ISSN 2712-8008
Том / Volume 25 №3 2025
Домашняя страница журнала: http://vestnik.pstu.ru/geo/
НЕДРОПОЛЬЗОВАНИЕ

УДК 622+550.8
Статья / Article
© ПНИПУ / PNRPU, 2025

Разработка вероятностно-статистических моделей для прогноза проходки по коллектору в горизонтальных скважинах

В.И. Галкин[1], И.А. Черных[2], А.Н. Ушахин[3], Н.С. Еремеев[3]

[1]Пермский национальный исследовательский политехнический университет (Российская Федерация, 614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29)
[2]ООО «ЛУКОЙЛ-ПЕРМЬ» (Российская Федерация, 614000, г. Пермь, ул. Ленина 62)
[3]ООО «ЛУКОЙЛ-Инжиниринг» (Российская Федерация, 614000, г. Пермь, ул. Пермская 3а)

Development of Probabilistic-Statistical Models for Predicting the the Trajectory of Horizontal Wells in a Reservoir

Vladislav I. Galkin[1], Irina A. Chernykh[2], Aleksandr N. Ushakhin[3], Nikita S. Eremeev[3]

[1]Perm National Research Polytechnic University (29 Komsomolskiy Av., Perm, 614990, Russian Federation)
[2]LUKOIL-Perm LLC (62 Lenina st., Perm, 614990, Russian Federation)
[3]LUKOIL-Engineering LLC (3A Permskaya st., Perm, 614015, Russian Federation)

Получена / Received: 25.03.2025. Принята / Accepted: 19.09.2025. Опубликована / Published: 24.10.2025

Ключевые слова:
горизонтальная скважина, многоуровневая вероятностная модель, вероятность наличия коллектора, контакт с пластом-коллектором, коэффициенты песчанистости, расчлененности, эффективная нефтенасыщенная толщина пласта.

В настоящее время при планировании горизонтальных скважин (ГС) существует ряд неопределенностей, связанных с точностью прогноза распространения коллекторов по стволу скважины горизонтального участка, что во многом определяет целесообразность бурения ГС. Проблема приобретает особую актуальность в условиях постоянного ухудшения структуры остаточных запасов нефти. В конечном счете от точности этого прогноза зависит технико-экономическая успешность бурения.
Прогноз распространения коллекторов по длине горизонтального участка, основанный только на геологическом моделировании, не всегда позволяет достоверно определить данную величину.
Повышение точности прогноза проходки по коллектору возможно за счет использования дополнительной геологической информации, характеризующей наличие коллектора в горизонтальном стволе скважины. Для решения этой задачи наиболее целесообразно применять вероятностно-статистические методы. В данной работе предлагается использовать вероятность наличия коллектора в горизонтальном стволе скважины (*P*кол.), которая определяется как отношение проходки по коллектору (*L*кол., м) к общей длине горизонтального ствола (*L*гор.ст., м).
Геологическими показателями, определяющими наличие коллектора в горизонтальном стволе скважины, являются коэффициенты песчанистости (*K*песч.), расчлененности (*K*расч.) и эффективная нефтенасыщенная толщина пласта (*H*эфф.н.). На основании фактических данных построеные многомерные статистические модели прогноза значений *L*кол. Модели разработаны по данным 471 ГС, пробуренных на территории Волго-Уральской и Тимано-Печорской нефтегазоносных провинций.
С помощью данного подхода представляется возможность более точного прогноза величины *P*кол., что может быть использовано при планировании эксплуатационного бурения горизонтальных скважин и снижает риски бурения неэффективных скважин, улучшается качество проектных решений, а следовательно, повышаются технико-экономические показатели актива.

Keywords:
horizontal well, multi-level probability model, probability of reservoir presence, contact with reservoir, sandiness coefficients, dissection, effective oil-saturated formation thickness.

At present, when planning horizontal wells, there are a number of uncertainties associated with the accuracy of the forecast of reservoir propagation along the wellbore of a horizontal section, which largely determines the feasibility of drilling horizontal wells. The problem is particularly relevant in the context of the constant deterioration of the structure of residual oil reserves. Ultimately, the technical and economic success of drilling depends on the accuracy of this forecast.
Forecasting the distribution of reservoirs along the length of a horizontal section, based only on geological modeling, does not always allow to reliably determine this value.
Improving the accuracy of the forecast of trajectory in the reservoir is possible through the use of additional geological information characterizing the presence of a reservoir in the horizontal wellbore. To solve this problem, it is most appropriate to use probabilistic statistical methods. In this paper, it is proposed to use the probability of the presence of a reservoir in a horizontal wellbore (P_{res}), which is defined as the ratio of the penetration along the reservoir (L_{res}, m) to the total length of the horizontal wellbore (L_{hor}, m). Geological indicators that determine the presence of a reservoir in a horizontal wellbore are the coefficients of sandiness (K_s), dissection (K_{dis}) and effective oil-saturated formation thickness (H_{Eff}). Based on actual data, multivariate statistical models for predicting the values of L_{res}. were constructed.
The models were developed based on data from 471 horizontal wells drilled in the Volga-Ural and Timan-Pechora oil and gas provinces.
This approach makes it possible to more accurately predict the value of P_{res}, which can be used in planning production drilling of horizontal wells and reduces the risks of drilling inefficient wells, improves the quality of design solutions, and, consequently, increases the technical and economic indicators of the asset.

Галкин Владислав Игнатьевич – доктор геолого-минералогических наук (тел.: +007 (342) 219 80 17, e-mail: vgalkin@pstu.ru).
Черных Ирина Александровна – начальник отдела промыслово-геофизических и гидродинамических исследований (тел.: +007 (342) 235 61 97, e-mail: Irina.Chernykh@lukoil.com).
Ушахин Александр Николаевич – ведущий инженер (тел.: +007 (909) 116 97 33, e-mail: Aleksandr.N.Ushakhin@pnn.lukoil.com). Контактное лицо для переписки.
Еремеев Никита Сергеевич – старший менеджер (тел.: +007 (922) 324 37 97, e-mail: Nikita.Eremeev@lukoil.com).

Vladislav I. Galkin (Author ID in Scopus: 55418067700, ORCID: 0000-0003-4867-2298) – Doctor in Geology and Mineralogy, Professor, Head of the Department of Oil and Gas Geology (tel.: +007 (342) 219 80 00, e-mail: Vgalkin@pstu.ru).
Irina A. Chernykh (Author ID in Scopus: 55538120700) **–** Head of the Department of Industrial Geophysical and Hydrodynamic Research (tel.: +007 (342) 235 61 97, e-mail: Irina.Chernykh@lukoil.com).
Aleksandr N. Ushakhin – Leading Engineer (tel.: +007 (909) 116 97 33, e-mail: Aleksandr.N.Ushakhin@pnn.lukoil.com). The contact person for correspondence.
Nikita S. Eremeev– Senior Manager (tel.: +007 (922) 324 37 97, e-mail: Nikita.Eremeev@lukoil.com).

Просьба ссылаться на эту статью в русскоязычных источниках следующим образом:
Разработка вероятностно-статистических моделей для прогноза проходки по коллектору в горизонтальных скважинах / В.И. Галкин, И.А. Черных, А.Н. Ушахин, Н.С. Еремеев // Недропользование. – 2025. – Т.25, №3. – С. 158–165. DOI: 10.15593/2712-8008/2025.3.4

Please cite this article in English as:
Galkin V.I., Chernykh I.A., Ushakhin A.N., Eremeev N.S. Development of Probabilistic-Statistical Models for Predicting the the Trajectory of Horizontal Wells in a Reservoir. *Perm Journal of Petroleum and Mining Engineering*, 2025, vol.25, no.3, pp. 158-165. DOI: 10.15593/2712-8008/2025.3.4

Введение

При планировании эксплуатационного бурения горизонтальных скважин (ГС) инженер-проектировщик ставит перед собой важную задачу – прогнозирование распространения коллекторов вдоль ствола скважины. Проблема приобретает особую актуальность в условиях постоянного ухудшения структуры остаточных запасов нефти. В конечном счете от точности этого прогноза зависит от множества геолого-технологических факторов.

Для разработки различных моделей прогнозирования технологических показателей горизонтальных скважинах важно учитывать различные аспекты, такие как геологические условия, характеристики резервуаров и методы моделирования. В этом контексте полезно обратить внимание на ряд исследований, которые освещают ключевые методы и подходы в данной области. Например, в работе Probabilistic Forecasting for Oil Producing Wells Using Seq2seq Augmented Model предлагается использовать Augmented Model для вероятностного прогнозирования дебита, что может быть полезно для понимания динамики работы скважин [1]. В работе On the generation of probabilistic forecasts from deterministic models рассматривают генерацию вероятностных прогнозов из детерминированных моделей, что также может быть применимо к нефтяным резервуарам [2]. Исследования Low-permeability reservoirs development using horizontal wells и Probabilistic and statistical justification of the forecast of oil and gas potential in the area with established industrial oil capacity фокусируются на разработке низкопроницаемых резервуаров и статистическом обосновании прогнозов нефтегазового потенциала [3].

В работах [4–6] авторы рассматривают различные аспекты прогнозирования и оценки запасов нефти и газа, используя современные математические методы. Рассматривается добыча нефти из нетрадиционных углеводородных резервуаров с применением вероятностного подхода. В работах акцентируется внимание на применении статистического анализа и вероятностного обоснования для прогнозирования потенциала добычи нефти.

В статьях [7–10] представлены разнообразные методы и инструменты для повышения точности и надежности в оценке и обработке геолого-промысловых данных: от таблиц рисков до линейного анализа и разработки кислотных композиций.

В статьях [11–16] рассматриваются методы прогнозирования и оценки нефтегазоносности, прогноза эффективной проходки горизонтальных стволов по пласту-коллектору, основанные на вероятностном анализе, байесовских моделях и статистическом подходе. Вероятностные и статистические методы помогают улучшить точность прогнозов, уменьшить и минимизировать риски при разведке и разработке месторождений.

В статьях [17–21] основное внимание уделено оптимизации процессов бурения и разработки нефтегазовых месторождений, основанных на статистических методах. Рассматриваются задачи использования статистических моделей для выбора систем разработки, применения каротажа в процессе бурения, а также технологий гидроразрыва пласта и ввода скважин в эксплуатацию.

В статьях [4, 22–25] рассматриваются различные статистические подходы, описывающие физические и химические свойства пород и флюидов, влияющие на процесс добычи нефти.

В статьях [26–28] авторы сосредотачиваются на вопросах геолого-статистического моделирования и управления рисками в процессах разработки нефтяных месторождений. В работах исследуются методы оценки рисков с использованием вероятностно-статистического моделирования и прогнозирования поведения скважин.

В статьях [29–31] рассматриваются современные технологические подходы, применяемые в нефтегазовой промышленности, включая методы машинного обучения, искусственного интеллекта, data mining и другие инновации. Особое внимание уделено использованию передовых технологий для повышения производительности и снижения затрат.

В данной научной работе авторы попытались решить поставленную задачу с помощью создания вероятностно-статистических моделей, опираясь на фактическую геологическую информацию, собранную со 471 пробуренной горизонтальной скважины на территории Волго-Уральской и Тимано-Печорской нефтегазоносных провинций. Представленный подход продемонстрирован в работах [32–36].

Таким образом, настоящее исследование посвящено созданию индивидуальных и комплексных вероятностно-статистических моделей для прогнозирования длины распространения коллекторов вдоль горизонтального участка скважины (Lкол, м).

Для решения поставленной задачи используется отношение длины распространения коллекторов вдоль горизонтального участка скважины (Lкол, м) к общей длине горизонтального ствола (Lгор, м), что представляет собой вероятность присутствия коллектора (Pкол). В данной работе авторами построены одномерные и многомерные вероятностно-статистические модели, опираясь на такие геологические характеристики, как коэффициент песчанистости (Kпесч), коэффициент расчлененности (Kрасч) и эффективная нефтенасыщенная толщина пласта (Hэфф.н).

В конечном счете данный подход позволит определить прогнозное значение Lкол и, соответственно, прогнозировать проходку по пласту-коллектору. Предложенный метод обеспечит дополнительные аргументы для обоснования эффективности бурения горизонтальных скважин и поможет оценить целесообразность их бурения на прогнозных участках.

Построение моделей прогноза проходки по коллектору в горизонтальных скважинах

В ходе детального статистического анализа данных по 471 горизонтальной скважине, пробуренной на территории Волго-Уральской и Тимано-Печорской нефтегазоносных провинций, выбранных случайным образом, без учета их привязки к тектоническим элементам или нефтегазоносным комплексам, было установлено, что длина горизонтального ствола (Lгор) изменялась в пределах от 62 до 1059 м, при среднем значении 353 ± 135 м. Проходка по коллектору (Lкол) варьировалась от 3,1 до 715 м, со средним значением 199,5 ± 120,3 м. Таким образом, процент проходки по коллектору составил 56,5 %. При дифференцированном рассмотрении по интервалам выявлено значительное изменение данной величины, что отражено в табл. 1.

Таблица 1

Распределение значений Lгор и Lкол

Параметр	Интервалы варьирования L, м										
	0–100	100–200	200–300	300–400	400–500	500–600	600–700	700–800	800–900	900–1000	1000–1100
Lгор	0,004	0,065	0,315	0,364	0,158	0,028	0,025	0,023	0,014	0,002	0,002
Lкол	0,192	0,372	0,298	0,092	0,014	0,016	0,012	0,004			

Данные, приведенные в табл. 1, указывают на значительные различия в распределениях значений *L*гор и *L*кол [37–38]. Модальный интервал для *L*гор находится в пределах от 300 до 400 м, тогда как для *L*кол данный интервал составляет от 100 до 200 м. Поле корреляции между *L*гор и *L*кол представлено на рис. 1.

Анализ данных показывает, что в пределах поля корреляции существует сложный характер взаимосвязи между значениями *L*гор и *L*кол.

Регрессионное уравнение, выражающее зависимость *L*кол от *L*гор, представлено следующим образом: $L^{м}$кол = 8,202 + 0,541815 *L*гор, где коэффициент корреляции *r* составляет 0,609, уровень статистической значимости *p* равен 0,00000, а стандартная ошибка оценки равна 95,54 м.

По данному уравнению вычислены значения $L^{м}$кол для 471 скважины. Полученные результаты сопоставлены с фактическими значениями *L*кол. Сопоставление отражено на рис. 2, где наглядно представлена корреляция между рассчитанными и фактическими данными.

Отсюда видно, что в пределах корреляционного поля наблюдается разнообразие соотношений между значениями $L^{м}$кол и *L*кол. Следовательно, возникает необходимость детального исследования взаимосвязи между *L*кол и *L*гор. Для этого эти величины применяются совместно с *P*кол (рис. 3). Данная величина может быть использована в качестве критерия вероятности наличия коллектора в зависимости от значения *L*гор, обозначаемого как *P*кол.

Показано, что соотношение зависимостей *L*кол от *L*гор с учетом значений *P*кол имеет последовательный вид. В зависимости от значений *P*кол, количественно эти зависимости описываются уравнениями, приведенными в табл. 2. Пример построения аналогичных моделей представлен в работах [39–41].

Анализ уравнений регрессий показывает, что с увеличением значений *P*кол происходит закономерное повышение коэффициентов при *L*гор от 0,0173 до 0,9171. Уравнения регрессии при *P*кол > 0,1 являются статистически значимыми. В интервале *P*кол < 0,1 связь незначительная, вероятно, из-за ограниченного объема данных (*n* = 12). По значениям *P*кол и *L*гор вычислены значения $L^{м}$кол, которые были сопоставлены с фактическими значениями *L*кол (рис. 4).

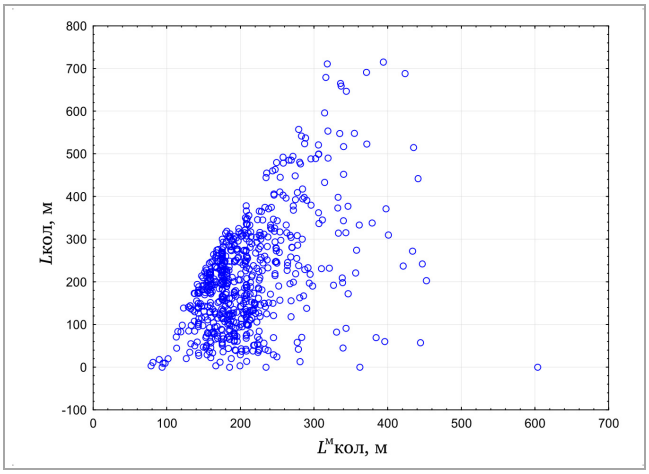


Рис. 2. Поле корреляции между расчетными значениями $L^{м}$кол и фактическими значениями *L*кол

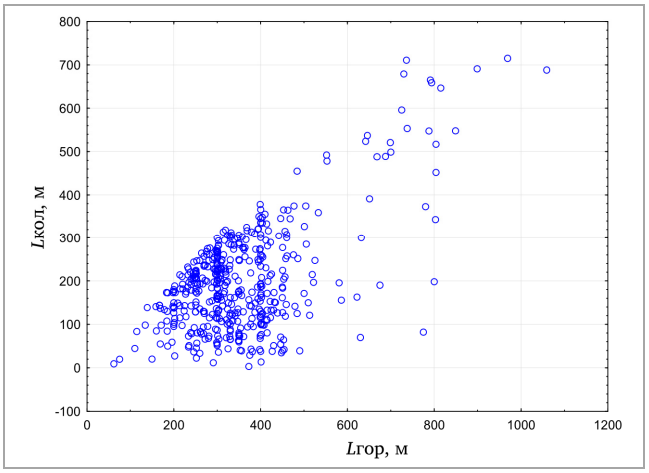


Рис. 1. Поле корреляции между *L*кол и *L*гор

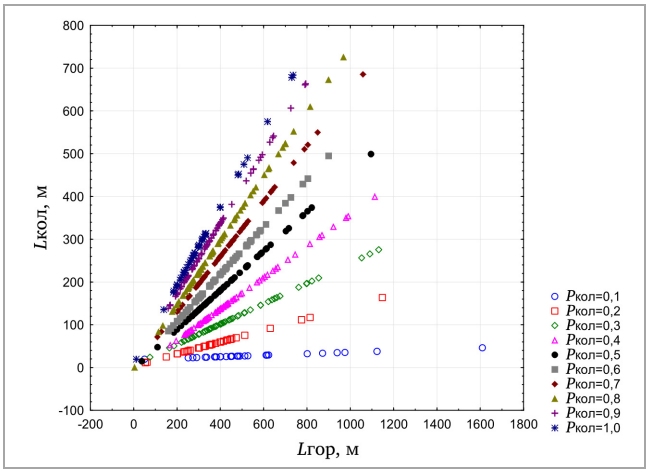


Рис. 3. Зависимости значений *L*кол от *L*гор и *P*кол

Таблица 2

Уравнения регрессии зависимостей *L*кол от *L*гор и *P*кол

Интервал значений *P*кол, *n* – количество данных	Уравнения регрессии	Значение *r*	Значение *p*
*P*кол < 0,1; *n* = 12	$L^{м}$кол = 18,432 + 0,0173 *L*гор	0,263	0,1681
*P*кол: 0,1–0,2; *n* = 30	$L^{м}$кол = 4,019 + 0,1392 *L*гор	0,884	0,0000
*P*кол: 0,2–0,3; *n* = 47	$L^{м}$кол = 6,506 + 0,2377 *L*гор	0,968	0,0000
*P*кол: 0,3–0,4; *n* = 50	$L^{м}$кол = -9,084 + 0,3670 *L*гор	0,980	0,0000
*P*кол: 0,4–0,5; *n* = 47	$L^{м}$кол = -2,781 + 0,4585 *L*гор	0,987	0,0000
*P*кол: 0,5–0,6; *n* = 42	$L^{м}$кол = -3,382 + 0,5535 *L*гор	0,990	0,0000
*P*кол: 0,6–0,7; *n* = 49	$L^{м}$кол = 1,142 + 0,6463 *L*гор	0,994	0,0000
*P*кол: 0,7–0,8; *n* = 67	$L^{м}$кол = -2,624 + 0,7518 *L*гор	0,996	0,0000
*P*кол: 0,8–0,9; *n* = 86	$L^{м}$кол = 6,880 + 0,8270 *L*гор	0,996	0,0000
*P*кол: 0,9–1,0; *n* = 40	$L^{м}$кол = 8,5088 + 0,9171	0,997	0,0000

Отсюда видно, что корреляция между Lкол^{м} и Lкол тесная, статистически значимая:

Lкол = 0,343 + 1,001902 Lкол^{м}, r = 0,996, p < 0,00000, стандартная ошибка оценки 10,492 м. Все это свидетельствует, что значения Lгор и Pкол существенно влияют на прохождение горизонтального ствола по коллектору.

Значения Lгор определяются посредством геолого-экономических данных. Анализ большого количества различных показателей (n > 50) позволил определить, что значения Pкол для изучаемых территорий в значительной мере зависят от таких геологических характеристик, как коэффициенты песчанистости (Kпесч) и расчлененности (Kрасч), а также эффективных нефтенасыщенных толщин пластов (Hэфф.н.). Значения коэффициентов корреляции (r) между Lкол и данными показателями указаны в табл. 3.

Корреляционный анализ значений r свидетельствует, что максимальное положительное воздействие на Lкол оказывает Кпесч, тогда как минимальное отрицательное воздействие оказывает Kрасч. Индивидуальные вероятностные модели для вычисления значений Pкол по используемым показателям приведены в табл. 4.

Анализ уравнений регрессий показывает, что Pкол^{м} имеет положительные связи с Hэфф.н. и Kпесч и отрицательные с Lгор и Kрасч. По данным уравнениям выполнен расчет модельных значений индивидуальных вероятностей по показателям, которые сопоставлены с фактическими значениями Pкол путем построения полей корреляции (рис. 5).

Корреляционные поля между Pкол и Pкол^{Lгор}, Pкол$^{Нэфф.н.}$, Pкол^{Красч}, Pкол^{Кпесч} характеризуются значительными вариациями как по виду корреляций, так и по степени статистических связей. Данные различия количественно оценены с помощью коэффициентов корреляции r (табл. 5).

Анализ значений коэффициента корреляции r показывает, что наибольшее положительное влияние на Pкол оказывает Pкол^{Кпесч}, наименьшее – Pкол^{Lгор}.

Прогнозирование значений Pкол будет проводиться двумя независимыми способами:

- первый способ включает в себя использование пошагового регрессионного анализа по фактическим значениям характеристик.
- второй способ основывается на применении индивидуальных вероятностных моделей, приведенных в табл. 5.

В результате применения первого метода была выведена следующая линейная многомерная модель [42, 43]:

Pкол^{м} = 0,441921 + 0,480160 Kпесч – 0,000262 Lгор + 0,008322 Hэфф.н. – 0,006634 Kрасч. Коэффициент корреляции r составляет 0,549, уровень значимости p < 0,0000, стандартная ошибка равна 0,217.

Формирование модели осуществлялось в последовательности, указанной в уравнении регрессии. На первом этапе построения модели был использован показатель Kпесч, затем Lгор, далее Hэфф.н, и на заключительном этапе Kрасч. Значения коэффициентов $к$, характеризующих силу статистических связей, изменялись следующим образом: 0,503; 0,522; 0,538; 0,549.

Во втором случае на основе значений индивидуальных вероятностей была вычислена комплексная вероятность с использованием следующей формулы:

$$P\text{кол}^{м} = \frac{\prod P\text{кол}i}{\prod P\text{кол}i + \prod (1 - P\text{кол}i)},$$

где Pi – индивидуальные вероятности Pкол^{Lгор}, Pкол$^{Нэфф.н.}$, Pкол^{Красч}, Pкол^{Кпесч} соответственно.

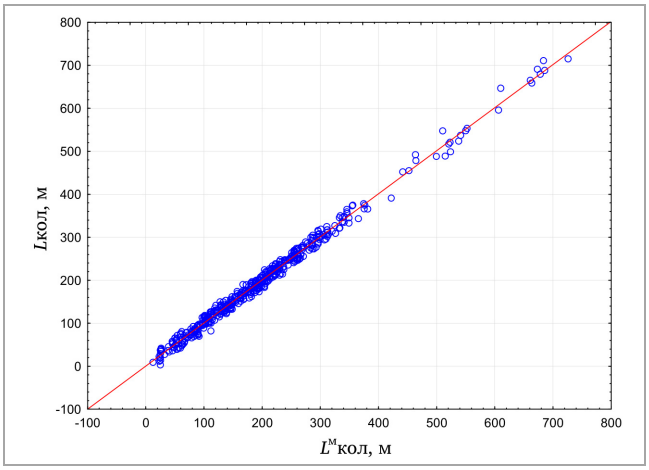


Рис. 4. Поле корреляции между $L^{м}$кол и Lкол

Таблица 3

Изменения в корреляционных связей (r) между характеристиками

Показатели	Lкол	Lгор	Hэфф.н.	Kрасч	Kпесч
Lкол	1,000	0,409	0,264	-0,133	0,439
Lгор		1,000	0,040	0,043	0,048
Hэфф.н.			1,000	0,244	0,397
Kрасч				1,000	-0,213
Kпесч					1,000

Примечание: красным цветом обозначены статистически значимые корреляционные связи.

Таблица 4

Взаимосвязь Pкол с анализируемыми параметрами

Уравнение регрессии, интервал использования показателей	Уравнение регрессии, интервал использования показателей
Pкол^{Lгор} = 0,569–0,0002 Lгор, 62–1059 м	Pкол$^{Нэфф.н.}$ = 0,369 + 0,0136 Hэфф.н., 1–45 м
Pкол^{Кпесч} = 0,280 + 0,5878 Kпесч, 0,04–0,95 отн. знач.	Pкол^{Красч} = 0,569–0,0093 Kрасч, 1–32 штук

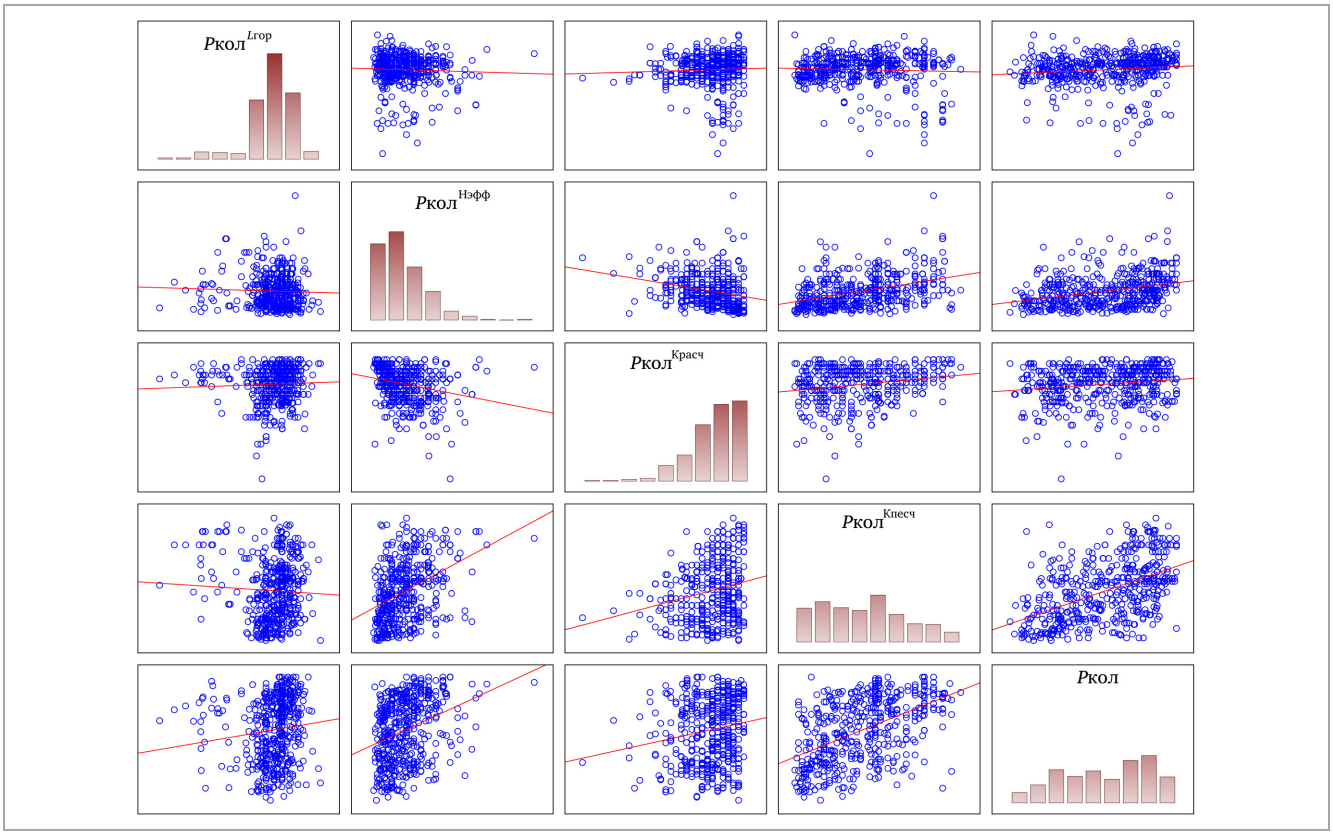


Рис. 5. Поля корреляции между *Р*кол и *Р*кол^{Lгор}, *Р*кол$^{Нэфф.н.}$, *Р*кол^{Красч}, *Р*кол^{Кпесч}

Таблица 5

Значения коэффициентов корреляции (*r*) между вероятностями

Параметр	*Р*кол^{Lгор}	*Р*кол$^{Нэфф.н.}$	*Р*кол^{Красч}	*Р*кол^{Кпесч}	*Р*кол
*Р*кол^{Lгор}	1,000	-0,040	0,043	-0,048	0,116
*Р*кол$^{Нэфф.н.}$		1,000	-0,244	0,397	0,315
*Р*кол^{Красч}			1,000	0,213	0,163
*Р*кол^{Кпесч}				1,000	0,502
*Р*кол					1,000

Примечание: красным цветом обозначены статистически значимые корреляционные связи.

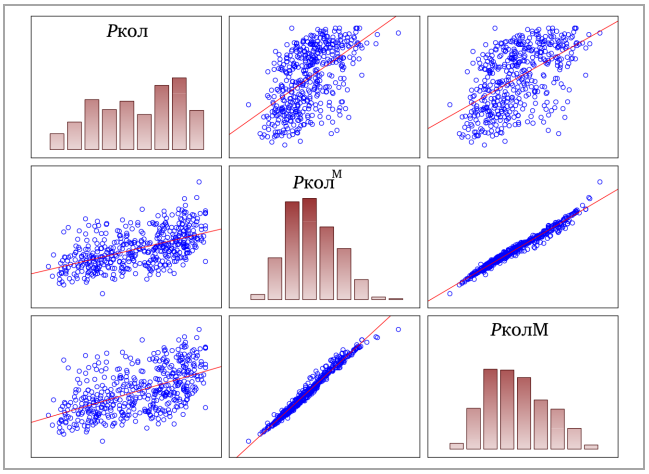


Рис. 6. Поля корреляции между *Р*кол и *Р*кол^{М}, *Р*колМ

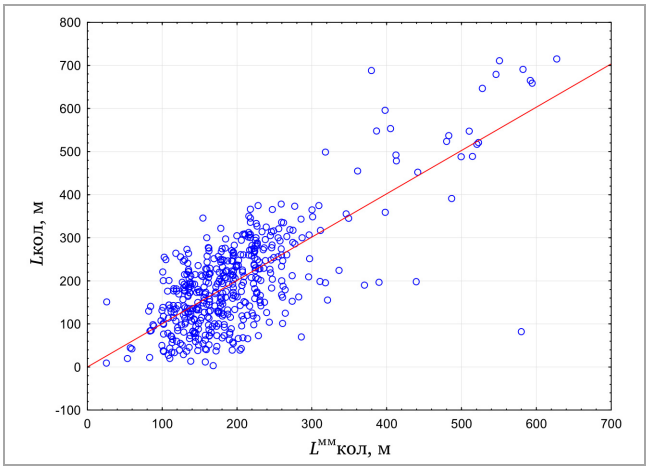


Рис. 7. Поле корреляции между $L^{мм}$кол и *L*кол

Поля корреляции между *Р*кол и *Р*кол^{М}, *Р*колМ представлены на рис. 6.

Результаты анализа данных свидетельствуют о том, что соотношения между *Р*кол и *Р*кол^{М}, а также между *Р*кол и *Р*колМ несколько различны. Корреляции между *Р*кол^{М} и *Р*колМ характеризуются отличающимися соотношениями в разных диапазонах значений. По значениям *Р*кол^{м} и *Р*колМ разработана комплексная модель, которая имеет следующий вид:

Pкол^{ММ} = -0,138–0,1741 Pкол^{М} + 1,9613 PколМ + + 2,9556 (Pкол^{М})^2 – 4,7726 Pкол^{М} ·PколМ + + 1,0021 (PколМ)^2, при R = 0,547, p < 0,0000, стандартная ошибка 0,217.

Используя значения Pкол^{ММ} и Lгор по формулам, приведенным в табл. 2, вычислены модельные значения $L^{ММ}$кол. Сопоставление значений $L^{ММ}$кол и Lкол приведено на рис. 7.

Результаты анализа данных свидетельствуют о наличии тесной корреляционной зависимости между исследуемыми параметрами, которая может быть представлена следующим уравнением:

Lкол = 0,178 + 1,004536 Lкол^{ММ} при коэффициенте корреляции r = 0,752, уровне значимости p < 0,0000 и стандартной ошибке 79,434 м.

Таким образом, можно констатировать, что разработанная методика прогноза Lкол является «работоспособной». Для повышения точности прогноза рекомендуется использовать дополнительную геологическую информацию, описывающую характеристики геологического строения пластов, через которые проходят горизонтальные стволы скважин.

Заключение

Выполненный анализ показывает необходимость привлечения дополнительной геологической информации для прогнозирования распространения коллектора в горизонтальном участке ствола скважины на вероятностном уровне.

Построение вероятностно-статистических многомерных моделей для оценки проходки по коллектору в горизонтальных стволах позволяет оценить длину коллектора в горизонтальной скважине: применение конкретной геологической скважинной информации дает возможность корректного прогноза плановой проходки по коллектору.

Таким образом, данная методика позволит более эффективно планировать эксплуатационное бурение горизонтальных скважин, снижая риски бурения неэффективных скважин, улучшая качество проектных решений и в конечном счете повышая технико-экономические показатели актива.

Библиографический список

1. Probabilistic Forecasting for Oil Producing Wells Using Seq2seq Augmented Model / H. Afifi, M. Elmahdy, M. Saban, M. Abuelkheir // Eng. Proc. – 2022. – Vol. 18 (1). – P. 16.
2. On the generation of probabilistic forecasts from deterministic models / E. Camporeale, X. Chu, O. Agapitov, J. Bortnik // Space Weather – 2019. – Vol. 17. – P. 455–475.
3. Giger F.M. Low-permeability reservoirs development using horizontal wells // SPE Rocky Mountain Petroleum Technology Conference/Low-Permeability Reservoirs Symposium. – SPE, 1987. – P. SPE-16406-MS.
4. Wijaya, N. Probabilistic forecasting and economic evaluation of pressure-drawdown effect in unconventional oil reservoirs under uncertainty of water blockage severity / N. Wijaya, J. Sheng // Journal of Petroleum Science and Engineering. – 2020. – Vol. 185, № 06646.
5. Krysin, N. Probabilistic and statistical justification of the forecast of oil and gas potential in the area with established industrial oil capacity / N. Krysin, M.V. Sologubova // IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. – 2022 – Vol. 1021, № 012015.
6. Meisner, J. The creaming method: a bayesian procedure to forecast future oil and gas discoveries in mature exploration provinces / J. Meisner, F. Demirmen // Journal of the Royal Statistical Society. SeriesA. – 1981. – Vol. 144, № 1. – P. 1–31.
7. Milkov, A.V. Risk tables for less biased and more consistent estimation of probability of geological success (PoS) for segments with conventional oil and gas prospective resources / A. V Milkov. // Earth-Science Reviews – 2015. – Vol. 150. – P. 453–476.
8. Montgomery, D.C. Introduction to liner regression analysis / D.C. Montgomery, E.A. Peck. – New York: John Wiley & Sons, 1982. – 504 p.
9. Podoprigora, D.G. Development of acid composition for bottom-hole formation zone treatment at high reservoir temperatures / D.G. Podoprigora, L.A.Saychenko // Espacios. – 2017. – Vol. 48, № 38. – P. 32.
10. Sandyga, M.S. Formation damage induced by wax deposition: laboratory investigations and modeling / M.S.Sandyga, I.A.Struchkov, M.K.Rogachev // Journal of Petroleum Exploration and Production Technology. – 2020. – Vol. 10, № 6. – P. 2541–2558.
11. Воеводкин, В.Л. Исследование влияния критериев нефтегазоносности и изученности территории Пермского края на распределение месторождений углеводородов / В.Л. Воеводкин, В.И. Галкин, С.Н. Кривощеков // Нефтяное хозяйство. – 2012. – № 6. – С. 30–34.
12. Kaufman, G.M. A probabilistic model of oil and gas discovery, in Haun, J., ed., Estimating the volume of undiscovered oil and gas resources / G.M. Kaufman, Y. Balcer, D. Kruyt // Am. Assoc. Petrol. Geol., Studies in Geology. – 1975. – Vol. 1. – P. 113–142.
13. Probability mapping of petroleum occurrence with a multivariate-Bayesian approach for risk reduction in exploration, Nanpu Sag of Bohay Bay Basin, China / H. Suyun, G. Qiulin, C. Zhuoheng, M. Shiyun, X. Hongbin // Geologos. – 2009. – Vol. 15 (2). – P. 91–102.
14. Галкин, В.И. Разработка вероятностных моделей для прогнозирования наличия коллекторов в горизонтальных скважинах / В.И. Галкин, Н.С. Еремеев, А.Н. Ушахин // Актуальные проблемы нефти и газа. – 2024. – Т. 15, № 4. – С. 445–455.
15. Classification and Regression Trees / L. Breiman, J. Friedman, C.J. Stone, R.A. Olshen // Chapman and Hall /CRC, New York. – 1984. – 368 p.
16.Caers, Jef. Geostatistical History Matching Under Training-Image Based Geological Model Constraints / Jef. Caers // SPE Annual Technical Conference and Exhibition, San Antonio, Texas. – 29 September – 2 October, 2002, – SPE 77429. – P. 1–16.
17. Андреев, В.В. Оптимизация строительства горизонтальных и наклонно-направленных скважин за счет применения каротажа в процессе бурения / В.В. Андреев, П.В. Гребнев, М.В. Латыпов // Нефть. Газ. Инновации. – 2021. – № 8 (248).
18. Выбор оптимальной системы разработки низкопроницаемых пластов с применением горизонтальных скважин с множественными трещинами гидроразрыва / Р.Р. Галеев [и др.] // Нефтяное хозяйство. – 2013. – № 10. – С. 62–65.
19. Cinco, L.H. Transient pressure behavior for a well with a finite-conductivity vertical fracture / L.H. Cinco, V.F. Samaniego, A.N. Dominguez // Society of Petroleum Engineers Journal. – 1978. – Vol. 18, № 04. – P. 253–264.
20. Mohaghegh, S. Development of an intelligent systems approach for restimulation candidate selection / S. Mohaghegh, S. Reeves, D. Hill // SPE/CERI Gas Technology Symposium, 3–5 April 2000, Calgary, Alberta, Canada, 2000. SPE-59767-MS.
21. Галкин, В.И. Исследование вероятностных моделей для прогнозирования эффективности технологии проппантного гидравлического разрыва пласта / В.И. Галкин, А.Н. Колтырин // Записки Горного института. – 2020. – Т. 246. – С. 650–659.
22. Petrakov, D.G. The effect of fluid saturation on the elastic-plastic properties of oil reservoir rocks / D.G. Petrakov, K.S. Kupavykh, A.S. Kupavykh // Curved and Layered Structures. – 2020. – Vol. 7, № 1. – P. 29–34.
23. Sweeney, J.J. Evaluation of a simple model of Vitrinite Reflectance based on chemical kinetics / J.J. Sweeney, A.K. Burnham // AAPG Bulletin. – 1990. – Vol. 74. – P. 1559–1570.
24. Галкин, В.И. Исследование процесса нефтеизвлечения в коллекторах различного типа пустотности с использованием многомерного статистического анализа / В.И. Галкин, И.Н. Пономарева, В.А. Репина // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Геология. Нефтегазовое и горное дело. – 2016. – № 19. – С. 145–154. DOI: 10.15593/224-9923/2016.19.5
25. Галкин, В.И. Разработка статистических моделей для прогноза поглощений по характеристикам разрывных нарушений / В.И. Галкин, Д.В. Резвухина // Недропользование. – 2021. – Т. 21, no 3. – С. 103–108.
26. Dore, A.G., Risk analysis and full-cycle probabilistic modelling of prospects: a prototype system developed for the Norwegian shelf / A.G. Dore, R. Sinding-Larsen // Norwegian Petroleum Society Special Publications. – 1996. – Vol. 6. – P. 153–165.
27. Olea, R.A. A Methodology for the Assessment of Unconventional (Continuous) Resources with an Application to the Greater Natural Buttes Gas Field, Utah / R.A. Olea, T.A. Cook, J.L. Coleman // Nat. Resour. Res. – 2010. – Vol. 19. – p. 237–25.
28. Rahmanifard, H. Application of artifcial intelligence techniques in the petroleum industry: a review / H. Rahmanifard, T. Plaksina // Artifcial Intelligence Review. – 2019. – Vol. 52. – P. 2295–2318.
29. Alimkhanov, R. Application of Data Mining Tools for Analysis and Prediction of Hydraulic Fracturing Efficiency for the BV8 Reservoir of the Povkh Oil Field (Russian) / R. Alimkhanov, I. Samoylova // SPE Russian Oil and Gas Exploration & Production Technical. – 2014. – № 09.

30. Anifowose, F. Fuzzy logic-driven and SVM-driven hybrid computational intelligence models applied to oil and gas reservoir characterization / F. Anifowose, A. Abdulraheem // Journal of Natural Gas Science and Engineering. – 2011. – Vol. 3, № 3. – P. 505–517.
31. Chengzao, J. Unconventional hydrocarbon resources in China and the prospect of exploration and development / J. Chengzao, M. Zheng, Y. Zhang // Petroleum Exploration and Development. – 2012. – Т. 39, № 2. – С. 139–146.
32. Галкин, В.И. Применение вероятностных моделей для локального прогноза нефтегазоносности / В.И. Галкин, Ю.А. Жуков, М.А. Шишкин. – Екатеринбург: Изд-во Уро РАН, 1990. – 108 с.
33. Галкин, В.И. Разработка геолого-математических моделей для прогноза нефтегазоносности сложнопостроенных структур в девонских терригенных отложениях / В.И. Галкин, Н.Е. Соснин // Нефтяное хозяйство. – 2013. – № 4. – С. 28–31.
34. Галкин, В.И. О возможности прогноза нефтегазоносности юрских отложений вероятностно-статистическими методами (на примере территории деятельности ТПП «Когалымнефтегаз» / В.И. Галкин, А.Н. Шайхутдинов // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. – 2009. – № 6. – С. 11–14.
35. Галкин, В.И. Построение статистических моделей для прогноза дебитов нефти по верхнеюрским отложениям Когалымского региона / В.И. Галкин, А.Н. Шайхутдинов // Нефтяное хозяйство. – 2010. – № 1. – С. 52–54.
36. Галкин, С.В. Вероятностный прогноз геологических рисков при поисках месторождений нефти и газа / С.В. Галкин. – Пермь: Книжный мир, 2009. – 224 с.
37. Дифференцированная вероятностная оценка генерационных процессов в отложениях доманикового типа Пермского края / В.И. Галкин, Т.В. Карасева, И.А. Козлова, М.А. Носов, С.Н. Кривощеков // Нефтяное хозяйство. – 2014. – № 12. – С. 103–105
38. К обоснованию построения моделей зонального прогноза нефтегазоносности для нижне-средневизейского комплекса Пермского края / В.И. Галкин, И.А. Козлова, С.Н. Кривощеков, О.А. Мелкишев // Нефтяное хозяйство. – 2015. – № 8. – С. 32–35.
39. Галкин, В.И. Разработка статистической модели прогноза нефтегазоносности по газовыделениям в толще Верхнекамского месторождения калийно-магниевых солей / В.И. Галкин, О.А. Мелкишев, С.В. Варушкин // Недропользование. – 2020. – Т. 20, no 1. – С. 4–13.
40. Галкин, В.И. Вероятностно-статистическая оценка нефтегазоносности локальных структур / В.И. Галкин, А.В. Растегаев, С.В. Галкин. – Екатеринбург: Изд-во УрО РАН, 2001. – 277 с.
41. Галкин, В.И. Разработка статистической модели прогноза подтверждаемости амплитуд структур, подготовленных по отложениям среднего карбона на территории Пермского края / В.И. Галкин, А.С. Суворова // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2023. – Т. 334, № 8. – С. 129–136.
42. Галкин, В.И. Разработка статистической модели для оценки степени перспективности приобретения нефтяного участка (на примере территории Пермского края) / В.И. Галкин, А.О. Алексеев, С.И. Соловьев // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. – 2016. – № 1. – С. 29–32.
43. Галкин, В.И. Районирование территории Пермского края по степени перспективности приобретения нефтяных участков недр / В.И. Галкин, С.И. Соловьев // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Геология. Нефтегазовое и горное дело. – 2015. – № 16. – С. 14–23.

References

1. Afifi H., Elmahdy M., Saban M., Abuelkheir M. Probabilistic Forecasting for Oil Producing Wells Using Seq2seq Augmented Model. *Eng. Proc.*, 2022, vol. 18 (1), 16 p. DOI: 10.3390/engproc2022018016
2. Camporeale E., Chu X., Agapitov O., Bortnik J. On the generation of probabilistic forecasts from deterministic models. *Space Weather*, 2019, vol. 17, pp. 455-475. DOI: 10.1029/2018SW002026
3. Giger F.M. Low-permeability reservoirs development using horizontal wells. *SPE Rocky Mountain Petroleum Technology Conference/Low-Permeability Reservoirs Symposium*. SPE, 1987, SPE-16406-MS p. DOI: 10.2118/16406-MS
4. Wijaya N., Sheng J. Probabilistic forecasting and economic evaluation of pressure-drawdown effect in unconventional oil reservoirs under uncertainty of water blockage severity. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 2020, vol. 185, no. 06646. DOI: 10.1016/j.petrol.2019.106646
5. Krysin N., Sologubova M.V. Probabilistic and statistical justification of the forecast of oil and gas potential in the area with established industrial oil capacity. *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.*, 2022, vol. 1021, no. 012015. DOI: 10.1088/1755-1315/1021/1/012015
6. Meisner J., Demirmen F. The creaming method: a bayesian procedure to forecast future oil and gas discoveries in mature exploration provinces. *Journal of the Royal Statistical Society. SeriesA*, 1981, vol. 144, no. 1, pp. 1-31. DOI: 10.2307/2982158
7. Milkov A.V. Risk tables for less biased and more consistent estimation of probability of geological success (PoS) for segments with conventional oil and gas prospective resources. *Earth-Science Reviews*, 2015, vol. 150, pp. 453-476. DOI: 10.1016/j.earscirev.2015.08.006
8. Montgomery D.C., Peck E.A. Introduction to liner regression analysis. New York: John Wiley & Sons, 1982, 504 p.
9. Podoprigora D.G., Saychenko L.A. Development of acid composition for bottom-hole formation zone treatment at high reservoir temperatures. *Espacios*, 2017, vol. 48, no. 38, 32 p.
10. Sandyga M.S., Struchkov I.A., Rogachev M.K. Formation damage induced by wax deposition: laboratory investigations and modeling. *Journal of Petroleum Exploration and Production Technology*, 2020, vol. 10, np. 6, pp. 2541-2558. DOI: 10.1007/s13202-020-00924-2
11. Voevodkin V.L., Galkin V.I., Krivoshchekov S.N. Issledovanie vliianiia kriteriev neftegazonosnosti i izuchennosti territorii Permskogo kraia na raspredelenie mestorozhdenii uglevodorodov [Investigation of the influence of oil and gas content criteria and geological and geophysical knowledge on the distribution of hydrocarbon deposits in the Perm Region]. *Neftianoe khoziaistvo*, 2012, no. 6, pp. 30-34.
12. Kaufman G.M. Balcer Y., Kruyt D. A probabilistic model of oil and gas discovery, in Haun, J., ed., Estimating the volume of undiscovered oil and gas resources. *Am. Assoc. Petrol. Geol., Studies in Geology*, 1975, vol. 1, pp. 113-142. DOI: 10.1007/BF02257542
13. Suyun H., Qiulin G., Zhuoheng C., Shiyun M. Hongbin, X. Probability mapping of petroleum occurrence with a multivariate-Bayesian approach for risk reduction in exploration, Nanpu Sag of Bohay Bay Basin, China. *Geologos*, 2009, vol. 15 (2), pp. 91-102.
14. Galkin V.I., Eremeev N.S., Ushakhin A.N. Razrabotka veroiatnostnykh modelei dlia prognozirovaniia nalichiia kollektorov v gorizontal'nykh skvazhinakh [Development of probabilistic models for forecasting the presence of reservoirs in horizontal wells]. *Aktual'nye problemy nefti i gaza*, 2024, vol. 15, no. 4, pp. 445-455. DOI: 10.29222/ipng.2078-5712.2024-15-4.art9
15. Breiman L., Friedman J., Stone C.J., Olshen R.A. Classification and Regression Trees. Chapman and Hall / CRC, New York, 1984, 368 p. DOI: 10.1201/9781315139470
16. Caers Jef. Geostatistical History Matching Under Training-Image Based Geological Model Constraints. *SPE Annual Technical Conference and Exhibition, San Antonio, Texas*, 29 September - 2 October, 2002. SPE 77429, pp. 1-16. DOI: 10.2118/77429-MS
17. Andreev V.V., Grebnev P.V., Latypov M.V. Optimizatsiia stroitel'stva gorizontal'nykh i naklonno-napravlennykh skvazhin za schet primeneniia karotazha v protsesse bureniia [Optimization of horizontal and directional well construction through the use of logging while drilling process]. *Neft'. Gaz. Innovatsii*, 2021, no. 8 (248).
18. Galeev R.R. et al. Vybor optimal'noi sistemy razrabotki nizkopronitsaemykh plastov s primeneniem gorizontal'nykh skvazhin s mnozhestvennymi treshchinami gidrorazryva [Optimal waterflood pattern selection with use of multiple fractured horizontal wells for development of the low-permeability formations]. *Neftianoe khoziaistvo*, 2013, no. 10, pp. 62-65.
19. Cinco L.H., Samaniego V.F., Dominguez A.N. Transient pressure behavior for a well with a finite-conductivity vertical fracture. *Society of Petroleum Engineers Journal*, 1978, vol. 18, no. 04, pp. 253-264. DOI: 10.2118/6014-PA
20. Mohaghegh S., Reeves S., Hill D. Development of an intelligent systems approach for restimulation candidate selection. *SPE/CERI Gas Technology Symposium, 3-5 April 2000, Calgary, Alberta, Canada, 2000. SPE-59767-MS*. DOI: 10.2118/59767-MS
21. Galkin V.I., Koltyrin A.N. Issledovanie veroiatnostnykh modelei dlia prognozirovaniia effektivnosti tekhnologii proppantnogo gidravlicheskogo razryva plasta [Investigation of probabilistic models for forecasting the efficiency of proppant hydraulic fracturing technology]. Zapiski Gornogo instituta, 2020, vol. 246, pp. 650-659. DOI: 10.31897/PM1.2020.6.7
22. Petrakov D.G., Kupavykh K.S., Kupavykh A.S. The effect of fluid saturation on the elastic-plastic properties of oil reservoir rocks. *Curved and Layered Structures*, 2020, vol. 7, no. 1, pp. 29-34. DOI: 10.1515/cls-2020-0003
23. Sweeney J.J., Burnham A.K. Evaluation of a simple model of Vitrinite Reflectance based on chemical kinetics. *AAPG Bulletin*, 1990, vol. 74, pp. 1559-1570. DOI: 10.1306/0C9B251F-1710-11D7-8645000102C1865D
24. Galkin V.I., Ponomareva I.N., Repina V.A. Issledovanie protsessa nefteizvlecheniia v kollektorakh razlichnogo tipa pustotnosti s ispol'zovaniem mnogomernogo statisticheskogo analiza [Study of oil recovery from reservoirs of different void types with use of multidimensional statistical analysis]. *Vestnik Permskogo natsional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Geologiia. Neftegazovoe i gornoe delo*, 2016, no. 19, pp. 145-154. DOI: 10.15593/2249923/2016.19.5
25. Galkin V.I., Rezvukhina D.V. Razrabotka statisticheskikh modelei dlia prognoza pogloshchenii po kharakteristikam razryvnykh narushenii [Development of Statistical Models for Predicting Losses based on the Characteristics of Discontinuities]. *Nedropol'zovanie*, 2021, vol. 21, no. 3, pp. 103-108. DOI: 10.15593/2712-8008/2021.3.1

26. Dore A.G., Sinding-Larsen R. Risk analysis and full-cycle probabilistic modelling of prospects: a prototype system developed for the Norwegian shelf. *Norwegian Petroleum Society Special Publications*, 1996, vol. 6, pp. 153-165. DOI: 10.1016/S0928-8937(07)80016-6
27. Olea R.A., Cook T.A., Coleman J.L. A Methodology for the Assessment of Unconventional (Continuous) Resources with an Application to the Greater Natural Buttes Gas Field, Utah. *Nat. Resour. Res.*, 2010, vol. 19, pp. 237-251. DOI: 10.1007/s11053-010-9127-8
28. Rahmanifard H., Plaksina T. Application of artifcial intelligence techniques in the petroleum industry: a review. *Artifcial Intelligence Review*, 2019, vol. 52, pp. 2295-2318. DOI: 10.1007/s10462-018-9612-8
29. Alimkhanov R., Samoylova I. Application of Data Mining Tools for Analysis and Prediction of Hydraulic Fracturing Efficiency for the BV8 Reservoir of the Povkh Oil Field (Russian). *SPE Russian Oil and Gas Exploration & Production Technical*, 2014, no. 09. DOI: 10.2118/171332-MS
30. Anifowose F., Abdulraheem A. Fuzzy logic-driven and SVM-driven hybrid computational intelligence models applied to oil and gas reservoir characterization. *Journal of Natural Gas Science and Engineering*, 2011, vol. 3, no. 3, pp. 505-517. DOI: 10.1016/j.jngse.2011.05.002
31. Chengzao J., Zheng M., Zhang Y. Unconventional hydrocarbon resources in China and the prospect of exploration and development. *Petroleum Exploration and Development*, 2012, vol. 39, no. 2, pp. 139-146. DOI: 10.1016/S1876-3804(12)60026-3
32. Galkin V.I., Zhukov Iu.A., Shishkin M.A. Primenenie veroiatnostnykh modelei dlia lokal'nogo prognoza neftegazonosnosti [Application of probabilistic models for local forecast of oil and gas potential]. Ekaterinburg: Ural'skoe otdelenie Rossiiskoi akademii nauk, 1990, 108 p.
33. Galkin V.I., Sosnin N.E. Razrabotka geologo-matematicheskikh modelei dlia prognoza neftegazonosnosti slozhnopostroennykh struktur v devonskikh terrigennykh otlozheniiakh [Geological development of mathematical models for the prediction of oil and gas complex-built structures in the Devonian clastic sediments]. *Neftianoe khoziaistvo*, 2013, no. 4, pp. 28-31.
34. Galkin V.I., Shaikhutdinov A.N. O vozmozhnosti prognoza neftegazonosnosti iurskikh otlozhenii veroiatnostno-statisticheskimi metodami (na primere territorii deiatel'nosti TPP “Kogalymneftegaz” [About possibility to forecast the oil-and-gas content of Jurassic sediments based on probable and statistical methods (case study of the territorial industrial enterprise "Kogalymneftegas")]. *Geologiia, geofizika i razrabotka neftianykh i gazovykh mestorozhdenii*, 2009, no. 6, pp. 11-14.
35. Galkin V.I., Shaikhutdinov A.N. Postroenie statisticheskikh modelei dlia prognoza debitov nefti po verkhneiurskim otlozheniiam Kogalymskogo regiona [Development of statistical models for predicting the oil flow rates by example jurassic deposits]. *Neftianoe khoziaistvo*, 2010, no. 1, pp. 52-54.
36. Galkin S.V. Veroiatnostnyi prognoz geologicheskikh riskov pri poiskakh mestorozhdenii nefti i gaza [Probabilistic forecast of geological risks in oil and gas exploration]. Perm': Knizhnyi mir, 2009, 224 p.
37. Galkin V.I., Karaseva T.V., Kozlova I.A., Nosov M.A., Krivoshchekov S.N. Differentsirovannaia veroiatnostnaia otsenka generatsionnykh protsessov v otlozheniiakh domanikovogo tipa Permskogo kraia [Differentiated probabilistic assessment of the generation processes in Domanic sediments of Perm region]. *Neftianoe khoziaistvo*, 2014, no. 12, pp. 103-105.
38. Galkin V.I., Kozlova I.A., Krivoshchekov S.N., Melkishev O.A. K obosnovaniiu postroeniia modelei zonal'nogo prognoza neftegazonosnosti dlia nizhne-srednevizeiskogo kompleksa Permskogo kraia [On the justification of the construction of models for oil and gas potential area forecast Visean deposits of Perm region]. *Neftianoe khoziaistvo*, 2015, no. 8, pp. 32-35.
39. Galkin V.I., Melkishev O.A., Varushkin S.V. Razrabotka statisticheskoi modeli prognoza neftegazonosnosti po gazovydeleniiam v tolshche Verkhnekamskogo mestorozhdeniia kaliino-magnievykh solei [Development of the statistical model to forecast oil and gas potential according to gas content in the Verkhnekamskoe deposit of potassium and magnesium salts]. *Nedropol'zovanie*, 2020, vol. 20, no. 1, pp. 4-13. DOI: 10.15593/2224-9923/2020.1.1
40. Galkin V.I., Rastegaev A.V., Galkin S.V. Veroiatnostno-statisticheskaia otsenka neftegazonosnosti lokal'nykh struktur [Probabilistic-statistical assessment of oil and gas potential of local structures]. Ekaterinburg: Ural'skoe otdelenie Rossiiskoi akademii nauk, 2001, 277 p.
41. Galkin V.I., Suvorova A.S. Razrabotka statisticheskoi modeli prognoza podtverzhdaemosti amplitud struktur, podgotovlennykh po otlozheniiam srednego karbona na territorii Permskogo kraia [Development of a statistical model for predicting the confirmability of the amplitudes of structures prepared from the deposits of the middle carboniferous in the Perm region]. *Izvestiia Tomskogo politekhnicheskogo universiteta. Inzhiniring georesursov*, 2023, vol. 334, no. 8, pp. 129-136. DOI: 10.18799/24131830/2023/8/4065
42. Galkin V.I., Alekseev A.O., Solov'ev S.I. Razrabotka statisticheskoi modeli dlia otsenki stepeni perspektivnosti priobreteniia neftianogo uchastka (na primere territorii Permskogo kraia) [Development of the statistical model to assess the prospects of an oil site acquisition (the Perm region territory is taken as an example)]. *Geologiia, geofizika i razrabotka neftianykh i gazovykh mestorozhdenii*, 2016, no. 1, pp. 29-32.
43. Galkin V.I. Solov'ev S.I. Raionirovanie territorii Permskogo kraia po stepeni perspektivnosti priobreteniia neftianykh uchastkov nedr [Classification of Perm krai areas according to prospectivity for oil fields acquisition]. *Vestnik Permskogo natsional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Geologiia. Neftegazovoe i gornoe delo*, 2015, no. 16, pp. 14-23. DOI: 10.15593/2224-9923/2015.16.2

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.
Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.
Вклад авторов равноценен.