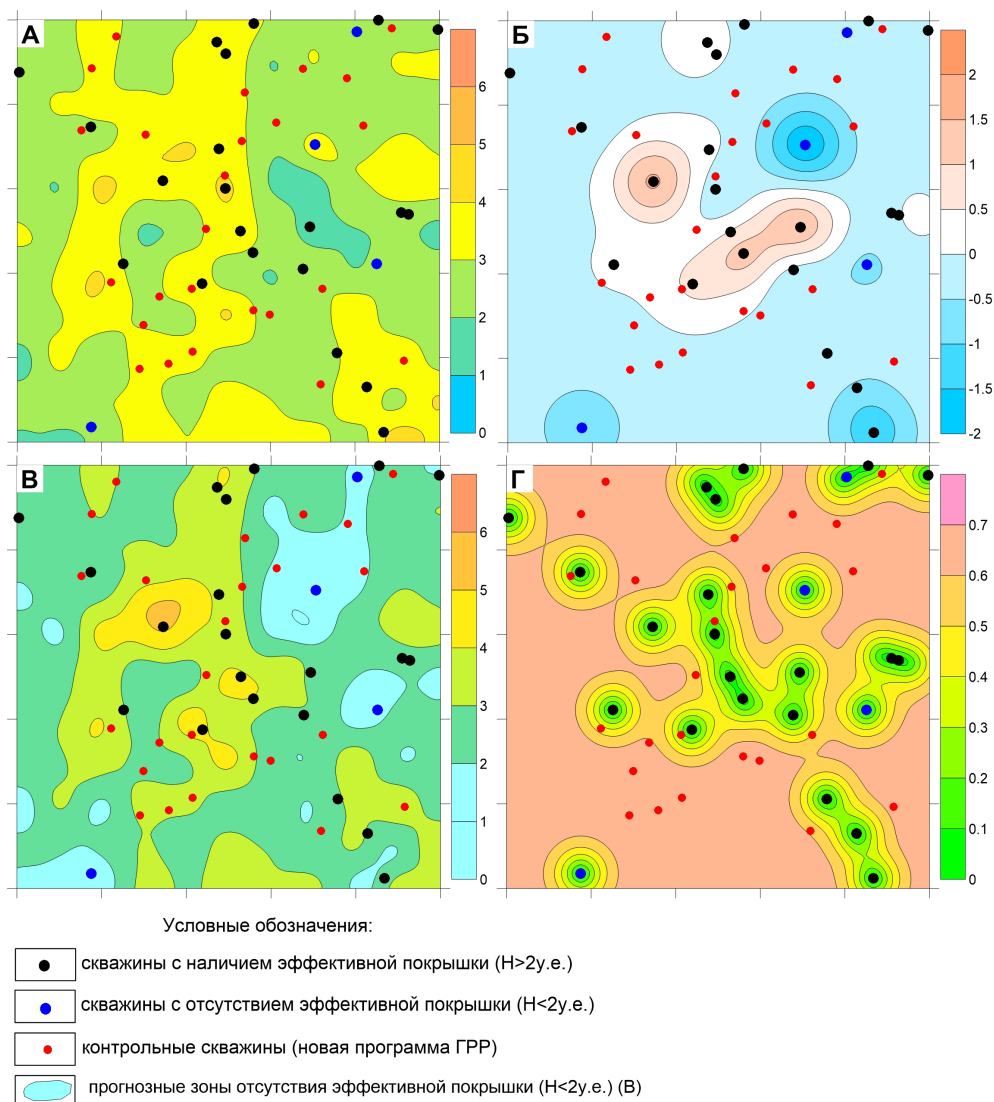


Рис. 6. А – расчетная карта мощности покрышки; Б – карта невязок прогноза; В – итоговая карта мощности покрышки; Г – карта оценки стандартного отклонения невязок прогноза

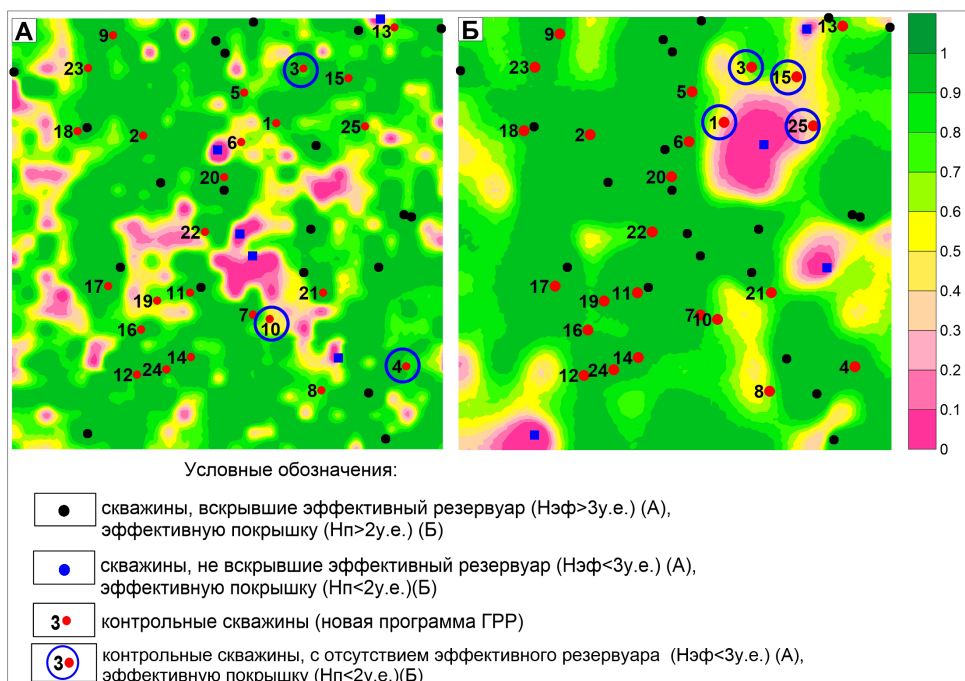


Рис. 7. А – карта вероятности существования резервуара; Б – карта вероятности существования покрывки

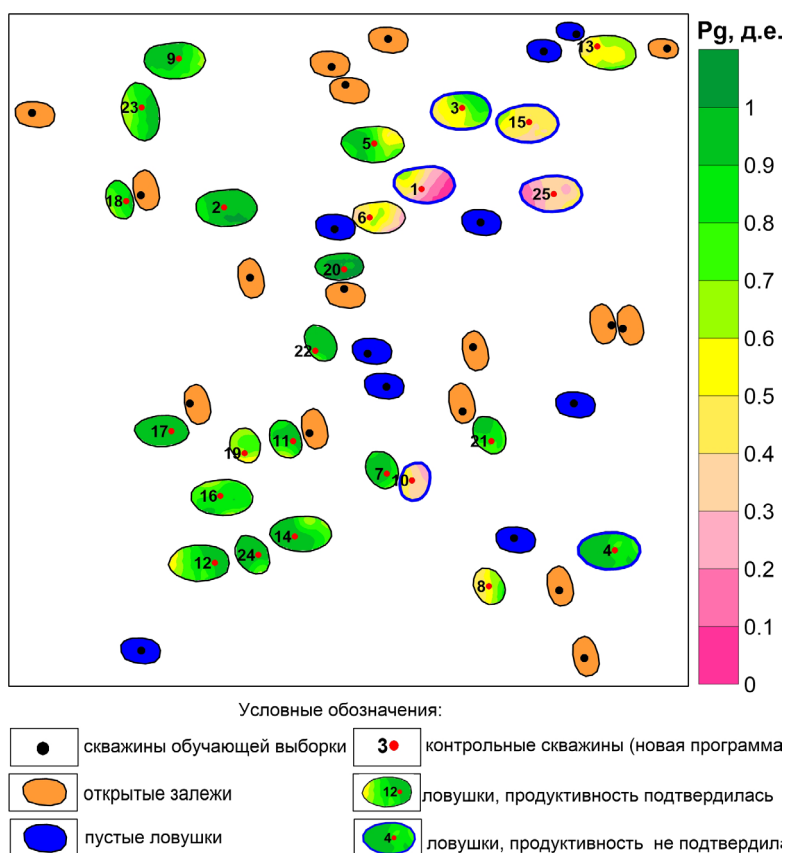


Рис. 8. Карта вероятности существования залежи Pg

в которых имеется эффективный резервуар или покрывка, попадали в прогнозный интервал, задаваемый квантилями P99–P1, то указанные вероятности оценивались как корректные. Истинные значения эффективной мощности и мощности покрывки в контрольных скважинах определены по картам на рис. 3. Прогнозные значения

эффективной мощности, мощности покрывки и их стандартные отклонения определены по картам на рис. 5, 6. Вероятности существования резервуара P1, покрывки P2b определены по картам на рис. 7. Истинные значения прироста запасов в контрольных скважинах рассчитаны в квадратах площадью 1 км<sup>2</sup> на основе значений истинной

эффективной мощности и истинных значений критических факторов. Остальные параметры приняты по аналогии со скважинами обучающей выборки.

Прогнозные значения прироста запасов в контрольных скважинах также рассчитаны в квадратах площадью 1 км<sup>2</sup> на основе значений прогнозной эффективной мощности и прогнозных значений критических факторов.

Результаты тестирования приведены в табл. 1. Из таблицы следует, что фактически эффективный резервуар присутствует в 22 из 25 контрольных скважин. По результатам прогноза он присутствует во всех 25 скважинах. При этом вероятности существования резервуара в успешных и неуспешных скважинах вполне сопоставимы: 0.543–0.846 в неуспешных, 0.534–1.000 в успешных. Вероятностная оценка количества скважин, в которых должен присутствовать эффективный резервуар, основанная на оценках вероятности его существования, показала следующее (табл. 2). С вероятностью 99% таких скважин должно быть не менее 18, с вероятностью 50% – не менее 22, с вероятностью 1% – не менее 25. Фактическое количество скважин 22 попадает в интервал прогноза, и в данном примере равно квантилю P50, что говорит о корректности карты на рис. 7А.

Из таблицы 1 также следует, что фактически эффективная покрышка присутствует в 21 скважине. По результатам прогноза она присутствует в 22 скважинах.

При этом интервалы вероятности существования покрышки в успешных и неуспешных скважинах также частично перекрываются: 0.299–0.766 в неуспешных, 0.673–1.000 в успешных. Вероятностная оценка количества скважин, в которых должна присутствовать эффективная покрышка показала аналогичные результаты (табл. 2). С вероятностью 99% таких скважин должно быть не менее 18, с вероятностью 50% – не менее 21, с вероятностью 1% – не менее 24. Фактическое количество скважин 21 попадает в интервал прогноза, и также равно квантилю P50, что говорит о корректности карты на рис. 7Б.

В ходе итоговой проверки путем стохастического моделирования результатов ГРП оценивалось сходжение прогнозных и фактических приростов запасов по контрольным скважинам (табл. 3). Фактический прирост запасов по контрольным скважинам 5.652 у.е, количество успешных скважин 19. Прогнозный прирост запасов 6.211 у.е, количество успешных скважин 22. Согласно данным стохастического моделирования с вероятностью 99% таких скважин должно быть не менее 15 (прирост запасов не менее 4.358 у.е.), с вероятностью 50% – не менее 19 (прирост запасов не менее 5.614 у.е.), с вероятностью 1% – не менее 23 (прирост запасов не менее 6.783 у.е.). Таким образом оценка вероятности существования залежей выполнена корректно.

Скв	Фактические данные							Прогнозные данные							
	Hr	R	Hs	S	Ky	Q	Hr*	R*	P1	Hs*	S*	P2b	Ky*	Pg	Q*
1	4.2	1	0.8	0	0	0.000	3.9	1	0.916	1.7	0	0.299	0	0.274	0.000
2	5.0	1	3.0	1	1	0.355	5.0	1	0.997	3.7	1	0.997	1	0.994	0.354
3	2.6	0	1.5	0	0	0.000	3.5	1	0.791	2.5	1	0.766	1	0.606	0.248
4	2.1	0	3.3	1	0	0.000	3.8	1	0.846	3.6	1	0.993	1	0.840	0.267
5	3.8	1	2.8	1	1	0.267	3.7	1	0.861	2.9	1	0.922	1	0.793	0.261
6	3.1	1	2.9	1	1	0.218	3.1	1	0.534	3.0	1	0.983	1	0.525	0.215
7	4.6	1	3.1	1	1	0.321	4.2	1	0.974	3.2	1	0.968	1	0.943	0.297
8	4.2	1	2.1	1	1	0.293	3.5	1	0.815	2.3	1	0.673	1	0.549	0.250
9	4.3	1	2.8	1	1	0.301	4.3	1	0.980	3.0	1	0.935	1	0.916	0.305
10	2.9	0	2.1	1	0	0.000	3.1	1	0.543	2.4	1	0.737	1	0.400	0.216
11	3.1	1	3.9	1	1	0.215	3.8	1	0.939	4.1	1	1.000	1	0.939	0.267
12	3.5	1	2.5	1	1	0.246	4.3	1	0.966	3.1	1	0.960	1	0.928	0.300
13	3.2	1	2.0	1	1	0.222	3.3	1	0.728	2.2	1	0.736	1	0.536	0.235
14	4.4	1	2.7	1	1	0.311	4.6	1	0.988	3.2	1	0.966	1	0.954	0.322
15	4.6	1	1.0	0	0	0.000	4.1	1	0.959	1.9	0	0.432	0	0.415	0.000
16	4.9	1	3.3	1	1	0.343	4.1	1	0.950	2.9	1	0.901	1	0.856	0.287
17	4.0	1	4.3	1	1	0.280	4.3	1	0.983	3.8	1	1.000	1	0.983	0.300
18	3.8	1	2.7	1	1	0.265	3.5	1	0.885	2.5	1	0.985	1	0.872	0.250
19	3.6	1	3.4	1	1	0.252	3.3	1	0.724	3.0	1	0.952	1	0.689	0.235
20	5.5	1	3.9	1	1	0.390	5.2	1	1.000	3.8	1	1.000	1	1.000	0.366
21	6.9	1	2.7	1	1	0.489	5.3	1	1.000	2.5	1	0.822	1	0.821	0.376
22	5.1	1	4.2	1	1	0.358	3.9	1	0.935	3.3	1	0.993	1	0.928	0.274
23	3.6	1	2.7	1	1	0.255	4.0	1	0.927	3.0	1	0.925	1	0.857	0.279
24	3.8	1	2.5	1	1	0.270	4.4	1	0.985	3.2	1	0.956	1	0.942	0.308
25	4.1	1	1.6	0	0	0.000	3.6	1	0.826	1.9	0	0.431	0	0.356	0.000
<b>Всего</b>	<b>22</b>	<b>21</b>	<b>19</b>	<b>5.652</b>	<b>25</b>	<b>22</b>	<b>22</b>	<b>22</b>	<b>22</b>	<b>22</b>	<b>22</b>	<b>22</b>	<b>22</b>	<b>6.211</b>	<b>6.211</b>

Табл. 1. Данные тестирования прогноза по контрольной выборке. Примечания: Скв – номер контрольной скважины; Hr – истинная эффективная мощность (у.е.); R – истинный фактор наличия эффективного резервуара (1, если Hэф > 3 у.е.); Hs – истинная мощность покрышки (у.е.); S – истинный фактор наличия эффективной покрышки (1, если Hs > 2 у.е.); Ky – истинный коэффициент успеха (RS); Q – истинный прирост запасов с учетом Ky (у.е.); Hr\* – прогнозная эффективная мощность (у.е.); R\* – прогнозный фактор наличия эффективного резервуара (1, если Hэф\* > 3 у.е.); P1 – вероятность наличия эффективного резервуара; Hs\* – прогнозная мощность покрышки (у.е.); S\* – прогнозный фактор наличия эффективной покрышки (1, если Hs\* > 2 у.е.); P2b – вероятность наличия эффективной покрышки; Ky\* – прогнозный коэффициент успеха (R\*S\*); Pg – вероятность существования залежи; Q\* – прогнозный прирост запасов с учетом Ky\* (у.е.).

Резервуар					Покрышка				
R	R*	P99	P50	P1	S	S*	P99	P50	P1
22	25	18	22	25	21	22	18	21	24

Табл. 2. Результаты стохастического моделирования новой программы ГРП – прогноз резервуаров и покрышек. Примечания: R – истинное количество контрольных скважин, в которых имеется эффективный резервуар; R\* – прогнозное количество контрольных скважин, в которых имеется эффективный резервуар. Результаты вероятностной оценки количества скважин, в которых имеется эффективный резервуар – квантили P99, P50, P1; S – истинное количество скважин, в которых имеется эффективная покрышка; S\* – прогнозное количество скважин, в которых имеется эффективная покрышка; Результаты вероятностной оценки количества скважин, в которых имеется эффективная покрышка – квантили P99, P50, P1.

Количество успешных скважин					Прирост запасов				
Ky	Ky*	P99	P50	P1	Q	Q*	P99	P50	P1
19	22	15	19	23	5.652	6.211	4.358	5.614	6.783

Табл. 3. Результаты стохастического моделирования новой программы ГРП – прогноз количества успешных скважин и прироста запасов. Примечания: Ky – истинное количество успешных скважин; Ky\* – прогнозное количество успешных скважин; Результаты вероятностной оценки количества успешных скважин – квантили P99, P50, P1; Q – истинный суммарный прирост запасов в контрольных скважинах; Q\* – прогнозный суммарный прирост запасов в контрольных скважинах; Результаты вероятностной оценки прироста запасов – квантили P99, P50, P1.

### Выводы по разделу 3

– На поисково-оценочном этапе ГРП вероятностная оценка ресурсов является инструментом, позволяющим предсказывать результаты программ поискового бурения.

– Современные средства прогноза нефтегазоносности недр позволяют выполнять количественную оценку критических факторов, определяющих существование залежей, а также оценивать степень ее неопределенности. Это открывает возможность использования данных результатов для оценки  $P_g$ .

– Карта количественного прогноза фактора и карта оценки стандартного отклонения невязок прогноза задают в каждой точке исследуемого участка функцию плотности вероятности фактора с математическим ожиданием, соответствующим данным первой карты и стандартным отклонением, соответствующим данным второй. В случае корректных построений полученные функции позволяют с приемлемой точностью моделировать результаты поисково-оценочного этапа ГРП.

## 4. Вероятностная оценка запасов на разведочном этапе ГРП

Оценку вероятности существования залежи выполняют на поисково-оценочном этапе ГРП, а для открытых залежей уже подразумевается, что факт их существования является установленным, т.е.,  $P_g$  равно 1. Но на разведочном этапе тоже бывают неуспешные скважины, в том числе и по геологическим причинам. С нашей точки зрения, это обстоятельство позволяет использовать описанную выше технологию и для моделирования результатов ГРП на разведочном этапе, разумеется, с определенными уточнениями.

Во введении уже было определено понятие «вероятность существования залежи в точке заложения разведочной скважины  $P_e$ ».  $P_e$  определяется двумя геологическими факторами:

– Фактором существования резервуара в точке заложения разведочной скважины  $P1e$ ;

– Структурным фактором, т.е. превышением кровли резервуара над контактом «продукт – вода»  $P2e$ .

Первый фактор может быть количественно оценен, например, как вероятность вскрыть резервуар с коэффициентом песчаности больше критического значения. Допустим, что в точке планируемой разведочной скважины ожидается вскрыть резервуар с коэффициентом песчаности 0.2 при оценке стандартного отклонения невязок его прогноза 0.25. Допустим также, что критическое значение коэффициента песчаности равно 0.1. Тогда вероятность  $P1e$  вскрыть в рассматриваемой точке эффективный резервуар равна 0.655 (Рис. 9А).

Второй фактор также может быть количественно оценен (Абдразакова и др., 2024). Допустим, что в планируемой скважине ожидается вскрыть кровлю резервуара на отметке –1495 м. Контакт «продукт – вода» находится на глубине –1500 м. Оценка стандартного отклонения невязок глубин 10 м. При этих условиях вероятность  $P2e$  вскрыть в рассматриваемой точке кровлю резервуара выше контакта «продукт – вода» равна 0.691 (рис. 9Б).

Вероятность существования залежи в точке планируемой разведочной скважины  $P_e$  в данном случае равна  $0.453 = 0.655 \cdot 0.691$ . Т.е., из десяти таких разведочных скважин успешными могут оказаться только 4–5. Общий прирост запасов в результате их бурения может быть оценен путем стохастического моделирования на основе установленных вероятностей  $P_e$  и функций плотности вероятности подсчетных параметров.

### Выводы по разделу 4

– Вероятность существования залежи в точке заложения разведочной скважины  $P_e$  определяется двумя геологическими факторами: фактором существования резервуара  $P1e$  и структурным фактором  $P2e$  в этой точке. Их вероятности можно оценить количественно по соответствующим функциям плотности вероятности геологических факторов.

– На разведочном этапе ГРП вероятностная оценка запасов также является инструментом, позволяющим предсказывать результаты программ разведочного бурения.

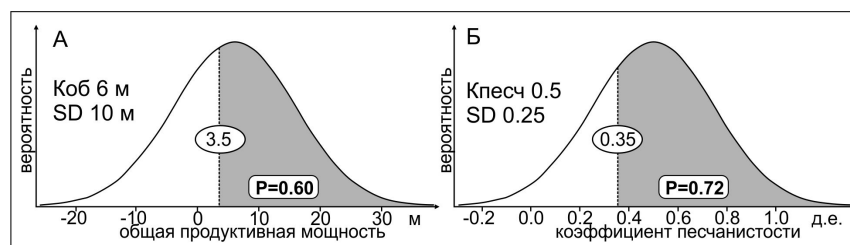


Рис. 9. Оценка вероятностей существования факторов  $P1e$ ,  $P2e$  в точке планируемой разведочной скважины на основе функций их плотности вероятности. А – Вероятность  $P1e$  существования резервуара с коэффициентом песчаности выше критического значения (например, 0.1 д.е.). Б – Вероятность  $P2e$  залегания кровли резервуара выше контакта «продукт – вода».

## 5. Обсуждение результатов

В настоящей статье изложено содержание процедуры вероятностной оценки ресурсов и запасов, которая может быть реализована как на поисково-оценочном, так и на разведочном этапе ГРП. Основана она на геостатистическом подходе к интерпретации результатов современных методов исследования недр.

По сути, рассматриваемая процедура сводится к предсказанию результатов новой программы ГРП на основе результатов уже выполненной программы. Задача стандартная, но решать ее можно разными способами.

Например, использовать предшествующий опыт ГРП так, как показано в (Отмас, Подольский, 2014), т.е., использовать достигнутый на предыдущем этапе коэффициент успеха 0.64 (раздел 3) как оценку вероятности существования залежей в следующих 25 ловушках. При этом количество фактических открытий и прирост запасов попадают в прогнозные интервалы P99-P1 (табл. 4), т.е., использование предшествующего опыта ГРП позволяет выполнять вероятностную оценку прироста запасов. Однако, такой подход не позволяет выполнить дифференциальную оценку перспектив нефтегазоносности ловушек, которая может быть необходима для планирования ГРП на лицензионных участках.

Можно продвинуться дальше, и использовать для оценки вероятностей существования залежей единые оценки стандартного отклонения невязок сейсмических прогнозов, которые получены при анализе невязок фактических данных с оценками по уравнениям регрессии. В рассмотренном модельном примере для эффективной мощности эта оценка составляет 0.641 у.е., для мощности покрышки – 0.656 у.е. При таком подходе количество фактических

открытий и прирост запасов также попадают в прогнозные интервалы P99-P1 (табл. 4). Следовательно, учет результатов сейсмического прогноза геологических параметров и их невязок может обеспечить основу для успешной вероятностной оценки прироста запасов. Вместе с тем, интуитивно очевидно, что степень близости проектной скважины к уже пробуренной должна влиять на достоверность прогноза, следовательно, на достоверность оценки  $Pg$ . Однако данный вариант это не учитывает.

Предлагаемый вариант отличается от предыдущего только способом учета невязок геологических прогнозов – посредством карт оценки их стандартного отклонения. Ценность его заключается в том, что знание вероятностей существования залежей, соответствующих степени изученности, совместно с оценкой ресурсов ловушек, позволяет управлять программой ГРП: например, выбрать 5 ловушек, опосредованное которыми даст максимальный прирост запасов с вероятностью 90%.

Количественный прогноз резервуаров и покрышек по данным современной сейсморазведки в настоящее время является стандартным видом исследований, применяемым на разных этапах геологоразведочного процесса. Количественная оценка вероятности существования антиклинальных поднятий может быть получена в результате стохастического моделирования структурных поверхностей (Яневиц и др., 2022). Количественная оценка вероятности заполнения ловушки – в результате бассейнового моделирования (Полищук, 2020, 2022). Количественная оценка вероятности сохранности залежи является актуальной научной задачей для районов, где она является критическим фактором, подходы к ее решению еще предстоит разработать.

Ку	Количество успешных скважин				Прирост запасов				
	Ку*	P99	P50	P1	Q	Q*	P99	P50	P1
Вариант с одинаковым $Pg$ 0.64 для всех ловушек									
19	16	10	16	21	5.562	4.498	2.829	4.509	5.969
Вариант с одинаковыми стандартными отклонениями ошибок прогноза для всех ловушек									
19	22	14	18	23	5.652	6.211	4.232	5.474	6.779
Предлагаемый вариант									
19	22	15	19	23	5.652	6.211	4.358	5.614	6.783

Табл. 4. Результаты разных вариантов стохастического моделирования новой программы ГРП. Ку – истинное количество успешных контрольных скважин; Ку\* – прогнозируемое количество успешных контрольных скважин; Результаты вероятностной оценки количества успешных скважин – квантили P99, P50, P1; Q – истинный прирост запасов; Q\* – прогнозируемый прирост запасов; Результаты вероятностной оценки прироста запасов – квантили P99, P50, P1.

Предлагаемый подход в целом удовлетворяет требованиям, сформулированным в выводах раздела 1. В нем сохранена оценка ключевых факторов контроля нефтегазоносности и неопределенностей подсчетных параметров. Как и лучшие современные практики, он основан на опыте предшествующих геологоразведочных работ. Он ориентирован на учет неопределенностей прогноза свойств исследуемых объектов.

Практика использования карт оценки стандартного отклонения невязок прогноза уже получила распространение (Сысоев, Новокрецин, 2001; Новокрецин, 2008). В свое время целесообразность таких построений была подвергнута критике (Аронов, Пороскун, 2002). В связи с этим хотелось бы отметить, что в рассматриваемом случае интерполируются не сами геологические параметры, а их невязки с сейсмическим трендом. Стационарность невязок является гипотезой, положенной в основу геостатистического подхода к интерпретации сейсмических данных (Dubrule, 2003).

Основной проблемой геостатистического подхода является необходимость оценить по данным ограниченной случайной выборки (предшествующей программы ГРП) статистические параметры генеральной совокупности, т.е., всего исследуемого геологического пространства. В нашем случае – оценить математическое ожидание и стандартное отклонение невязок прогноза геологических параметров по данным сейсморазведки во всех точках площади. Неопределенность составляют как вид уравнения регрессии, так и диапазон невязок прогноза. Дело осложняется еще и тем, что проверка прогноза также осуществляется по данным ограниченной случайной выборки (новой программы ГРП).

Поэтому с целью оценки надежности предлагаемого подхода авторами было сгенерировано 110 вариантов случайного расположения 25 скважин на площади, рассмотренной в разделе 3. Первые 10 вариантов были использованы для прогноза эффективной мощности, мощности покрышки, построения карт стандартного отклонения невязок и карт вероятности существования залежей, а остальные 100 вариантов – для оценки результатов прогноза. Таким образом, было получено 1000 вариантов прогноза результатов новой программы ГРП, которые можно сравнить с истинными данными. Сравнение показало следующее:

– В 845 случаях из 1000 истинное количество скважин с наличием эффективной покрышки попало в интервал прогноза P99-P1;

– В 937 случаях из 1000 истинное количество скважин с наличием эффективного резервуара попало в интервал прогноза P99-P1. Большое число попаданий, вероятно, связано с большей частотой изменчивости параметра, соответственно, с меньшим влиянием точек расположения скважин;

– В 847 случаях из 1000 истинное количество успешных скважин попало в интервал прогноза P99-P1;

– В 792 случаях из 1000 истинный суммарный прирост запасов попал в интервал прогноза P99-P1.

Таким образом, с одной стороны, результаты выглядят обнадеживающими, с другой стороны, для дальнейшей оценки ограничений предлагаемого подхода требуется

проведение новых исследований с различными моделями, а также реальных данных.

## Заключение

Проблема прогноза результатов ГРП на различных этапах нефтегазоразведки является весьма актуальной при освоении лицензионных участков. Инструментом такого прогноза может быть вероятностная оценка ресурсов и запасов с учетом вероятностей существования залежей  $P_g$  и  $P_e$ .

Цель проведенного исследования – это повышение достоверности таких оценок на основе геостатистического подхода к интерпретации данных современных методов изучения недр. Для достижения поставленной цели решались две задачи: задача оценки вероятности существования залежей  $P_g$  на поисково-оценочном этапе ГРП и задача оценки вероятности существования залежей в точке заложения разведочной скважины  $P_e$  на разведочном этапе ГРП.

На поисково-оценочном этапе ГРП необходима оценка вероятности существования всех четырех факторов контроля нефтегазоносности. В настоящей статье показано, как вероятности существования резервуара и покрышки могут быть оценены по результатам их сейсмического прогноза: итоговым картам и картам стандартного отклонения невязок. Вероятность существования ловушек может быть оценена путем стохастического моделирования структурных поверхностей. Вероятность заполнения – по данным бассейнового моделирования.

На разведочном этапе ГРП критическими факторами являются существование резервуара в точке заложения разведочной скважины и превышение в этой точке кровли резервуара над уровнем «продукт-вода». Именно их вероятности определяют вероятность наличия залежи в точке заложения разведочной скважины. Вероятность их существования также можно количественно оценить на основе карт прогноза резервуаров, структурных карт и карт стандартного отклонения соответствующих невязок прогноза.

Основным преимуществом изложенного подхода является количественная оценка вероятностей существования залежей, основанная на современных методах исследования недр и степени изученности объектов.

Основная проблема указанного подхода – степень достоверности получаемых вероятностных оценок. Хотя первые результаты ее исследования выглядят обнадеживающими, работы в данном направлении необходимо продолжать.

## Благодарности

Авторы выражают искреннюю благодарность к.т.н. А.В. Новокрецину за методическую помощь в подготовке теоретического раздела статьи, оказанную в ходе ее экспертизы.

Авторы также выражают глубочайшую благодарность Многоуважаемым Рецензентам за тщательный разбор статьи, точные вопросы, полезные советы и благожелательную критику. Благодаря им мы смогли улучшить логическую структуру работы и более обоснованно изложить основные результаты.

## Литература

- Абдразакова Д.И., Лебедев М.В., Ермаков П.В., Хазипов Р.Л., Закревский К.Е. (2025). Оценка структурных неопределенностей геологической модели по данным эксплуатационного бурения (на примере пласта ВК1 Каменного лицензионного участка). *Нефтяное хозяйство*, 1, с. 6–11. <https://doi.org/10.24887/0028-2448-2025-1-6-11>
- Аронов В.И., Пороскун В.И. (2002). К вопросу о построении карт ошибок интерполяции. *Геофизика*, 2, с. 39–40.
- Бурштейн Л.М., Грекова Л.С., Жилина И.В. (2006). Прогноз перспектив нефтегазоносности на основе анализа условных вероятностей (на примере верхнеюрского нефтегазоносного комплекса юго-востока Западной Сибири). *Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений*, 5–6, с. 85–91.
- Галкин В.И., Галкин С.В., Левинзон И.Л., Пономарев В.А. (1997). Прогнозирование нефтегазоносности локальных структур вероятностно-статистическими методами. *Известия ВУЗов. Нефть и газ*, 1, с. 31–35.
- Галкин С.В. (2009). Вероятностный прогноз геологических рисков при поисках месторождений нефти и газа. Пермь: Книжный мир, 223 с.
- Галкин С.В. (2012). Методология учета геологических рисков на этапе поисков и разведки нефтяных месторождений. *Вестник ПНИПУ. Геология. Нефтегазовое и горное дело*, 4, с. 23–32. <https://doi.org/10.15593/2224-9923/2012.4.3>
- Глухов Т.В. (2022). Новый подход к оценке рисков и неопределенностей параметров резервуаров в геологоразведочном процессе. *Экспозиция Нефть Газ*, 6, с. 34–38. DOI: 10.24412/2076-6785-2022-6-34-38
- Глухов Т.В., Лебедев М.В. (2025). Оценка вероятности существования залежей газа в пласте НБ1 верхнего мела Надым-Пур-Тазовского региона. *Нефтегазовая геология. Теория и практика*, 20(4), 1–14. [https://www.ngtr.ru/rub/2025/38\\_2025.html](https://www.ngtr.ru/rub/2025/38_2025.html)
- Грекова Л.С. (2011). Прогноз вероятности нефтегазоносности локальных структурных ловушек (на примере горизонта Ю1 юго-востока Западной Сибири, Томская область). *Геология нефти и газа*, 5, с. 84–91.
- Демьянов В.В., Савельева Е.А. (2010). Геостатистика: теория и практика. М.: Наука, 327 с.
- Емельянова Н.М., Пороскун В.И. (2021). Методика вероятностной оценки ресурсов нефти и газа участков недр с учетом зависимости геологических рисков агрегируемых локальных объектов по площади и разрезу. *Нефтегазовая геология. Теория и практика*, 16(3), с. 1–19. [https://doi.org/10.17353/2070-5379/28\\_2021](https://doi.org/10.17353/2070-5379/28_2021)
- Икон К.О., Олюнина О.А. (2019). Методический подход к оценке рисков поисково-разведочного бурения и опыт прогноза количества открытий в результате реализации программы ГРП (на примере северо-восточных районов Западной Сибири). *Трофимуксовские чтения – 2019*, с. 170–173.
- Конторович А.Э., Эдер Л.В. (2015). Новая парадигма стратегии развития сырьевой базы нефтедобывающей промышленности Российской Федерации. Минеральные ресурсы России. *Экономика и управление*, 5, с. 8–17.
- Новокрещин А. В. (2008). Алгоритмы структурных построений на основе статистической модели по скважинным и сейсмическим данным. Новосибирск, 21 с.
- Орлова Л.А., Куранов А.В., Отмас А.А., Зегер Н.А. (2010). Анализ достоверности ресурсных оценок локальных объектов при подготовке их к описыванию. *Нефтегазовая геология. Теория и практика*, 5(4), с. 1–12.
- Отмас А.А. (2006). К вопросу о достоверности оценок и геологических рисках при проведении геологоразведочных работ (на примере Калининградской области). *Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений*, 8, с. 35–40.
- Отмас А.А. (старший), Подольский Ю.В. (2014). Оценка коэффициентов удачи бурения и подтверждаемости ресурсов локальных структур в ненецком автономном округе. *Нефтегазовая геология. Теория и практика*, 9(1), с. 1–8. [https://doi.org/10.17353/2070-5379/8\\_2014](https://doi.org/10.17353/2070-5379/8_2014)
- Полищук А.В. (2020). Системный анализ истории геолого-разведочных работ и адаптация шаблона оценки геологических рисков. *Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений*, 2(338), с. 19–30. DOI: 10.30713/2413-5011-2020-2(338)-19-30
- Полищук А.В. (2022). Анализ углеводородных систем и оценка перспектив нефтегазоносности суббассейна Журуа бассейна Солимоинс (Бразилия): диссертация на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук: 1.6.11. Тюмень, 189 с.
- Поляков А.А. (2016). Системный подход к анализу и снижению риска при поисках и разведке месторождений нефти и газа. *Нефтегазовая геология. Теория и практика*, 11(1), с. 1–22. [https://doi.org/10.17353/2070-5379/3\\_2016](https://doi.org/10.17353/2070-5379/3_2016)
- Поляков А.А., Мурзин Ш.М. (2012). Международный опыт анализа геологических рисков. *Нефтегазовая геология. Теория и практика*, 7(4), с. 1–29. [https://www.ngtr.ru/rub/3/60\\_2012.pdf](https://www.ngtr.ru/rub/3/60_2012.pdf)
- Сысоев А. П., Новокрещин А. В. (2001). Статистические модели интерпретации по совокупности сейсмических и скважинных данных. *Геофизика*, 1, с. 31–41.
- Фокин А.Н. (2011). Риски и неопределенности в геологоразведочном процессе. *ROGTEC*, 27, с. 76–84.
- Фотиади Э.Э., Демин В.И., Леонтович В.Б., Растегин А.А., Конторович А.Э. (1981). Прогноз месторождений нефти и газа. М.: Недра, 350 с.
- Шатров С.В. (2018). Оценка ресурсов углеводородов на основе совместного моделирования вероятностных и объемных характеристик поисковых объектов: диссертация на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук: 25.00.12. Уфа, 160 с.
- Яневич Е.А., Лапковский В.В., Лебедев М.В. (2022). Стохастическое моделирование структурных неопределенностей как основа вероятностной оценки ресурсов углеводородов. *Пути реализации нефтегазового потенциала Западной Сибири*. Ханты-Мансийск, с. 154–164.
- Chiles J.-P., Delfiner P. (1999). *Geostatistics: modeling spatial uncertainty*. New York: John Wiley & Sons, 696 p. <https://doi.org/10.1002/9780470316993>
- Dubrule Olivier (2003). *Geostatistics for Seismic Data Integration in Earth Models*. Zeist: EAGE, 296 p. <https://doi.org/10.1190/1.9781560801962>
- The CCOP Guidelines for risk assessment of petroleum prospects. CCOP, 2000.

## Сведения об авторах

*Михаил Валентинович Лебедев* – доктор геол.-минерал. наук, эксперт, ООО «РН-Геология Исследования Разработка»

Россия, 625048, Тюмень, ул. Максима Горького, д.42  
e-mail: MVLebedev2@rn-gir.rosneft.ru

*Тимофей Вадимович Глухов* – главный специалист, ООО «РН-Геология Исследования Разработка»

Россия, 625048, Тюмень, ул. Максима Горького, д.42  
e-mail: TVGlukhov@rn-gir.rosneft.ru

*Ксения Павловна Шамкина* – главный специалист, ООО «РН-Геология Исследования Разработка»

Россия, 625048, Тюмень, ул. Максима Горького, д.42  
e-mail: KPShamkina@rn-gir.rosneft.ru

Статья поступила в редакцию 24.07.2025;

Принята к публикации 26.01.2026;

Опубликована 30.06.2026

# Probabilistic Assessment of Resources and Reserves in Oil and Gas Exploration

M.V. Lebedev\*, T.V. Glukhov, K.P. Shamkina

RN-Geology Research Development LLC, Tyumen, Russian Federation

\*Corresponding author: Mikhail V. Lebedev, e-mail: MVLebedev2@rn-gir.rosneft.ru

**Abstract.** The problem of forecasting the results of geological exploration at various stages is very relevant in the development of licensed areas. According to the authors, it can be solved through the technology of probabilistic assessment of localized resources and reserves, taking into account the probabilities of the field existence. The purpose of the study is to increase the reliability of such estimates based on a geostatistical approach to interpreting data from modern methods of geological investigation. To achieve this goal, two scientific tasks were solved: the task of estimating the probability of the existence of a field (Pg) at the evaluation stage, and the task of estimating the probability of the existence of a field at the point of the exploration well (Pe) at the exploration stage. The article uses model data to show that the key components of Pg – the probabilities of the existence of a reservoir and a seal within the trap – can be estimated based on the results of their seismic prediction: final maps and maps of the standard deviation of the discrepancies. The probability of the existence of structural traps can be obtained from stochastic modeling of structural surfaces, and the probability of their filling – from basin modeling. The Pe components – the probability of a reservoir existence at the point of the exploration well and the probability of a reservoir top to be above the product-water contact also can be obtained from the results of seismic forecasting. The main advantage of the proposed approach is an objective quantitative assessment of the probability of the field's existence, based on modern research technologies and the degree of study of objects. The main problem is the degree of reliability of the estimation of statistical parameters of the general population according to the sample data. Although the first results of its solution look encouraging, research in this direction needs to be continued.

**Keywords:** probabilistic assessment of resources, probabilistic assessment of reserves, probability of field existence, geostatistical approach to data interpretation, evaluation stage, exploration stage

**Recommended citation:** Lebedev M.V., Glukhov T.V., Shamkina K.P. (2026). Probabilistic Assessment of Resources and Reserves in Oil and Gas Exploration. *Georesursy = Georesources*, 28(2), pp. 27–43. <https://doi.org/10.18599/grs.2026.2.9>

## Acknowledgements

The authors would like to express their sincere gratitude to Candidate of Technical Sciences A.V. Novokreskin for the methodological assistance provided during the preparing the theoretical part of the article.

The authors also express their deepest gratitude to the Esteemed Reviewers for their thorough analysis of the article,

accurate questions, helpful advice and benevolent criticism. Thanks to them, we were able to improve the logical structure of the work and present the main results more reasonably.

## References

- Abdrzakova D.I., Lebedev M.V., Ermakov P.V., Khazipov R.L., Zakrevsky K.E. (2025). Structural uncertainties assessment of the geological model based on operational drilling data (on the example of the VK reservoir of the Kamennoe license area). *Neftyanoe khozyaystvo = Oil industry*, 1, pp. 6–11. (In Russ.) <https://doi.org/10.24887/0028-2448-2025-1-6-11>
- Aronov V.I., Poroskun V.I. (2002). On the issue of constructing maps of interpolation errors. *Geofizika*, 2, pp. 39–40. (In Russ.)
- Burstein L.M., Grekova L.S., Zhilina I.V. (2006). Forecast of oil and gas potential based on the analysis of conditional probabilities (using the example of the Upper Jurassic oil and gas complex in the south-east of Western Siberia). *Geologiya, geofizika i razrabotka neftyanykh i gazovykh mestorozhdeniy = Geology, geophysics and development of oil and gas fields*, 5–6, pp. 85–91. (In Russ.)
- Chiles J.-P., Delfiner P. (1999). *Geostatistics: modeling spatial uncertainty*. New York: John Wiley & Sons, 696 p. <https://doi.org/10.1002/9780470316993>
- Demyanov V.V., Savelyeva E.A. (2010). *Geostatistics: theory and practice*. Moscow: Nauka, 327 p. (In Russ.)
- Dubrulle Olivier (2003). *Geostatistics for Seismic Data Integration in Earth Models*. Zeist: EAGE, 296 p. <https://doi.org/10.1190/1.9781560801962>
- Emelyanova N.M., Poroskun V.I. Probabilistic oil and gas resource assessment for subsurface areas taking into account the dependence of geological risks of aggregated local objects by area and section. *Neftegazovaya Geologiya. Teoriya I Praktika*, 16(3). (In Russ.) [https://doi.org/10.17353/2070-5379/28\\_2021](https://doi.org/10.17353/2070-5379/28_2021)
- Fokin A.N. (2011). Risks and uncertainties in the exploration process. *ROGTEC*, 27, pp. 76–84. (In Russ.)
- Fotiadi E.E., Demin V.I., Leontovich V.B., Rastegin A.A., Kontorovich A.E. (1981). *Forecast of oil and gas fields*. Moscow: Nedra, 350 p. (In Russ.)
- Galkin V.I., Galkin S.V., Levinzon I.L., Ponomarev V.A. (1997). Forecasting of oil and gas potential of local structures by probabilistic and statistical methods. *Izvestiya VUZov. Neft' i gaz*, 1, pp. 31–35. (In Russ.)
- Galkin S.V. (2009). Probabilistic forecast of geological risks in the search for oil and gas deposits. Perm: Knizhny mir, 223 p. (In Russ.)
- Galkin S.V. (2012). Methodology of accounting for geological risks at the stage of prospecting and exploration of oil fields. *Vestnik PNIPU. Geologiya. Neftegazovoe i gornoe delo*, 4, pp. 23–32. (In Russ.) <https://doi.org/10.15593/2224-9923/2012.4.3>
- Glukhov T.V. (2022). A new approach to risk assessment and volumetric parameters uncertainty analysis for exploration process. *Ekspozitsiya Neft' Gaz*, 6, pp. 34–38. (In Russ.) DOI: 10.24412/2076-6785-2022-6-34-38.
- Glukhov T.V., Lebedev M.V. (2025). Assessing the probability of a gas accumulation in the Upper Cretaceous NB<sub>1</sub> reservoir unit in the Nadym-Pur-Taz area. *Neftegazovaya Geologiya. Teoriya I Praktika*, 20(4). (In Russ.) [https://www.ngtp.ru/rub/2025/38\\_2025](https://www.ngtp.ru/rub/2025/38_2025)
- Grekova L.S. (2011). Prognosis of probable oil and gas potential of local structural traps (with reference to horizon YU1 of south-east of West Siberia, Tomsk region). *Russian oil and gas geology*, 5, pp. 84–91 (In Russ.)
- Ikon K., Olyunina O. (2019). Methodological approach for assessing the risks of exploration drilling and the experience forecasting of numbers of discoveries as a result of implementation explorational program (as in the case of north-eastern areas of Western Siberia). *Trophimukovskie chteniya-2019*, pp. 170–173. (In Russ.)
- Kontorovich A.E., Eder L.V. (2015). A new paradigm of the development strategy for the mineral resource base of the oil producing industry in the Russian Federation. *Mineral'nye resursy Rossii. Ekonomika i upravlenie*, 5, pp. 8–17. (In Russ.)

Novokreschin A.V. (2008). Algorithms of structural constructions based on a statistical model based on borehole and seismic data: *abstract of the dissertation for PhD of Engineering Sciences*: 25.00.10. Novosibirsk, 21 p. (In Russ.)

Orlova L.A., Kuranov A.V., Otmas A.A., Zeger N.A. (2010). Analysis of the reliability of resource estimates of local objects before exploration. *Neftegazovaya geologiya. Teoriya i praktika = Petroleum geology. Theoretical and applied studies*, 5(4), pp. 1–12. (In Russ.)

Otmas A.A. (2006). On the issue of the reliability of estimates and geological risks during exploration (using the example of the Kaliningrad region). *Geologiya, geofizika i razrabotka neftyanykh i gazovykh mestorozhdeniy = Geology, geophysics and development of oil and gas fields*, 8, pp. 35–40. (In Russ.)

Otmas A.A.S., Podol'skiy Yu.V. (2014). Evaluation of development-well success ratio and approving factor of local structures' resources in Nenets autonomous district. *Neftegazovaya geologiya. Teoriya i praktika = Petroleum geology. Theoretical and applied studies*, 9(1), pp. 1–13. (In Russ.) [https://doi.org/10.17353/2070-5379/8\\_2014](https://doi.org/10.17353/2070-5379/8_2014)

Polishchuk A.V. (2020). Exploration history analysis and adjustment of geological risk assessment template. *Geologiya, geofizika i razrabotka neftyanykh i gazovykh mestorozhdeniy = Geology, geophysics and development of oil and gas fields*, 2, pp. 19–30. (In Russ.) [https://doi.org/10.30713/2413-5011-2020-2\(338\)-19-30](https://doi.org/10.30713/2413-5011-2020-2(338)-19-30)

Polishchuk A.V. (2022). Analysis of hydrocarbon systems and assessment of oil and gas potential in the Jurua basin of the Solimoins Basin (Brazil): *dissertation for PhD of Geologo-Mineralogical Sciences*: 1.6.11. Tyumen, 189 p. (In Russ.)

Polyakov A.A. (2016). Systematic approach to the risk reduction analysis during prospecting and exploration activity of oil and gas fields. *Neftegazovaya geologiya. Teoriya i praktika = Petroleum geology. Theoretical and applied studies*, 11(1), pp. 1–22. (In Russ.) [https://doi.org/10.17353/2070-5379/3\\_2016](https://doi.org/10.17353/2070-5379/3_2016)

Polyakov A.A., Murzin Sh.M. (2012). International experience in geological risk analysis. *Neftegazovaya geologiya. Teoriya i praktika = Petroleum geology. Theoretical and applied studies*, 7(4), pp. 1–29. (In Russ.)

Shatrov S.V. (2018). Estimation of hydrocarbon resources based on joint modeling of probabilistic and volumetric characteristics of search facilities:

*dissertation for PhD of Geologo-Mineralogical Sciences*: 25.00.12. Ufa, 160 p. (In Russ.)

Sysoev A. P., Novokreschin A.V. (2001). Statistical interpretation models based on the integrity of seismic and borehole data. *Geofizika*, 1, pp. 31–41. (In Russ.)

Yanevits E.A., Lapkovsky V.V., Lebedev M.V. (2022). Stochastic modeling of structural uncertainties as a basis for probabilistic estimation of hydrocarbon resources. *Proc. Conf: Ways to realize the oil and gas potential of Western Siberia*. Khanty-Mansiysk, pp. 154–164. (In Russ.)

### About the Authors

*Mikhail V. Lebedev* – Dr. Sci. (Geology and Mineralogy), Expert, RN-Geology Research Development LLC  
42 Maxim Gorky str., Tyumen, 625048, Russian Federation  
e-mail: MVLebedev2@rn-gir.rosneft.ru

*Timofey V. Glukhov* – Chief specialist, RN-Geology Research Development LLC  
42 Maxim Gorky str., Tyumen, 625048, Russian Federation  
e-mail: TVGlukhov@rn-gir.rosneft.ru

*Ksenia P. Shamkina* – Chief specialist, RN-Geology Research Development LLC  
42 Maxim Gorky str., Tyumen, 625048, Russian Federation  
e-mail: KPShamkina@rn-gir.rosneft.ru

*Manuscript received 24 July 2025;  
Accepted 26 January 2026; Published 30 June 2026*

© 2026 The Authors. This article is published in open access under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) License (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)