

УДК 622 + 553.98
Статья / Article
© ПНИПУ / PNRPU, 2022



Применение многоуровневого вероятностно-статистического моделирования при прогнозе нефтегазоносности структур на примере юга Пермского края

А.Л. Южаков

Филиал ООО «ЛУКОЙЛ-Инжиниринг» «ПермНИПИнефть» в г. Перми (Россия, 614015, г. Пермь, ул. Пермская, 3а)

Application of multilevel probabilistic-statistical modeling in forecasting the oil and gas potential of structures on the example of the south of the Perm Krai

Aleksey L. Yuzhakov

PermNIPIneft branch of LUKOIL-Engineering LLC in Perm (3a Permskaya st., Perm, 614015, Russian Federation)

Получена / Received: 14.05.2022. Принята / Accepted: 18.11.2022. Опубликовано / Published: 23.12.2022

Ключевые слова:

структура, нефтегазоносность, углеводороды, регрессионный анализ, отражающий горизонт, органическое вещество, геохимия, гидрогеология, прогнозирование, вероятностно-статистическая модель, тектонический элемент, генерация, аккумуляция, сохранность залежей, гидрогеология.

Высокая геологическая изученность территории юга Пермского края позволяет собрать большой массив данных для определения потенциала нефтегазоносности структур. Основными критериями в распределении нефтегазоносности структур являются процессы генерации углеводородов, аккумуляция, а также сохранности залежей углеводородов от физико-химического разрушения. В качестве критериев генерации углеводородов для оценки генерационного потенциала отложений использованы сведения о геохимических исследованиях нефтегазоматеринской свиты (семилюкские отложения верхнего девона). На основании проведенных сейсморазведочных работ, в визейском комплексе отложений были выделены локальные структуры. Рассчитаны поверхности региональной, зональной и локальной составляющих, получены средние значения структурных параметров для оценки влияния критериев аккумуляции. В качестве критериев сохранности залежей углеводородов использованы гидрогеологические параметры. Для прогноза нефтегазоносности структур использованы многоуровневые вероятностные модели. На первом уровне рассчитаны индивидуальные статистические модели по каждому из используемых параметров, а также комплексные вероятностные параметры отдельно по каждой группе критериев. На втором уровне рассчитаны комплексные модели с учетом всей имеющейся информации о генерации, аккумуляции и сохранности залежей углеводородов для всей территории исследования. Проведен регрессионный анализ с пошаговым увеличением выборки исходных данных. Данный анализ позволил оценить влияние каждой отдельной группы критериев на насыщение структур углеводородов. На третьем уровне рассчитанные модели были дифференцированы по отдельным крупным тектоническим элементам, входящим в состав области исследования. Построенные модели третьего уровня доказали, что на территории юга Пермского края прогноз нефтегазоносности локальных структур следует проводить отдельно по тектоническим элементам. По итогам проведенного прогноза нефтегазоносности выявлено 15 потенциально насыщенных углеводородами структур и 80 потенциально пустых структур.

Keywords:

structure, oil and gas potential, hydrocarbons, regression analysis, reflecting horizon, organic matter, geochemistry, hydrogeology, forecasting, probabilistic-statistical model, tectonic element, generation, accumulation, reservoir safety, hydrogeology.

The high geological knowledge of the south of the Perm Krai makes it possible to collect a large amount of data to determine the oil and gas potential of the structures. The main criteria in the distribution of oil and gas content are the processes of hydrocarbon generation, accumulation, as well as the safety of hydrocarbon deposits from physical and chemical destruction. Data on geochemical studies of the oil and gas source suite (Upper Devonian Semiluk deposits) were used as criteria for the generation of hydrocarbons to assess the generation potential of the deposits. Based on the conducted seismic surveys, local structures were identified in the Visean complex of deposits. The surfaces of the regional, zonal and local components were calculated, the average values of the structural parameters were obtained to assess the influence of the accumulation criteria. Hydrogeological parameters were used as criteria for the safety of hydrocarbon deposits.

To predict the oil and gas potential of the structures, multilevel probabilistic models were used. At the first level, individual statistical models were calculated for each of the parameters used, as well as complex probabilistic parameters separately for each group of criteria. At the second level, complex models were calculated taking into account all available information on the generation, accumulation and preservation of hydrocarbon deposits for the entire study area. A regression analysis was carried out with a stepwise increase in the sample of initial data. This analysis made it possible to evaluate the influence of each individual group of criteria on the saturation of hydrocarbon structures. At the third level, the calculated models were differentiated by individual large tectonic elements that are part of the study area. The constructed models of the 3rd level proved that in the territory of the south of the Perm Krai, the forecast of the oil and gas potential of local structures should be carried out separately for tectonic elements. Based on the results of the oil and gas potential forecast, 15 structures potentially saturated with hydrocarbons and 80 potentially empty structures were identified.

© Южаков Алексей Леонидович – научный сотрудник отдела петрофизического моделирования (тел.: +007 (342) 233 63 59, e-mail: Alexey.yuzhakov@pnn.lukoil.com).

© Aleksey L. Yuzhakov – Researcher of the Petrophysical Modeling Department (tel.: +007 (342) 233 63 59, e-mail: Alexey.yuzhakov@pnn.lukoil.com).

Просьба ссылаться на эту статью в русскоязычных источниках следующим образом:

Южаков А.Л. Применение многоуровневого вероятностно-статистического моделирования при прогнозе нефтегазоносности структур на примере юга Пермского края // Недропользование. – 2022. – Т.22, №4. – С.165-170. DOI: 10.15593/2712-8008/2022.4.3

Please cite this article in English as:

Yuzhakov A.L. Application of multilevel probabilistic-statistical modeling in forecasting the oil and gas potential of structures on the example of the south of the Perm Krai. *Perm Journal of Petroleum and Mining Engineering*, 2022, vol.22, no.4, pp.165-170. DOI: 10.15593/2712-8008/2022.4.3

Введение

В условиях усложнения поисков месторождений нефти и газа необходимы исследования по выявлению ранее не разбуренных структур и прогнозу их нефтегазоносности. Территория южной части Пермского края характеризуется высокой изученностью, что позволяет собрать большой массив данных для выявления структур и определения потенциала их нефтегазоносности [1].

Основным нефтегазоносным комплексом (НГК) Волго-Уральской нефтегазоносной провинции является Нижне-средневизейский НГК, который характеризуется наибольшим количеством разведанных запасов углеводородного сырья.

Целью данной работы является выделение и прогноз нефтегазоносности локальных структур визейского комплекса отложений на территории южной части Пермского края посредством многоуровневого вероятностного моделирования.

Выделение локальных структур

К ниже-средневизейскому НГК относится отражающий горизонт (ОГ) П^к, который приурочен к кровле тульских терригенных отложений [2, 3]. По ОГ П^к были собраны сведения о всех проведенных сейсморазведочных работах 2D и 3D на территории исследования и построена единая поверхность. Для данного ОГ рассчитаны поверхности региональной, зональной и локальной составляющих, характеризующиеся наличием структур 1-го, 2-го и 3-го порядка соответственно [2, 4–7]. Наибольший интерес вызывает локальная составляющая ОГ П^к, на поверхности которой были выделены последние замкнутые изогипсы антиклинальных структур 3-го порядка. Отдельные полученные структуры разделены на три класса: пустые (доказано отсутствие нефтегазоносности), насыщенные (получен промышленный приток нефти) и прогнозные (ранее не выявленные).

Критерии генерации углеводородов при прогнозе нефтегазоносности структур

Основными критериями при прогнозе нефтегазоносности структур являются процессы генерации, аккумуляции и сохранности залежей углеводородов (УВ) [8–12]. В первую очередь был проанализирован генерационный потенциал территории и его влияние на нефтегазоносность локальных структур визейских отложений [13–17]. В качестве критериев генерации использованы геохимические параметры нефтегазоматеринской свиты (семилукские отложения верхнего девона): содержание органического углерода (*C_{org}*); содержание хлороформенного битумоида; отражательная способность витринита и мощность семилукских отложений верхнего девона. Для каждой выделенной структуры были собраны средние значения геохимических параметров.

По всем геохимическим параметрам были построены индивидуальные статистические модели, отражающие влияние отдельного параметра на вероятность наличия залежи [18–25]. На рис. 1 приведена индивидуальная статистическая модель на примере параметра *C_{org}*: видим, как изменяется вероятность наличия залежи *P(C_{org})* в зависимости от значения параметра *C_{org}*. При увеличении *C_{org}* более 5 % *P(C_{org})* возрастает выше 0,5 доли ед. Значения *P(C_{org})* варьируются в диапазоне от 0,25 до 0,75 доли ед.

На основании индивидуальных статистических моделей по критериям генерации получена комплексная вероятность насыщения структур УВ (*P_g*), являющаяся моделью 1-го уровня. Формула для расчета *P_g* (1):

$$P_g = \frac{P_1 \cdot P_2 \cdot P_n}{P_1 \cdot P_2 \cdot P_n + (1 - P_1) \cdot (1 - P_2) \cdot (1 - P_n)}, \quad (1)$$

clas = 60,5 %,

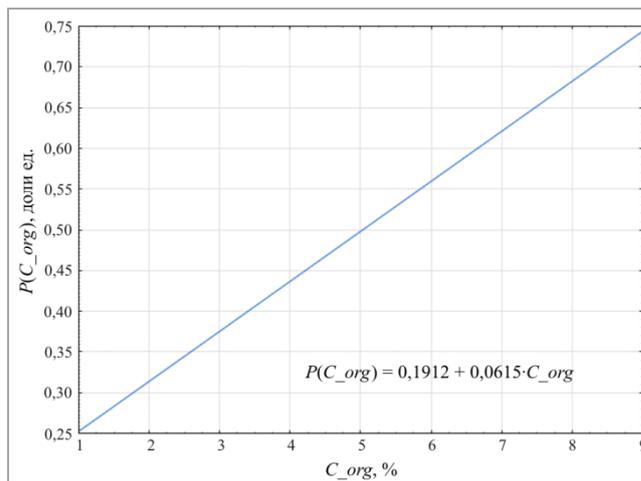


Рис. 1. Индивидуальная статистическая модель параметра *C_{org}*

где *clas* – процент правильной классификации, *P₁*, *P₂*, *P_n* – значения вероятности насыщения по индивидуальным статистическим моделям

Правильность определений по комплексной вероятности насыщения структур УВ на основании критериев генерации составляет 60,5 %. Выявлено, что все используемые геохимические параметры значимо влияют на насыщение локальных структур визейских отложений. Также отмечено, что для наиболее достоверного прогноза нефтегазоносности структур критериев генерации недостаточно.

Критерии аккумуляции углеводородов при прогнозе нефтегазоносности структур

Помимо критериев генерации на насыщение структур УВ оказывают влияние критерии аккумуляции, отражающие наличие структурной ловушки для скопления УВ. В качестве критериев аккумуляции УВ были использованы структурные параметры: площадь; амплитуда (*Ampl*); расстояние до разрывных тектонических нарушений; интенсивность структуры и наивысшая абсолютная отметка структуры. Также были рассчитаны параметры кривизны поверхности и азимута угла наклона поверхности по локальной составляющей ОГ П^к [26, 27]. Рассчитанные средние значения параметров для каждой структуры позволили построить индивидуальные статистические модели. Анализ полученных моделей показал, что наибольшее влияние на наличие залежей УВ оказывает параметр амплитуды. Значения *P(Ampl)* варьируются от 0,21 до 0,96 доли ед. Среднее значение *P(Ampl)* для пустых структур составляет 0,39, а для насыщенных – 0,61 доли ед.

Полученные индивидуальные статистические модели по каждому параметру позволили построить комплексную модель 1-го уровня по критериям аккумуляции (*P_{am}*). Формула для расчета *P_{am}* (2):

$$P_{am} = \frac{P_1 \cdot P_2 \cdot P_n}{P_1 \cdot P_2 \cdot P_n + (1 - P_1) \cdot (1 - P_2) \cdot (1 - P_n)}. \quad (2)$$

clas = 72,5 %.

Доля правильной классификации по комплексной модели составляет 72,5 %, что выше, чем при расчете модели по критериям генерации и указывает на больший вклад в насыщение структур УВ критериев аккумуляции.

Критерии сохранности залежей УВ при прогнозе нефтегазоносности структур

Помимо учета сведений о генерации и аккумуляции для отображения сохранности залежей УВ от химического и физико-химического разрушения были использованы гидрогеологические параметры, определенные на

территории исследования: минерализация вод терригенной части визея ($Min(Vt)$); минерализация вод карбонатной части визейских отложений; среднее содержание хлор-брома в водах карбонатного визея; среднее содержание серы в водах карбонатного визея; среднее содержание натрий-хлора в водах терригенного и карбонатного визея [28].

Рассчитаны средние значения гидрогеологических параметров по каждой структуре. Анализ построенных индивидуальных статистических моделей показал наличие взаимосвязи между параметрами и наличием залежей УВ. Среди гидрогеологических параметров зависимость вероятности насыщения структур от минерализации вод терригенных отложений визея является обратной. Остальные зависимости по гидрогеологическим параметрам выражены линейно и представляют собой прямую связь между вероятностью насыщения и используемым параметром.

На основании индивидуальных статистических моделей по критериям аккумуляции получена комплексная вероятность насыщения структур УВ (P_s), являющаяся моделью 1-го уровня. Формула для расчета P_s (3):

$$P_s = \frac{P_1 \cdot P_2 \cdot P_n}{P_1 \cdot P_2 \cdot P_n + (1 - P_1) \cdot (1 - P_2) \cdot (1 - P_n)}, \quad (3)$$

$clas = 59,6 \%$.

Процент правильности определений комплексной вероятности насыщения по критериям сохранности оказался наименьшим среди используемых в исследовании критериев, что говорит о меньшем влиянии на насыщение структур УВ, в отличие от критериев генерации и аккумуляции.

Комплексный прогноз нефтегазоносности визейских отложений на территории южной части Пермского края

Построение моделей 1-го уровня позволяет на качественном уровне перейти к моделям 2-го уровня, включающим в себя исследования по всему комплексу критериев для всей территории исследования. Модели 2-го уровня были построены по комплексной формуле расчета вероятности насыщения локальных структур УВ.

Рассчитанные линейные модели 1-го уровня (P_g , P_{am} и P_s) были комплексированы для получения модели P_k через уравнение (4):

$$P_k = \frac{P_g \cdot P_{am} \cdot P_s}{P_g \cdot P_{am} \cdot P_s + (1 - P_g) \cdot (1 - P_{am}) \cdot (1 - P_s)}, \quad (4)$$

$clas = 78,6 \%$.

По полученным комплексным значениям P_k проведен регрессионный анализ для определения влияния отдельных критериев на вероятность насыщения структур.

При построении регрессионных моделей использован подход в ранжировании исходных данных от максимальных до минимальных значений P_k . В первую модель попали исходные данные по первым трем отранжированным структурам. На каждом последующем шаге добавляется по одной строке исходных данных, модель пересчитывается и анализируется. Добавление строк исходных данных происходит до накопления полной выборки исследования. В каждой модели методом наименьших квадратов рассчитаны коэффициенты отдельных критериев [29-44]. На рис. 2 приведены коэффициенты отдельных критериев регрессионной комплексной модели (C). Из рисунка следует, что для насыщенных УВ структур ($P_k > 0,5$ доли ед.) основную роль в насыщение вносят критерии аккумуляции. Также отмечено, что при прогнозировании пустых структур критерии генерации вносят больший вклад относительно

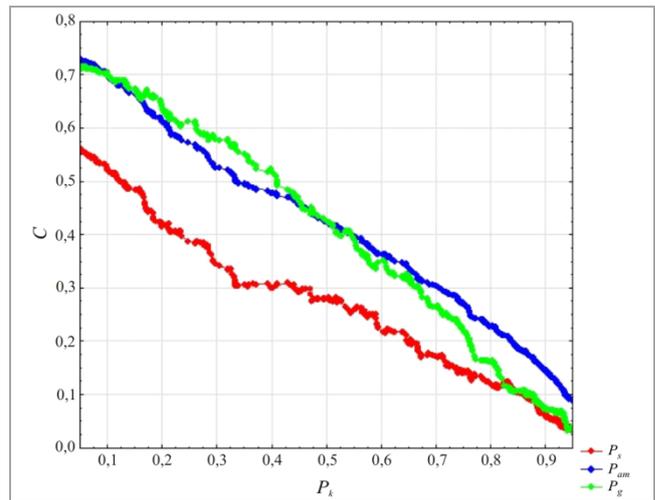


Рис. 2. Коэффициенты отдельных критериев регрессионных комплексных моделей 2-го уровня

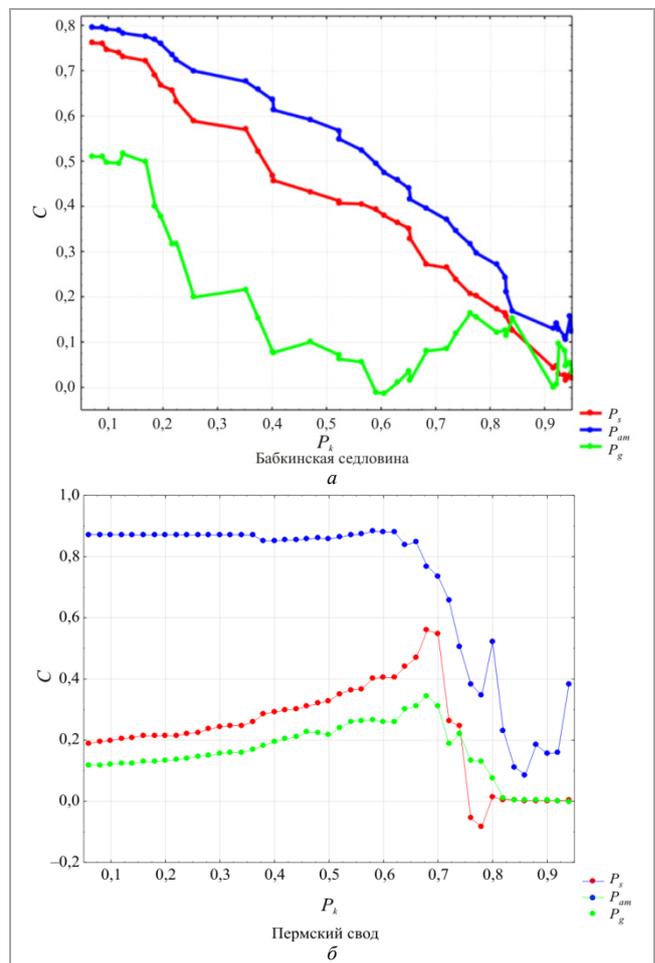


Рис. 3. Коэффициенты отдельных критериев регрессионных комплексных моделей 3-го уровня по Бабкинской седловине (а) и Пермскому (б) своду

других критериев, в диапазоне P_k от 0,12 до 0,44 доли ед. значения коэффициентов P_g выше, чем P_{am} . При этом значения коэффициентов P_g и P_{am} не имеют большого расхождения между собой в данном диапазоне. Критерии сохранности залежей на всем протяжении вероятности P_k оказывают наименьшее влияние на насыщение структур УВ. Всего на 2-м уровне рассчитано 708 моделей. Рассчитанный коэффициент корреляции регрессионных моделей показывает, что пустые структуры прогнозируются лучше, чем насыщенные УВ. Рассчитанные регрессионные модели 2-го уровня слабо дифференцируют вклад отдельных

критериев в насыщение структур УВ на разных уровнях вероятности.

Модели 2-го уровня рассчитаны по комплексу критериев для всей территории исследования, но для более точного прогноза принято решение о разукрупнении области исследования и построении моделей 3-го уровня по каждому крупному тектоническому элементу отдельно. Территория исследования включает в себя тектонические элементы 1-го порядка: Башкирский свод (БС), Бымско-Кунгурскую моноклинали (БКМ), Пермский свод (ПС), Верхнекамскую впадину (ВКВ) и Бабкинскую седловину (БАС).

Для каждого крупного тектонического элемента была рассчитана комплексная вероятностная модель по формуле (4), проведен регрессионный анализ с постепенным добавлением исходных данных при ранжировании сведений по параметру P_k , аналогично методике получения моделей на 2-м уровне. Итогом построения 729 регрессионных моделей послужило получение коэффициентов отдельных критериев регрессионных моделей для каждого тектонического элемента. На рис. 3 приведены коэффициенты отдельных критериев регрессионных комплексных моделей 3-го уровня по Башкирскому и Пермскому своду.

В связи с большой геологической изученностью Башкирского свода, в котором выделено 365 из 711 рассматриваемых в исследовании структур, значения коэффициентов отдельных критериев Башкирского свода сильно влияют на значения коэффициентов регрессионных комплексных моделей, полученных на 2-м уровне для всей территории исследования.

Коэффициенты критериев регрессионных моделей, построенных для структур Бабкинской седловины (количество локализованных структур (M) равно 54) приведены на рис. 3, а. Заметно, что дифференциация значений коэффициентов отдельных критериев отличается от коэффициентов, полученных на 2-м уровне. Основное влияние в насыщение структур Бабкинской седловины вносят критерии аккумуляции, при этом критерии генерации на всем протяжении вероятности насыщения уступают в значимости критериям сохранности и аккумуляции. Значимость влияния критериев сохранности подтверждается увеличенными значениями содержания хлор-брома ($Cl_{Br}(Vk)$) относительно остальной площади исследования. Повышенное содержание $Cl_{Br}(Vk)$ косвенно указывает на нефтегазоносность территории, что обусловлено органическим генезисом брома в водах визея, связанного с нефтегазообразованием.

Из рис. 3, б, заметно, что для Пермского свода ($N=50$) в диапазоне P_k от 0,05 до 0,75 долей ед. значения регрессионных коэффициентов критерия аккумуляции оказывают наибольшее влияние в насыщение структур УВ. Критерии сохранности оказывают большее влияние, чем критерии генерации в диапазоне пустых структур, что связано с повышенной минерализацией вод на территории Пермского свода, относительно других крупных тектонических элементов, участвующих в исследовании. Высокие значения минерализации вод указывают на неблагоприятные условия сохранения залежей от физико-химического разрушения. При значениях P_k , равных 0,75 доли ед. влияние критериев сохранности резко снижается относительно критериев генерации и до значений P_k , равных 0,8 доли ед., является отрицательным. Для структур, насыщенных УВ (диапазон

P_k от 0,8 до 1,0 долей ед.) влияние в насыщение оказывают только критерии аккумуляции.

Подобное исследование было проведено для структур ВКВ и БКМ. На территории Верхнекамской впадины наибольшее влияние в насыщение структур вносят критерии аккумуляции и генерации, при этом в диапазоне $P_k > 0,75$ критерии генерации оказывают большее влияние, чем критерии аккумуляции. Критерии сохранности на всем протяжении вероятности уступают в значимости вклада. Для Бымско-Кунгурской моноклинали отмечено, что в диапазоне значений $P_k > 0,7$ критерии аккумуляции вносят меньший вклад в насыщение структур УВ, чем критерии генерации и сохранности. В остальной части вероятностного поля критерии аккумуляции оказывают большее влияние в насыщение структур.

Выявлено, что для всех тектонических элементов наибольший вклад вносят критерии аккумуляции [45]. Коэффициенты критериев генерации по тектоническим элементам варьируются в значимости вклада в насыщение структур УВ, но стабильно влияют слабее, чем критерии аккумуляции, что в целом подтверждает ранее полученные выводы. Построенные модели 3-го уровня доказали, что на территории юга Пермского края прогноз нефтегазоносности локальных структур следует проводить отдельно по тектоническим элементам. Для тектонических элементов ввиду разных условий формирования различные критерии влияют на насыщение структур УВ по-разному.

По итогам проведения всех вышеперечисленных исследований было выявлено 15 прогнозных структур, которые оказались насыщенными УВ, а также 80, которые оказались пустыми. Насыщение выявленных структур подтверждается результатами всех исследований на разных уровнях.

Заключение

В рамках исследования выделены локальные структуры 3-го порядка визейского комплекса отложений, которые ранее не были разбурены. Проанализированы критерии генерации, аккумуляции и сохранности залежей УВ, построены индивидуальные статистические модели. Индивидуальные статистические модели позволили получить комплексные модели 1-го уровня отдельно по критериям. Данные модели отличаются невысокими прогнозными характеристиками. На основании моделей 1-го уровня были получены модели 2-го уровня, учитывающие комплекс критериев на всей области исследования. Проведенный регрессионный анализ показал, что наибольшее влияние на насыщение структур УВ вносят критерии аккумуляции. Для каждого крупного тектонического элемента были получены и проанализированы методом регрессии модели 3-го уровня, которые доказали, что наиболее эффективно проводить прогноз нефтегазоносности локальных структур отдельно по тектоническим элементам при учете сведений о аккумуляции, генерации и сохранности залежей УВ. Итогом проведения всех исследований послужило выделение 15 потенциально насыщенных УВ структур, которые ранее не были разбурены. Данное исследование позволит в дальнейшем более рационально планировать геолого-разведочные работы на поиски залежей нефти в комплексе визейских отложений.

Библиографический список

1. Южаков А.Л. Классификация структурных локальных остатков отражающего горизонта ПК на примере юга пермского края // Проблемы разработки месторождений углеводородных и рудных полезных ископаемых: материалы XI Всероссийской научно-технической конференции. – Пермь, 2018. – С. 85.
2. Южаков А.Л., Путилов И.С. Прогнозирование нефтегазоносности южной части Пермского края с использованием регионального моделирования // Недрапользование. – 2020. – Т. 20, № 4. – С. 317–330.
3. Путилов И.С., Ладейщиков С.В. Комплексный подход при сейсмофациальном районировании нижнебобриковских отложений Чашкинского месторождения // Теория и практика разведочной и промысловой геофизики: материалы междунар. науч.-практ. конф., г. Пермь 26–27 ноября 2015 г. / Перм. гос. нац. исслед. ун-т. – Пермь, 2015. – С. 150–154.
4. Путилов И.С. Трехмерное геологическое моделирование при разработке нефтяных и газовых месторождений. – Пермь, Изд-во Перм. нац. исслед. политех. ун-та, 2011. – 72 с.
5. Дюбруль О. Использование геостатистики для включения в геологическую модель сейсмических данных / Евр. ассоциация геоученых и инженеров (EAGE). – М., 2002. – 296 с.

6. Алтунин А.Е., Семухин М.В. Расчеты в условиях риска и неопределенности в нефтегазовых технологиях. – М. – Тюмень: Изд-во Тюмен. гос. ун-та, 2004. – 296 с.
7. Ампилов Ю.П. Методы геолого-экономического моделирования ресурсов и запасов нефти и газа с учетом неопределенности и риска. – М.: Геоинформмарк, 2002. – 201 с.
8. Путилов И.С., Галкин В.И. Разработка методики вероятностно-статистического прогноза нефтегазоносности локализованных структур (на примере южной части Пермского края) // Нефтяное хозяйство. – 2014. – № 4. – С. 26–29.
9. Воеводкин В.Л., Галкин В.И., Кривошеков С.Н. Исследование влияния критериев нефтегазоносности и изученности территории Пермского края на распределение месторождений углеводородов // Нефтяное хозяйство. – 2012. – № 6. – С. 30–34.
10. 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. Кривошеков // Нефтяное хозяйство. – 2014. – № 12. – С. 103–105.
11. Методика вероятностной оценки геологических рисков при поисках нефтяных месторождений для территорий с высокой плотностью промышленных открытий / А.Р. Курчинов, В.Н. Бородкин, С.В. Галкин, В.И. Галкин, А.В. Растегаев // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. – 2013. – № 10. – С. 4–13.
12. Фокин. А. Риски и неопределенности в геологоразведочном процессе // Новатор. – 2011. – № 43. – С. 8–12.
13. Комплексный подход к изучению доманиковых отложений на территории Пермского края / И.С. Путилов, С.И. Соловьев, А.А. Обухов, Е.В. Пятунина // Перспективы увеличения ресурсной базы разрабатываемых отложений, в том числе из доманиковых отложений: сборник докладов по итогам межрегиональной научно-практической конференции, посвященной 70-летию НГДУ «Ленингорскнефть». Карабаш, 6–7 августа 2015 г. – Альметьевск: ПАО «Татнефть», 2015. – С. 71–78.
14. Кривошеков С.Н., Кочнев А.А., Санников И.В. Перспективы нефтегазоносности отложений доманикового типа на территории Пермского края // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Геология. Нефтегазовое и горное дело. – 2013. – № 9. – С. 18–26.
15. Геохимические показатели РОВ пород как критерии оценки перспектив нефтегазоносности / В.И. Галкин, И.А. Козлова, О.А. Мелкишев, М.А. Шадрин // Нефтепромысловое дело. – 2013. – № 9. – С. 28–31.
16. Поисковые критерии нефти и газа в доманиковых отложениях Волго-Уральского бассейна / А.В. Ступакова, Н.П. Фалеева, Г.А. Калмыков, А.Х. Богомолов, Т.А. Кирюхина, Н.И. Коробова, Т.А. Шарданова, А.А. Сулова, Р.С. Сауткин, Е.Н. Полудеткина, Е.В. Козлова, Д.В. Минтронов, Ф.В. Коркоц // Георесурсы. – 2015. – № 2 (61). – С. 77–86. DOI: 10.18599/grs.61.2.7
17. Отложения доманикового типа – возможный источник нетрадиционных углеводородов для Пермского края: обзор, перспективы, рекомендации / М.А. Носов, В.И. Галкин, С.Н. Кривошеков, О.А. Мелкишев // Нефтяное хозяйство. – 2012. – № 10. – С. 90–91.
18. Кривошеков С.Н. Разработка регионально-зональных критериев прогноза нефтегазоносности территории Пермского Прикамья вероятностно-статистическими методами // Нефтяное хозяйство. – 2011. – № 10. – С. 10–14.
19. Кривошеков С.Н., Галкин В.И., Волкова А.С. Разработка вероятностно-статистической методики прогноза нефтегазоносности структур // Нефтепромысловое дело. – 2010. – № 7. – С. 28–31.
20. Зональный прогноз нефтегазоносности девонского терригенного нефтегазоносного комплекса на юге Пермского края / О.А. Мелкишев, В.И. Галкин, Е.Е. Кожевникова, Т.В. Карасева // Нефтяное хозяйство. – 2014. – № 6. – С. 4–8.
21. Kovalevskiy E. Geological Modelling on the Base of Geostatistics. COURSE NOTE. – Student Lecture Tour, RUSSIA & CIS, 2011–2012.
22. Галкин С.В. Вероятностный прогноз геологических рисков при поисках месторождений нефти и газа. – Пермь: Книжный мир, 2009. – 224 с.
23. К методике оценки перспектив нефтегазоносности Соликамской депрессии по характеристикам локальных структур / В.И. Галкин, И.А. Козлова, А.В. Растегаев, И.В. Ванцева, С.Н. Кривошеков, В.Л. Воеводкин // Нефтепромысловое дело. – 2010. – № 7.
24. Галкин В.И., Растегаев А.В., Галкин С.В. Вероятностно-статистическая оценка нефтегазоносности локальных структур. – Екатеринбург, 2011. – 299 с.
25. Галкин В.И., Соснин Н.Е. Разработка геолого-математических моделей для прогноза нефтегазоносности сложнопостроенных структур в девонских терригенных отложениях // Нефтяное хозяйство. – 2013. – № 4. – С. 28–31.
26. Путилов И.С., Потехин Д.В. Опыт корректировки распределения литологии при трехмерном геологическом моделировании на основе представлений о геологическом строении нефтяных залежей // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. – 2005. – № 5–6. – С. 48–50.
27. Путилов И.С. Научное обоснование вероятностно-статистических методов прогноза нефтегазоносности структур в условиях высокоизученных территорий. – М., 2016. – 369 с.
28. Карцев А.А. Гидрогеология нефтяных и газовых месторождений. – М.: Недра, 1972. – 280 с.
29. 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. Series A. – 1981. – Vol. 144, № 1. – P. 1–31.
30. Davis J.C. Statistics and Data Analysis in Geology. – 3rd Edition. – John Wiley & Sons, 2002.
31. Deutsch C.V. Geostatistical Reservoir modelling. Oxford University Press, 2002.
32. Armstrong M. Basic Linear Geostatistics. – Springer, 1998. – 155 p.
33. Девис Дж.С. Статистический анализ данных в геологии. – М.: Недра, 1990. – Кн. 1. – 319 с.
34. Девис Дж.С. Статистический анализ данных в геологии. – М.: Недра, 1990. – Кн. 2. – 426 с.
35. Справочник по математическим методам в геологии / Д.А. Родионов, Р.И. Коган, В.А. Голубева [и др.]. – М.: Недра, 1987. – 335 с.
36. Johnson N.L., Leone F.C. Statistics and experimental design. – New York – London – Sydney – Toronto, 1977. – 606 p.
37. Montgomery D.C., Peck E.A., Introduction to linear regression analysis. – New York: John Wiley & Sons, 1982. – 504 p.
38. Yarus J.M. Stochastic modeling and geostatistics // AAPG. – Tulsa, Oklahoma, 1994. – 231 p.
39. Houze O., Viturat D., Fjaere O.S. Dinamic data analysis. – Paris: Kappa Engineering, 2008. – 694 p.
40. GSLIB: Geostatistical Software Library and User's Guide. – New York: Oxford University Press, 1998. – 369 p.
41. Isaaks E.H., Srivastava R.M. An Introduction to Applied Geostatistics. – Oxford University Press, 1989. – 561 p.
42. Kaufman M.G. Statistical issues in the assessment of undiscovered oil and gas resources. – MITCEEPR, 1992. – 30 p.
43. Cosentino L. Integrated reservoir studies. – Paris: Editions TECHNIP, 2001. – 400 p.
44. Prediction of residual oil saturation by using the ratio of amplitude of time-lapse seismic data / L. Meng, L. Zhen, L. Minzhu, Z. Huilai // GEOPHYSICS. – 2017. – Vol. 82, no. 1. – P. 1–12.
45. Южаков А.Л. Прогноз нефтегазоносности структур по тектоническим элементам отражающего горизонта ПК южной части пермского края // Новые направления нефтегазовой геологии и геохимии. Развитие геологоразведочных работ: сборник материалов II Международной научной конференции. – Пермь, 2019. – С. 195–200.

References

1. Iuzhakov A.L. Klassifikatsiya strukturykh lokal'nykh ostatkov otrazhaiushchego gorizonta ПК na primere iuga permskogo kraia [Classification of structural local remains of the reflecting horizon ПК on the example of the south of the Perm region]. *Problemy razrabotki mestorozhdenii uglevodorodnykh i rudnykh poleznykh iskopaemykh. Materialy XI Vserossiiskoi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii*. Perm', 2018, 85 p.
2. Iuzhakov A.L., Putilov I.S. Prognozirovanie neftegazonosnosti iuzhnoi chasti Permskogo kraia s ispol'zovaniem regional'nogo trekhmernogo modelirovaniia [Prediction of Oil and Gas Occurrence in the Southern Part of Perm Krai Based on Regional 3D Modeling]. *Nedropol'zovanie*, 2020, vol. 20, no. 4, pp. 317–330. DOI: 10.15593/2712-8008/2020.4.2
3. Putilov I.S., Ladeishchikov S.V. Kompleksnyi podkhod pri seismofatsial'nom raionirovanii nizhebobrikovskikh otlozhenii Chashkinskogo mestorozhdeniia [An integrated approach to seismic facies zoning of the Lower Bobrikov deposits of the Chashkinskoye field]. *Teoriia i praktika razvedochnoi i promyslovoi geofiziki. Materialy mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii, Perm' 26-27 November 2015*. Perm': Permskii natsional'nyi issledovatel'skii politekhnicheskii universitet, 2015, pp. 150–154.
4. Putilov I.S. Trekhmernoe geologicheskoe modelirovanie pri razrabotke neftiannykh i gazovykh mestorozhdenii [3D geological modeling in the development of oil and gas fields]. Perm': Permskii natsional'nyi issledovatel'skii politekhnicheskii universitet, 2011, 72 p.
5. Diubrun' O. Ispol'zovanie geostatistikii dlia vklucheniia v geologicheskuiu model' seismicheskikh dannykh [Using geostatistics to incorporate seismic data into a geological model]. *Evropeiskaia assotsiatsiia geouchenykh i inzhenerov (EAGE)*, Moscow, 2002, 296 p.
6. Altunin A.E., Semukhin M.V. Raschety v usloviakh riska i neopredelennosti v neftegazovykh tekhnologiiakh [Calculations under risk and uncertainty in oil and gas technologies]. Moscow. - Tiumen': Tiument'skii gosudarstvennyi universitet, 2004, 296 p.
7. Ampilov Iu.P. Metody geologo-ekonomicheskogo modelirovaniia resursov i zapasov nefi i gaza s uchedom neopredelennosti i riska [Methods of geological and economic modeling of resources and reserves of oil and gas, taking into account uncertainty and risk]. Moscow: Geoinformark, 2002, 201 p.
8. Putilov I.S., Galkin V.I. Razrabotka metodiki veroiatnostno-statisticheskogo prognoza neftegazonosnosti lokalizovannykh struktur (na primere iuzhnoi chasti Permskogo kraia) [Developing the technology for probabilistic and statistical forecast of oil-and-gas-bearing capacity of the South Perm Region]. *Neftianoe khoziaistvo*, 2014, no. 4, pp. 26–29.
9. Voevodkin V.L., Galkin V.I., Krivoshekov 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.
10. Galkin V.I., Karaseva T.V., Kozlova I.A., Nosov M.A., Krivoshekov 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.
11. Kurchikov A.R., Borodkin V.N., Galkin S.V., Galkin V.I., Rastegaev A.V. Metodika veroiatnostnoi otsenki geologicheskikh riskov pri poiskakh nefiannykh mestorozhdenii dlia territorii s vysokoiu plotnost'iu promyshlennykh otkrytii [Some method of probability assessment of geological risks while prospecting for oil fields on territories with high density of commercial discoveries]. *Geologiya, geofizika i razrabotka nefiannykh i gazovykh mestorozhdenii*, 2013, no. 10, pp. 4–13.

12. Fokin A.N. Riski i neopredelennosti v geologorazvedochnom protsesse [Risks and uncertainties in the exploration process]. *Novator*, 2011, no. 43, pp. 8-12.
13. Putilov I.S., Solov'ev S.I., Obukhov A.A., Piatunina E.V. Kompleksnyi podkhod k izucheniiu domanikovykh otlozhenii na territorii Permskogo kraia [An integrated approach to the study of Domanic deposits in the Perm Krai]. *Perspektivy uvelicheniia resursnoi bazy razrabatyvaemykh otlozhenii, v tom chisle iz domanikovykh otlozhenii. Sbornik dokladov po itogam mezhtsebnogo nauchno-prakticheskoi konferentsii, posviashchennoi 70-letiiu NGDU "Leninogorskneft'". Karabash, 6-7 avgusta 2015 Al'met'evsk PAO "Tatneft'"; 2015, pp. 71-78.*
14. Krivoshechekov S.N., Kochnev A.A., Sannikov I.V. Perspektivy neftegazonosnosti otlozhenii domanikovogo tipa na territorii Permskogo kraia [Oil and gas prospects of Domanic sediments in Perm Krai]. *Vestnik Permskogo natsional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Geologiya. Neftegazovoe i gornoe delo*, 2013, no. 9, pp. 18-26.
15. Galkin V.I., Kozlova I.A., Melkishev O.A., Shadrina M.A. Geokhimicheskie pokazateli ROV porod kak kriterii otsenki perspektiv neftegazonosnosti [Geochemical indicators of dispersed organic matter (DOM) of rocks as criteria of hydrocarbon potential evaluation]. *Neftepromyslovoe delo*, 2013, no. 9, pp. 28-31.
16. Stupakova A.V., Fadeeva N.P., Kalmykov G.A., Bogomolov A.Kh., Kiriukhina T.A., Korobova N.I., Shardanova T.A., Suslova A.A., Sautkin R.S., Poludetkina E.N., Kozlova E.V., Mitronov D.V., Korkots F.V. Poiskovye kriterii nefii i gaza v domanikovykh otlozheniakh Volgo-Ural'skogo basseina [Criteria for oil and gas search in domanic deposits of the Volga-Ural basin]. *Georesursy*, 2015, no. 2 (61), pp. 77-86. DOI: 10.18599/grs.61.2.7
17. Nosov M.A., Galkin V.I., Krivoshechekov S.N., Melkishev O.A. Otlozheniia domanikovogo tipa - vozmozhnyi istochnik netraditsionnykh uglevodorodov dlia Permskogo kraia: obzor, perspektivy, rekomendatsii [Domanic type rocks - a possible source of non-conventional hydrocarbons for the Perm region: an overview, perspectives, recommendations]. *Nef'tianoe khoziaistvo*, 2012, no. 10, pp. 90-91.
18. Krivoshechekov S.N. Razrabotka regional'no-zonal'nykh kriteriev prognoza neftegazonosnosti territorii Permskogo Prirkam'ia veroiatnostno-statisticheskimi metodami [Establishment of regional and zonal criteria of Perm Region's oil forecast probabilistic and statistical methods]. *Nef'tianoe khoziaistvo*, 2011, no. 10, pp. 10-14.
19. Krivoshechekov S.N., Galkin V.I., Volkova A.S. Razrabotka veroiatnostno-statisticheskoi metodiki prognoza neftegazonosnosti struktur [Development of a probabilistic-statistical methodology for predicting the oil and gas potential of structures]. *Neftepromyslovoe delo*, 2010, no. 7, pp. 28-31.
20. Melkishev O.A., Galkin V.I., Kozhevnikova E.E., Karaseva T.V. Zonal'nyi prognoz neftegazonosnosti devonskogo terrigenного kompleksa na iuge Permskogo kraia [Prediction of zonal hydrocarbon potentials Devonian clastic sediments on the south of Perm region]. *Nef'tianoe khoziaistvo*, 2014, no. 6, pp. 4-8.
21. Kovalevskiy E. Geological Modelling on the Base of Geostatistics. COURSE NOTE. Student Lecture Tour, RUSSIA & CIS, 2011-2012.
22. Galkin S.V. Veroiatnostnyi prognoz geologicheskikh riskov pri poiskakh mestorozhdenii nefii i gaza [Probabilistic forecast of geological risks in the search for oil and gas fields]. Perm: Knizhnyi mir, 2009, 224 p.
23. Galkin V.I., Kozlova I.A., Rastegaev A.V., Vantseva I.V., Krivoshechekov S.N., Voevodkin V.L. K metodike otsenki perspektiv neftegazonosnosti Solikamskoi depressii po kharakteristikam lokal'nykh struktur [Estimation procedure of petroleum potential of Solikamsk depression based on local structures parameters]. *Neftepromyslovoe delo*, 2010, no. 7, pp. 12-17
24. Galkin V.I., Rastegaev A.V., Galkin S.V. Veroiatnostno-statisticheskaya otsenka neftegazonosnosti lokal'nykh struktur [Probabilistic-statistical assessment of oil and gas potential of local structures]. Ekaterinburg, 2011, 299 p.
25. Galkin V.I., Sosnin N.E. Razrabotka geologo-matematicheskikh modelei dlia prognoza neftegazonosnosti slozhnopoastroennykh struktur v devonskikh terrigennykh otlozheniakh [Geological development of mathematical models for the prediction of oil and gas complex-built structures in the Devonian clastic sediments]. *Nef'tianoe khoziaistvo*, 2013, no. 4, pp. 28-31.
26. Putilov I.S., Potekhin D.V. Opyt korrektsirovki raspredeleniia litologii pri trekhmernom geologicheskom modelirovanii na osnove predstavlenii o geologicheskom stroenii nef'tianyykh zalezhei [Experience in correcting the distribution of lithology in 3D geological modeling based on the understanding of the geological structure of oil deposits]. *Geologiya, geofizika i razrabotka nef'tianyykh i gazovykh mestorozhdenii*, 2005, no. 5-6, pp. 48-50.
27. Putilov I.S. Nauchnoe obosnovanie veroiatnostno-statisticheskikh metodov prognoza neftegazonosnosti struktur v usloviakh vysokoizuchennykh territorii [Scientific substantiation of probabilistic-statistical methods for predicting the oil and gas potential of structures in conditions of highly studied territories]. Moscow, 2016, 369 p.
28. Kartsev A.A. Gidrogeologiya nef'tianyykh i gazovykh mestorozhdenii [Hydrogeology of oil and gas fields]. Moscow: Nedra, 1972, 280 pp.
29. 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. Series A*, 1981, vol. 144, no. 1, pp. 1-31. DOI: 10.2307/2982158
30. Davis J.C. Statistics and Data Analysis in Geology. 3rd Edition. John Wiley & Sons, 2002.
31. Deutsch C.V. Geostatistical Reservoir modelling. Oxford University Press, 2002.
32. Armstrong M. Basic Linear Geostatistics. Springer, 1998, 155 p.
33. Devis Dzh.S. Statisticheskii analiz dannykh v geologii [Statistical data analysis in geology]. Moscow: Nedra, 1990, book 1, 319 p.
34. Devis Dzh.S. Statisticheskii analiz dannykh v geologii [Statistical data analysis in geology]. Moscow: Nedra, 1990, book 2, 426 p.
35. Rodionov D.A., Kogan R.I., Golubeva V.A. et al. Spravochnik po matematicheskim metodam v geologii [Handbook of Mathematical Methods in Geology]. Moscow: Nedra, 1987, 335 p.
36. Johnson N.L., Leone F.C. Statistics and experimental design. New York - London - Sydney - Toronto, 1977, 606 p.
37. Montgomery D.C., Peck E.A., Introduction to linear regression analysis. New York: John Wiley & Sons, 1982, 504 p.
38. Yarus J.M. Stochastic modeling and geostatistics. AAPG. Tulsa, Oklahoma, 1994, 231 p.
39. Houze O., Viturat D., Fjaere O.S. Dinamie data analysis. Paris: Kappa Engineering, 2008, 694 p.
40. GSLIB: Geostatistical Software Library and User's Guide. New York: Oxford University Press, 1998, 369 p.
41. Isaaks E.H., Srivastava R.M. An Introduction to Applied Geostatistics. Oxford University Press, 1989, 561 p.
42. Kaufman M.G. Statistical issues in the assessment of undiscovered oil and gas resources. MITCEEPR, 1992, 30 p.
43. Cosentino L. Integrated reservoir studies. Paris: Editions TECHNIP, 2001, 400 p.
44. Meng L., Zhen L., Minzhu L., Huilai Z. Prediction of residual oil saturation by using the ratio of amplitude of time-lapse seismic data. *GEOPHYSICS*, 2017, vol. 82, no. 1, pp. 1-12. DOI: 10.1190/geo2015-0453.1
45. Iuzhakov A.L. Prognoz neftegazonosnosti struktur po tektonicheskim elementam otrazhaiushchego gorizonta IIK iuzhnoi chasti permskogo kraia [Forecast of oil and gas potential of structures based on tectonic elements of the IIK reflector in the southern part of the Perm Krai]. *Novye napravleniia neftegazovoi geologii i geokhimii. Razvitie geologorazvedochnykh rabot: sbornik materialov II Mezhdunarodnoi nauchnoi konferentsii. Perm'*, 2019, pp. 195-200.

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.
 Конфликт интересов. Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.
 Вклад автора 100 %.