

УДК 622.276:553.982.044

Статья / Article

© ПНИПУ / PNRPU, 2018

ОБОСНОВАНИЕ ЗОНАЛЬНОЙ НЕФТЕГАЗОНОСНОСТИ ТЕРРИТОРИИ ВИСИМСКОЙ МОНОКЛИНАЛИ ПО ГЕОХИМИЧЕСКИМ КРИТЕРИЯМ

В.И. Галкин, К.А. Кошкин¹, О.А. Мелкишев

Пермский национальный исследовательский политехнический университет (614990, Россия, г. Пермь, Комсомольский пр., 29)
¹ООО «УралОйл» (614990, Россия, г. Пермь, ул. Сибирская, 4)

THE JUSTIFICATION OF ZONAL OIL AND GAS POTENTIAL OF THE TERRITORY OF VISIMSKAYA MONOCLINE BY GEOCHEMICAL CRITERIA

Vladislav I. Galkin, Konstantin A. Koshkin¹, Oleg A. Melkishev

Perm National Research Polytechnic University (29 Komsomolskiy av., Perm, 614990, Russian Federation)
¹Uraloil LLC (4 Sibirskaya st., Perm, 614990, Russian Federation)

Получена / Received: 22.05.2018. Принята / Accepted: 24.08.2018. Опубликована / Published: 28.09.2018

Ключевые слова:

вероятность, линейная статистическая модель, многомерная статистическая модель, коэффициент корреляции, нефтегазоносность, статистические критерии, геохимические и битуминологические характеристики, органическое вещество, геохимия.

В статье выполняется зональная вероятностно-статистическая оценка генерационного потенциала отложений, формирующих нефтегазоносность территории Висимской моноклинали. Используются базы данных по геохимическим и битуминологическим характеристикам рассеянного органического вещества (РОВ) в отложениях доманикоидного типа верхнедевонско-турнейской толщи. Были использованы следующие показатели: содержание органического углерода $C_{орг}$, %; органического вещества ОВ, %; состав РОВ (содержание битумоидов, %: – хлороформных – $B_{хл}$, петролейных – $B_{пэ}$, спиртобензольных – $B_{сб}$, гуминовых кислот – ГумК, нерастворимого остатка – НО, %) и характеристики преобразования РОВ (отношение концентраций хлороформного битумоида к спиртобензольному – $B_{хл}/B_{сб}$, битумоидный коэффициент – β), а также коэффициент пересчета для $C_{орг}$ – K_c . Для определения информативности этих характеристик использованы статистические критерии Стьюдента (t) и Пирсона (χ^2). При построении моделей прогноза зональной нефтегазоносности территории Висимской моноклинали использовались одномерный и пошаговый многомерный регрессионный анализы, что позволило построить одномерные и многомерные регрессионные линейные модели. С помощью пошагового многомерного регрессионного анализа разработан комплексный критерий, учитывающий влияние как каждого геохимического показателя в отдельности, так и их сочетаний.

Это позволило построить схему распределения вероятности нефтегазоносности для территории Висимской моноклинали, анализ которой показал, что максимально благоприятные геохимические условия формирования нефтегазоносности за счет РОВ наблюдаются в центральной части Висимской моноклинали (в пределах Майкорокского месторождения и территории вокруг него, ограниченной изовероятностью больше 0,5). Также определенный интерес с точки зрения зональной нефтегазоносности представляют участки на юге Висимской моноклинали на территориях, где $P_{комп}^{rx} > 0,5$. Вероятно, определенный интерес имеют территории и на севере Висимской моноклинали.

Key words:

probability, linear statistical model, multidimensional statistical model, correlation coefficient, oil and gas potential, statistical criteria, geochemical and bitumen characteristics, organic matter, geochemistry.

The paper presents the zonal probability and statistical assessment of the generation potential of deposits that form oil and gas potential of the territory of Visimskaya monocline. Databases on geochemical and bituminological characteristics of dispersed organic matter (DOM) in Domanicoid type deposits of the Upper Devonian-Tournaisian formation were used. The following indicators were used: content of organic carbon $S_{орг}$, %; organic matter OM, %; composition of DOM (content of bitumoids: % – chloroform – CBE, petroleum – PB, alcohol-benzene – ABB, humic acids – HumA, %, insoluble residue – IR, %) and characteristics of DOM conversion (ratio of chloroform bitumen to alcohol-benzene one – CBE/ABB, bitumoid coefficient – β), as well as the conversion factor for $S_{орг}$ – K_c . In order to determine the informativeness of these characteristics, the Student's (t) and Pearson's (χ^2) statistical criteria were used. When building models for predicting the zonal oil and gas potential of the territory of Visimskaya monocline, one-dimensional and step-by-step multidimensional regression analyzes were used, which allowed to construct one-dimensional and multidimensional regression linear models. Using the step-by-step multidimensional regression analysis a complex criterion was developed taking into account influence of each geochemical indicator separately and their combinations.

This made it possible to construct a scheme for distribution of probability of petroleum potential of the territory of Visimskaya monocline. Analysis of the scheme showed that the most favorable geochemical conditions for the formation of petroleum potential due to DOM are observed in the central part of Visimskaya monocline (within the Maykorskoye field and surrounding area, bounded by the likelihood more than 0.5). Besides, areas in the south of Visimskaya monocline in the territories where $P_{comp}^{rx} > 0.5$ are of particular interest in terms of zonal oil and gas potential. North of Visimskaya monocline probably has a certain interest as well.

Галкин Владислав Игнатьевич – доктор геолого-минералогических наук, профессор, заведующий кафедрой геологии нефти и газа (тел.: +007 342 219 80 17, e-mail: vgalkin@pstu.ru).

Кошкин Константин Александрович – начальник отдела геологии и лицензирования (тел.: +007 342 235 68 81, e-mail: konstkoskin@rambler.ru). Контактное лицо для переписки.

Мелкишев Олег Александрович – кандидат технических наук, доцент кафедры геологии нефти и газа (тел.: +007 342 219 84 11, e-mail: melkishev@pstu.ru).

Vladislav I. Galkin (Author ID in Scopus: 55418067700) – Doctor of Geology and Mineralogy, Professor, Head of the Department of Oil and Gas Geology (tel.: +007 342 219 80 17, e-mail: vgalkin@pstu.ru).

Konstantin A. Koshkin – Head of the Department for Geology and Licensing (tel.: +007 342 235 68 81, e-mail: konstkoskin@rambler.ru). The contact person for correspondence.

Oleg A. Melkishev (Author ID in Scopus: 55531674700) – PhD in Engineering, Associate Professor at the Department of Oil and Gas Geology (tel.: +007 342 219 84 11, e-mail: melkishev@pstu.ru).

Введение

Существующие стандартные методики оценки нефтегазоносности не всегда позволяют выделить те локальные объекты, которые будут содержать скопления нефти. Многие авторы для зонального прогноза нефтегазоносности предлагают использовать различные количественные или качественные критерии.

В данной статье выполняется зональная вероятностно-статистическая оценка генерационного потенциала отложений, формирующих нефтегазоносность осадочного разреза территории развития Висимской моноклинали. Здесь, как и на территории всего Пермского края, традиционными нефтегазоматеринскими толщами являются отложения верхнедевонско-турнейского карбонатного (D_3-C_1t) комплекса [1–12].

Для решения данной задачи использованы базы данных по геохимическим и битуминологическим характеристикам рассеянного органического вещества (РОВ) верхнедевонско-турнейских карбонатных отложений, определенных в скважинах на территории Висимской моноклинали.

В работе были использованы следующие показатели: содержание органических соединений в породе (органического углерода $C_{орг}$, %, и органического вещества $ОВ$, %); состав РОВ (содержание битумоидов, % – хлороформенных – $B_{хл}$, петролейных – $B_{пэ}$, спиртобензольных битумоидов – $B_{сб}$, гуминовых кислот – ГумК, нерастворимого остатка – НО) и характеристики преобразования РОВ (отношение концентраций хлороформенного битумоида к спиртобензольному – $B_{хл}/B_{сб}$, битумоидный коэффициент – β), а также коэффициент пересчета для $C_{орг}$ – K_k .

Статистический анализ проведен по 325 определениям геохимических характеристик по керну.

Нефтегазоматеринские толщи в разрезе верхнедевонско-турнейского нефтегазового комплекса являются отложениями доманикоидного типа, с которыми в настоящее время связывают формирование основного объема залежей нефти и газа во всем осадочном чехле северо-восточной части Волго-Уральской нефтегазоносной провинции, куда входит территория Висимской моноклинали. Ранее в работах различных авторов были рассмотрены геохимические особенности каждого стратиграфического подразделения этих отложений,

выявлена их генерирующая роль и выполнены исследования по прогнозированию нефтегазоносности. Геолого-геохимические особенности этих отложений были изучены авторами достаточно подробно для всей территории Пермского края [1–8]. Здесь необходимо отметить, что в данных работах особенностям распределения РОВ по территории Висимской моноклинали уделено мало внимания. Это связано во многом с тем, что на данной территории к настоящему времени открыто мало месторождений нефти и газа, при этом в достаточно ограниченном стратиграфическом диапазоне. По мнению авторов данной статьи, привлечение математических методов позволит оценить связи между характеристиками РОВ и нефтегазоносности территории Висимской моноклинали.

Возможности построения геолого-математических моделей для решения различных задач приведены в работах [13–38]. При построении одномерных и многомерных линейных статистических моделей использовались элементы математической статистики и теории вероятностей, которые детально описаны в работах как отечественных, так и зарубежных авторов [1, 11, 20, 27, 29, 30, 39–46].

Построение одномерных моделей

Проводился анализ результатов исследований образцов из скважин, которые находятся в пределах границ Висимской моноклинали и в непосредственной близости к ним. Первоначально показатели, характеризующие РОВ по изучаемым отложениям, были условно разграничены на две группы. К первой отнесены определения РОВ по скважинам, находящимся вблизи месторождений и непосредственно в их контурах, ко второй – определения из скважин, находящихся за пределами нефтяных месторождений.

Первым статистическим инструментом для оценки степени различия параметров для двух выборок является проверка гипотез о различиях или неразличиях средних значений рассматриваемых характеристик РОВ при помощи t -критерия Стьюдента:

$$t_p = \frac{|X_1 - X_2|}{\sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} \left(\frac{(n_1 - 1)S_1^2 + (n_2 - 1)S_2^2}{n_1 + n_2 - 2} \right)}}$$

где X_1, X_2 – соответственно средние значения показателей РОВ для нефтяных и «пустых» площадей; S_1^2, S_2^2 – дисперсии показателей. Различие в средних значениях считается статистически значимым, если $t_p > t_t$. Значения t_t определяются в зависимости от количества сравниваемых данных и уровня значимости ($\alpha = 0,05$).

Данные статистических расчетов средних значений (t -критерия и достигаемого уровня значимости p) геохимических и битуминологических параметров в группах для отложений доманикового типа верхнедевонско-турнейских отложений (D_3-C_1) приведены в табл. 1.

Статистическая значимость различий средних величин геохимических и битуминологических характеристик РОВ верхнедевонско-турнейской толщи установлена для трех показателей: $K_k, B_{пз}, B_{сб}$. Максимальное статистическое различие по критерию t получено для $B_{сб}$, минимальное – ОВ. Чтобы оценить возможности формирования нефтегазоносности Висимской моноклинали по характеристикам РОВ верхнедевонско-турнейской толщи, для них были построены индивидуальные модели прогноза с целью оценки нефтегазоносности. Методика построения таких моделей достаточно подробно изложена в работе [1]. Рассмотрим построение индивидуальных вероятностных моделей.

Таблица 1

Сравнение средних значений геохимических и битуминологических характеристик и индивидуальные вероятностные модели нефтегазоносности для отложений доманикового типа D_3-C_1

Показатель	Статистические характеристики показателей		Критерий Стьюдента $\frac{t}{p}$	Верхняя строка – уравнение вероятности принадлежности к классу территорий в пределах контуров месторождений; средняя – область применения модели; нижняя – диапазон изменения вероятности
	территория контуров месторождений (группа 1)	территория за контурами месторождений (группа 2)		
(в контуре $n = 95$, за контуром $n = 142$)				
НО, %	$47,4 \pm 42,4$ $0,501 \pm 0,002$	$53,5 \pm 42,0$ $0,499 \pm 0,001$	$\frac{-1,21853}{0,22424}$	$P(НО) = 0,502 - 0,0005 НО$ $0,35 - 99,75 \%$ $0,497 - 0,502$
$C_{орг}$, %	$0,64 \pm 1,23$ $0,501 \pm 0,003$	$0,44 \pm 0,62$ $0,499 \pm 0,002$	$\frac{0,61471}{0,53933}$	$P(C_{орг}) = 0,499 + 0,00425 C_{орг}$ $0,02 - 24,33 \%$ $0,499 - 0,602$
ОВ, %	$0,81 \pm 1,54$ $0,501 \pm 0,003$	$0,57 \pm 0,86$ $0,499 \pm 0,003$	$\frac{0,54493}{0,58631}$	$P(ОВ) = 0,499 + 0,00321 ОВ$ $0,03 - 32,36 \%$ $0,499 - 0,603$
$B_{пз}$, %	$0,006 \pm 0,018$ $0,511 \pm 0,072$	$0,0003 \pm 0,01$ $0,489 \pm 0,072$	$\frac{3,49030}{0,00054}$	$P(B_{пз}) = 0,488 + 3,9047 B_{пз}$ $0,000 - 0,08 \%$ $0,488 - 0,800$
$B_{хл}$, %	$0,056 \pm 0,258$ $0,504 \pm 0,038$	$0,021 \pm 0,030$ $0,496 \pm 0,004$	$\frac{1,61845}{0,10690}$	$P(B_{хл}) = 0,495 + 0,15082 B_{хл}$ $0,000 - 2,5 \%$ $0,495 - 0,872$
$B_{сб}$, %	$0,064 \pm 0,086$ $0,504 \pm 0,021$	$0,033 \pm 0,011$ $0,497 \pm 0,010$	$\frac{3,65523}{0,00031}$	$P(B_{сб}) = 0,488 + 0,24752 B_{сб}$ $0,000 - 0,940 \%$ $0,489 - 0,723$
ГумК, %	$0,003 \pm 0,010$ $0,500 \pm 0,005$	$0,004 \pm 0,057$ $0,500 \pm 0,006$	$\frac{-0,77114}{0,48314}$	$P(ГумК) = 0,501 - 0,4559 ГумК$ $0,00 - 0,08 \%$ $0,464 - 0,501$
$B_{хл}/B_{сб}$, отн. ед.	$1,63 \pm 3,54$ $0,503 \pm 0,020$	$0,78 \pm 1,39$ $0,498 \pm 0,008$	$\frac{1,76051}{0,07962}$	$P(B_{хл}/B_{сб}) = 0,495 + 0,00572 B_{хл}/B_{сб}$ $0,00 - 20,8 \%$ $0,495 - 0,613$
β , %	$10,47 \pm 14,54$ $0,501 \pm 0,001$	$7,21 \pm 14,82$ $0,499 \pm 0,010$	$\frac{0,62548}{0,53226}$	$P(\beta) = 0,496 + 0,0092 \beta$ $0,05 - 88,88 \%$ $0,496 - 0,577$
K_k , отн. ед.	$1,27 \pm 0,04$ $0,516 \pm 0,085$	$1,29 \pm 0,041$ $0,483 \pm 0,090$	$\frac{2,87379}{0,00581}$	$P(K_k) = 3,399 - 2,259 K_k$ $1,25 - 1,33$ отн. ед. $0,394 - 0,575$

Примечание: * – в числителе – средние значения показателя и стандартное отклонение в классе, в знаменателе – среднее значение вероятности и стандартное отклонение в классе.

Таблица 2

Распределение значений $B_{хл}/B_{сб}$ по отложениям доманикового типа

Класс объектов	Интервал варьирования $B_{хл}/B_{сб}$, доли ед.								
	0,0–2,0	2,0–4,0	4,0–6,0	6,0–8,0	8,0–10,0	10,0–12,0	12,0–14,0	14,0–16,0	Более 16,0
Территории в пределах контуров месторождений ($n = 95$)	0,886	–	0,031	0,010	–	0,010	0,021	0,021	0,021
Территории за пределами контуров месторождений ($n = 142$)	0,922	0,036	0,021	0,007	0,007	0,007	–	–	–

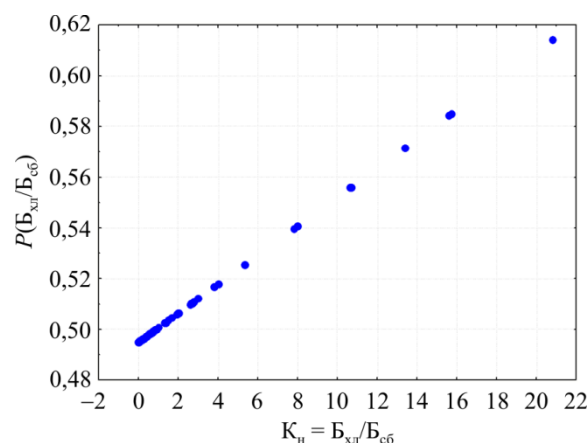
В качестве примера выполним статистический анализ по показателю $B_{хл}/B_{сб}$ для проб, отобранных в пределах контуров месторождений и за их пределами. Сравнение средних значений, приведенных в табл. 1, показывает, что среднее значение для территорий в пределах контуров месторождений – 1,634, для территорий за пределами контуров месторождений – 0,782. По критерию t средние значения не являются различными, так как $p = 0,07962$.

Распределения значений $B_{хл}/B_{сб}$ по доманиковым отложениям приведено в табл. 2.

Отсюда видно, что распределения значений $B_{хл}/B_{сб}$ для территорий нефтяных месторождений и за их пределами значительно отличаются. Для территорий нефтяных месторождений значения $B_{хл}/B_{сб}$ в интервале 0,0–4,0 доли ед. встречаются с частотой 0,886, тогда как для территорий за пределами – 0,956. В интервале 2,0–10,0 в первом случае 0,041, во втором – 0,042, т.е. наблюдается практическое равенство значений частот. При $B_{хл}/B_{сб} > 12,0$ для территорий нефтяных месторождений частота равна 0,063, за пределами нефтяных месторождений такие высокие значения не встречаются. Выполненная оценка различия по критерию χ^2 показала, что распределения являются статистически различными. Это позволило использовать данную характеристику для построения вероятностной модели.

В соответствии с используемой методикой на первом этапе построения вероятностной модели в каждом интервале определяются вероятности принадлежности к территориям нефтяных месторождений ($P(B_{хл}/B_{сбн})$). Далее интервальные вероятности принадлежности к 1-му классу сопоставляются со средними интервальными значениями $B_{хл}/B_{сбн}$. По величинам $P(B_{хл}/B_{сбн})$ и $B_{хл}/B_{сбн}$ высчитывается парный коэффициент корреляции r и строится уравнение регрессии. Последующая корректировка построенных моделей

выполняется из условия, что среднее значение вероятностей для территорий нефтяных месторождений должно быть больше 0,5, а для территорий за пределами нефтяных месторождений меньше 0,5. Таким образом, линейные модели, построенные для данной толщи, позволили оценить индивидуальную информативность каждого геохимического показателя в отношении нефтегазоносности. Пример графического изображения построенной линейной модели по показателю $B_{хл}/B_{сб}$ приведен на рис. 1.

Рис. 1. Зависимость $P(B_{хл}/B_{сб})$ от $B_{хл}/B_{сб}$

Отсюда видно, что при повышении значений $B_{хл}/B_{сб}$ от 0 до 21 доли ед. величина $P(B_{хл}/B_{сб})$ увеличивается от 0,494 до 0,617.

Построение многомерных моделей

На следующем шаге прогнозных оценок авторами работы был обоснован комплексный критерий, учитывающий построенные линейные индивидуальные вероятностные модели каждого геохимического показателя для данного комплекса. Критерий был вычислен по следующей формуле:

$$P_{\text{комп}} = \frac{\prod P_{\text{ин}}}{\prod P_{\text{ин}} + \prod (1 - P_{\text{ин}})},$$

Таблица 3

Исследование сочетаний вероятности принадлежности к классу территорий в пределах контуров месторождений при разных значениях m

Вероятность	Сочетание вероятностей при различных m								
	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$P(НО)$					+	+	+	+	+
$P(C_{орг})$								+	+
$P(ОВ)$									+
$P(B_{пэ})$	+	+	+	+	+	+	+	+	+
$P(B_{хл})$				+	+	+	+	+	+
$P(B_{сб})$	+	+	+	+	+	+	+	+	+
$P(ГумК)$							+	+	+
$P(B_{хл}/B_{сб})$			+	+	+	+	+	+	+
$P(\beta)$							+	+	+
$P(K_k)$		+	+	+	+	+	+	+	+
Среднее значение вероятности по территориям в пределах контуров месторождений	0,515	0,529	0,531	0,532	0,533	0,532	0,532	0,532	0,532
Среднее значение вероятности по территориям за пределами контуров месторождений	0,486	0,470	0,470	0,468	0,469	0,468	0,467	0,467	0,467
$\frac{t}{p}$	$\frac{4,267}{0,00002}$	$\frac{4,3953}{0,000017}$	$\frac{4,6082}{0,000007}$	$\frac{4,7188}{0,000004}$	$\frac{4,7591}{0,000003}$	$\frac{4,7792}{0,000003}$	$\frac{4,7542}{0,000003}$	$\frac{4,7511}{0,000004}$	$\frac{4,7445}{0,000004}$

где $P_{ин}$ – соответственно индивидуальные вероятности $P(K_k)$, $P(НО)$, $P(C_{орг})$, $P(ОВ)$, $P(B_{пэ})$, $P(B_{хл})$, $P(ГумК)$, $P(B_{хл}/B_{сб})$, $P(\beta)$, а Π – их произведение.

При вычислении комплексного критерия $P_{комп}$ для верхнедевонско-турнейского нефтегазового комплекса использовалось такое сочетание вероятностей m , при котором средние значения вероятностей $P_{комп}$ в группах наиболее статистически различны (табл. 3).

Выбранные таким образом сочетания вероятностей, вычисленные по геохимическим показателям от $m = 2$ до $m = 10$, приведены в табл. 3. Из табл. 3 видно, что на первом шаге построения модели, при $m = 2$, были использованы значения $P(B_{пэ})$ и $P(B_{сб})$, при $m = 3$ в модель была дополнительно включена вероятность $P(K_k)$, далее последовательно включались в построение модели $P(B_{хл}/B_{сб})$, $P(B_{хл})$, $P(НО)$, $P(ГумК)$, $P(\beta)$, $P(C_{орг})$, $P(ОВ)$.

Зависимость значений $P_{комп}^m$ от m приведено на рис. 2.

Отсюда видно, что при повышении m от 1 до 6 среднее значение $P_{комп}^m$ для территорий в пределах контуров месторождений закономерно растет от 0,515 до 0,533, затем при $m > 6$ остается

постоянным. Для территорий за пределами контуров месторождений наблюдается тенденция уменьшения значений $P_{комп}^m$ при повышении m . Для разработки методики вычисления значений $P_{комп}^m$ по данным отложениям с используемыми показателями будем использовать значения $P_{комп}^m$ при $m = 7$. Это определяется тем, что при данном сочетании имеется максимальное значение критерия t .

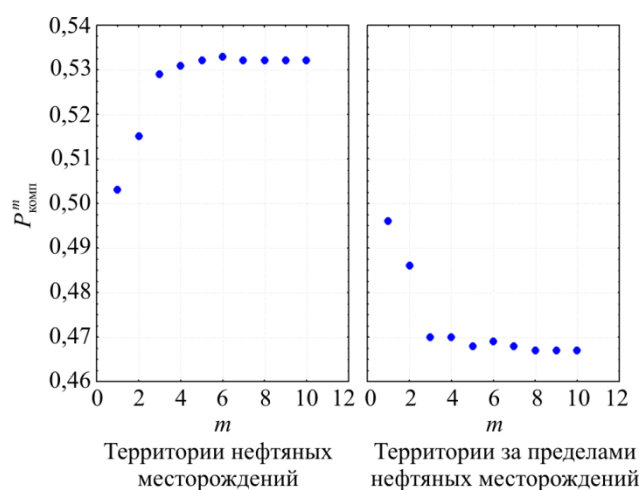
Рис. 2. Зависимость значений $P_{комп}^m$ от m

Таблица 4

Корреляционная матрица

	$P_{\text{комп}}^m$	K_k	НО	$C_{\text{орг}}$	ОВ	$B_{\text{пэ}}$	$B_{\text{хл}}$	$B_{\text{сб}}$	ГумК	$B_{\text{хл}}/B_{\text{сб}}$	β
$P_{\text{комп}}^m$	1,00 1,00 1,00	-0,73* -0,85* 0,96*	0,28* 0,22 0,57*	-0,02 0,14 -0,30*	-0,02 0,13 -0,31*	0,50* 0,54* 0,07	0,29* 0,35* -0,52*	0,37* 0,35* -0,22	-0,19 -0,00 -0,37*	0,24 0,51* -0,33*	0,09 0,42* -0,39
K_k		1,00 1,00 1,00	-0,53* -0,45* -0,68*	0,16 -0,09 0,33*	0,17 -0,08 0,34*	0,16 0,14 0,25	0,23 0,06 0,63*	0,21 0,08 0,42*	0,10 -0,01 0,26*	0,03 -0,21 0,42*	0,25* -0,11 0,46
НО			1,00 1,00 1,00	0,14 0,25 -0,01	0,14 0,25 -0,02	-0,22 -0,24 -0,15	-0,10 0,04 -0,62*	-0,25 -0,20 -0,52*	0,08 0,30 -0,04	-0,12 0,05 -0,38*	-0,39* -0,08 -0,52
$C_{\text{орг}}$				1,00 1,00 1,00	1,00* 1,00* 1,00*	0,10 -0,04 0,41*	0,28* 0,65* 0,26	0,15 0,17 0,43*	0,11 0,26 0,57	0,02 -0,05 -0,05	-0,11 -0,11 -0,21
ОВ					1,00 1,00 1,00	0,10 0,04 0,41*	0,28* 0,65* 0,26	0,15 0,17 0,43*	0,11 0,26 0,57	0,02 -0,05 -0,05	-0,11 -0,11 -0,21
$B_{\text{пэ}}$						1,00 1,00 1,00	0,45* 0,39* 0,06	0,64* -0,06 0,51*	-0,09 0,03 0,04	0,31* 0,64 -0,02	0,33* 0,48* -0,05
$B_{\text{хл}}$							1,00 1,00 1,00	0,41* 0,19 0,49*	0,00 0,31 0,22	0,26* 0,34 0,47*	0,32* 0,42* 0,57*
$B_{\text{сб}}$								1,00 1,00 1,00	0,01 0,13 0,15	-0,03 -0,19 -0,02	0,15 -0,03 0,01
ГумК									1,00 1,00 1,00	-0,05 -0,08 -0,04	-0,11 -0,07 0,11
$B_{\text{хл}}/B_{\text{сб}}$										1,00 1,00 1,00	0,66* 0,90* 0,75*
β											1,00 1,00 1,00

Примечание: верхняя строка – все данные, средняя строка – контур месторождений, нижняя строка – за контуром месторождений; * – статистически значимые корреляционные связи.

Необходимость построения многомерной модели связана с тем, что изучаемые показатели различно влияют на комплексный критерий $P_{\text{комп}}^m$ как по силе, так и по направлению.

Исследуем влияние всех изучаемых показателей путем вычисления коэффициентов корреляции r , определенных в трех вариантах: первый вариант – по всем данным, второй – по данным геохимических проб, отобранных в пределах контуров месторождений, третий – за пределами контуров месторождений. Результаты расчетов значений r приведены в табл. 4.

Отсюда видно, что значения коэффициентов корреляции r между изучаемыми показателями различные. Например, корреляция между $P_{\text{комп}}^m$ и β для проб, отобранных в пределах контуров

месторождений, имеет статистически значимую положительную связь, тогда как для проб, отобранных за пределами контуров месторождений, она также статистически значимая, но обратная. Различия по направленности и тесноте корреляций для изучаемых двух классов наблюдаются между $P_{\text{комп}}^m$ и другими геохимическими показателями (см. табл. 4). Также необходимо отметить, что между показателями, формирующими значения $P_{\text{комп}}^m$ для двух изучаемых классов, наблюдаются различные статистические связи. Например, корреляция между $B_{\text{пэ}}$ и $B_{\text{хл}}$ для проб, отобранных в пределах контуров месторождений, имеет статистически значимую положительную связь, тогда как для проб, отобранных за пределами контуров месторождений, она практически отсутствует.

Все эти данные показывают, что наблюдаются статистические отличия как в распределениях, так и в корреляциях для проб, отобранных в пределах контуров месторождений и за их контурами. Следовательно, нефтегазоносность Висимской моноклинали зависит от геохимических характеристик РОВ верхнедевонско-турнейских отложений. По мнению авторов данной работы, по этим показателям можно произвести зональную нефтегазоносность изучаемой территории.

Для учета многообразия различных, и в ряде случаев разнонаправленных, влияний изучаемых показателей на $P_{\text{комп}}^{m=7}$ построим многомерные модели с помощью пошагового регрессионного анализа. Расчет регрессионных коэффициентов в разрабатываемой модели выполним при помощи метода наименьших квадратов.

Под регрессионным анализом понимается статистический метод исследования зависимостей между зависимой переменной Y и одной или несколькими независимыми

переменными X_1, X_2, X_p . Зависимый признак в регрессионном анализе называется результирующим, независимый – факторным. Обычно на зависимую переменную действуют сразу несколько факторов. Совокупное влияние всех независимых факторов на зависимую переменную учитывается благодаря множественной регрессии.

В общем случае множественную регрессию оценивают параметры линейного уравнения вида $Y = a + b_1X_1 + b_2X_2 + \dots + b_pX_p$.

В данном уравнении регрессионные коэффициенты (b -коэффициенты) представляют независимые вклады каждой независимой переменной в предсказание зависимой переменной. Линия регрессии выражает наилучшее предсказание зависимой переменной (Y) по независимым переменным (X_n).

В нашем случае в качестве зависимого признака выступает $P_{\text{комп}}^{гх-m=7}$, а в качестве независимых факторов – значения $K_{\text{к}}$, $НО$, $C_{\text{орг}}$, $ОВ$, $B_{\text{пэ}}$, $B_{\text{хл}}$, $ГумК$, $B_{\text{хл}}/B_{\text{сб}}$, β .

Таблица 5

Значения $P_{\text{комп}}^{гх}$

Площадь	№ скважины	Возраст	Кол-во проб	$P_{\text{комп}}^{гх}$ среднее	$P_{\text{комп}}^{гх}$ min	$P_{\text{комп}}^{гх}$ max
Висим-Истокская	33	$D_3f_2-C_1t$	10	$0,458 \pm 0,164$	0,369	0,887
Висимская	11	$D_3f_2-C_1t$	7	$0,408 \pm 0,043$	0,379	0,502
Висимская	13	$D_1-D_3f_1$	21	$0,445 \pm 0,067$	0,373	0,574
Висимская	14	$D_3f_2-C_1t$	9	$0,467 \pm 0,087$	0,379	0,646
Висимская	15	$D_3f_2-C_1t$	21	$0,536 \pm 0,111$	0,381	0,695
Висимская	16	$D_3f_2-C_1t$	17	$0,556 \pm 0,157$	0,397	0,972
Висимская	23	$D_3f_2-C_1t$	2	$0,384 \pm 0,008$	0,378	0,390
Гаринская	62	$D_1-D_3f_1$	27	$0,552 \pm 0,012$	0,540	0,581
Дмитриевская	2	$D_3f_2-C_1t$	7	$0,545 \pm 0,003$	0,542	0,551
Дмитриевская	5	$D_3f_2-C_1t$	3	$0,384 \pm 0,015$	0,369	0,401
Инвинская	71	$D_3f_2-C_1t$	6	$0,387 \pm 0,016$	0,370	0,413
Карнашевская	90	$D_3f_2-C_1t$	7	$0,378 \pm 0,021$	0,363	0,410
Касибская	15	$D_3f_2-C_1t$	4	$0,411 \pm 0,013$	0,393	0,421
Касибская	2	$D_3f_2-C_1t$	2	$0,390 \pm 0,025$	0,372	0,409
Касибская	3	$D_1-D_3f_1$	6	$0,573 \pm 0,018$	0,548	0,592
Купросская	9	$D_1-D_3f_1$	13	$0,552 \pm 0,007$	0,546	0,562
Майкорская	13	$D_3f_2-C_1t$	6	$0,794 \pm 0,212$	0,373	0,982
Назаровская	Дуринская	$D_3f_2-C_1t$	16	$0,385 \pm 0,022$	0,346	0,442
Назаровская	Иважинская	$D_1-D_3f_1; D_3f_2-C_1t$	30	$0,434 \pm 0,077$	0,366	0,561
Нылобско-Урайская	17	$D_1-D_3f_1; D_3f_2-C_1t$	14	$0,434 \pm 0,086$	0,369	0,548
Родниковская	12	$D_3f_2-C_1t$	1	0,369		
Романшорская	1	$D_3f_2-C_1t$	16	$0,552 \pm 0,060$	0,372	0,696
Сенькинская	Белопашнинская	$D_1-D_3f_1$	4	$0,553 \pm 0,015$	0,533	0,576
Слущкая	279	$D_1-D_3f_1; D_3f_2-C_1t$	18	$0,423 \pm 0,062$	0,375	0,558
Тукачевская	3	$D_1-D_3f_1$	10	$0,560 \pm 0,015$	0,546	0,584
Усть-Кондасская	3	$D_3f_2-C_1t$	3	$0,489 \pm 0,090$	0,385	0,543
Чермозская	3	$D_1-D_3f_1; D_3f_2-C_1t$	14	$0,585 \pm 0,043$	0,544	0,691
Шатовская	287	$D_1-D_3f_1; D_3f_2-C_1t$	22	$0,524 \pm 0,110$	0,371	0,808
Шатовская	293	$D_3f_2-C_1t$	9	$0,412 \pm 0,066$	0,374	0,586

Таблица 6

Распределение значений $P_{\text{комп}}^{\text{ГХ}}$ среднее, $P_{\text{комп}}^{\text{ГХ}}$ min, $P_{\text{комп}}^{\text{ГХ}}$ max

$P_{\text{комп}}^{\text{ГХ}}$	Интервалы варьирования $P_{\text{комп}}^{\text{ГХ}}$									
	0,0–0,1	0,1–0,2	0,2–0,3	0,3–0,4	0,4–0,5	0,5–0,6	0,6–0,7	0,7–0,8	0,8–0,9	0,9–1,0
Среднее	–	–	–	0,241	0,351	0,373	–	0,035	–	–
Минимальное	–	–	–	0,758	–	0,242	–	–	–	–
Максимальное	–	–	–	0,068	0,208	0,448	0,138	–	0,069	0,069

Построенная модель по геохимическим характеристикам РОВ верхнедевонско-турнейских отложений имеет следующий вид:

$$P_{\text{комп}}^{\text{ГХ}} = 2,952 - 2,26761K_{\text{к}} + 2,26761B_{\text{пз}} + \\ + 0,16153B_{\text{хл}} + 0,22506B_{\text{сб}} + \\ + 0,000742B_{\text{хл}}/B_{\text{сб}} - 0,45018Г_{\text{умк}} - \\ - 0,00005НО + 0,00005\beta + 0,0001ОВ$$

при $R = 0,999$, $p < 0,0000$, ошибка прогноза равна 0,00311.

Формирование очередности включения показателей в уравнения регрессии происходило в последовательности показателей, приведенных в уравнении. На первом шаге формирования уравнения был включен показатель $K_{\text{к}}$ при $R = 0,726$; далее величина R изменялась следующим образом: 0,956; 0,981; 0,991; 0,994; 0,996; 0,997; 0,998; 0,999.

С помощью данной модели вычислены значения $P_{\text{комп}}^{\text{ГХ}}$ по всем геохимическим пробам, отобранным из данных отложений. Информация о номерах скважин, из которых были отобраны пробы, возрасте, их количестве и значениях $P_{\text{комп}}^{\text{ГХ}}$ приведена в табл. 5.

По данным 29 скважин и 322 определений показателей РОВ среднее значение $P_{\text{комп}}^{\text{ГХ}} = 0,480 \pm 0,094$, оно варьируется от 0,346 до 0,982.

По данным табл. 5 построены плотности распределений значений $P_{\text{комп}}^{\text{ГХ}}$ среднее, $P_{\text{комп}}^{\text{ГХ}}$ min, $P_{\text{комп}}^{\text{ГХ}}$ max, приведенные в табл. 6.

Отсюда видно, что значения $P_{\text{комп}}^{\text{ГХ}}$ во всех трех случаях изменяются незначительно. Например, вероятность $P_{\text{комп}}^{\text{ГХ}}$ среднее в большинстве случаев имеет значения в диапазоне 0,4–0,6 (0,724). По средним значениям в скважинах $P_{\text{комп}}^{\text{ГХ}}$ была построена схема распределения вероятности нефтегазоносности для территории Висимской моноклинали (рис. 3).

Заключение

В результате выполненных исследований установлено, что максимально благоприятные геохимические условия формирования

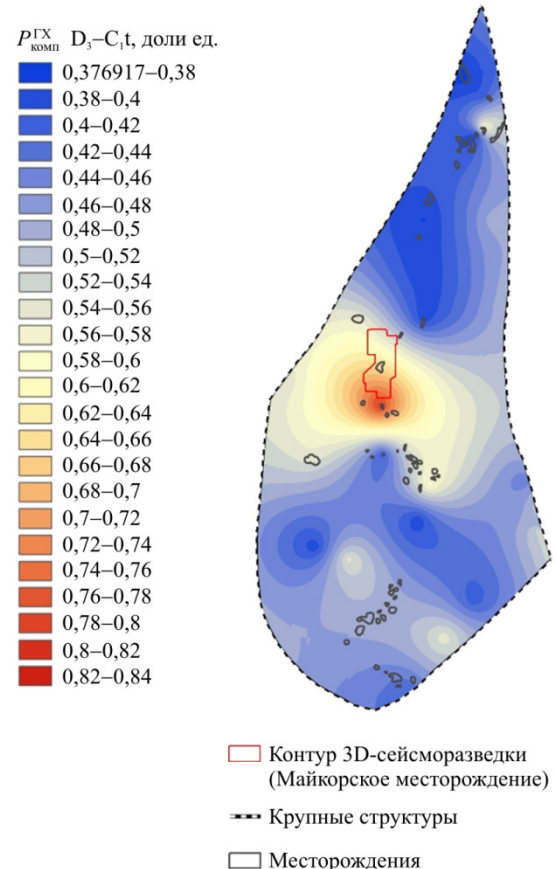


Рис. 3. Схема распределения вероятности нефтегазоносности по геохимическим и битуминологическим характеристикам для территории Висимской моноклинали

нефтегазоносности за счет РОВ наблюдаются в центральной части Висимской моноклинали, в пределах Майкорского месторождения и территории вокруг него, ограниченной изовероятностью больше 0,5. Также определенный интерес с точки зрения зональной нефтегазоносности представляют участки на юге Висимской моноклинали на территориях, где $P_{\text{комп}}^{\text{ГХ}} > 0,5$. Вероятно, определенный интерес имеют территории на севере Висимской моноклинали. Данная схема будет использоваться в дальнейших оценках зональной нефтегазоносности территории Висимской моноклинали.

Библиографический список

1. Галкин В.И., Растегаев А.В., Галкин С.В. Вероятностно-статистическая оценка нефтегазоносности локальных структур / УрО РАН. – Екатеринбург, 2001. – 277 с.
2. Козлова И.А., Галкин В.И., Ванцева И.В. К оценке перспектив нефтегазоносности Соликамской депрессии с помощью геолого-геохимических характеристик нефтегазоматеринских пород // Нефтепромышленное дело. – 2010. – № 7. – С. 20–23.
3. Кривошеков С.Н., Галкин В.И., Носов М.А. Оценка нелокализованных ресурсов нефти территории Пермского края при помощи системы элементарных участков // Нефтяное хозяйство. – 2014. – № 6. – С. 9–11.
4. Кривошеков С.Н., Козлова И.А., Санников И.В. Оценка перспектив нефтегазоносности западной части Соликамской депрессии на основе геохимических и геодинамических данных // Нефтяное хозяйство. – 2014. – № 6. – С. 12–15.
5. Геохимические показатели РОВ пород как критерии оценки перспектив нефтегазоносности / В.И. Галкин, И.А. Козлова, О.А. Мелкишев, М.А. Шадрин // Нефтепромышленное дело. – 2013. – № 9. – С. 28–31.
6. Козлова И.А., Мелкишев О.А. Прогнозная оценка распределения нелокализованных ресурсов нефти в девонском терригенном комплексе на территории Пермского края // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. – 2017. – № 2. – С. 4–8.
7. Галкин В.И., Козлова И.А. Разработка вероятностно-статистических регионально-зональных моделей прогноза нефтегазоносности по данным геохимических исследований верхнедевонских карбонатных отложений // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. – 2016. – № 6. – С. 40–45.
8. Оценка перспектив нефтегазоносности юга Пермского края по органогеохимическим данным / В.И. Галкин, И.А. Козлова, С.Н. Кривошеков, М.А. Носов, Н.С. Колтырина // Нефтепромышленное дело. – 2015. – № 7. – С. 32–35.
9. Решение региональных задач прогнозирования нефтеносности по данным геолого-геохимического анализа рассеянного органического вещества пород доманикового типа / В.И. Галкин, И.А. Козлова, С.Н. Кривошеков, М.А. Носов // Нефтяное хозяйство. – 2015. – № 1. – С. 21–23.
10. К обоснованию построения моделей зонального прогноза нефтегазоносности для нижне-средневизейского комплекса Пермского края / В.И. Галкин, И.А. Козлова, С.Н. Кривошеков, О.А. Мелкишев // Нефтяное хозяйство. – 2015. – № 8. – С. 32–35.
11. Галкин В.И., Жуков Ю.А., Шишкин М.А. Применение вероятностных моделей для локального прогноза нефтегазоносности / УрО РАН. – Екатеринбург, 1990. – 108 с.
12. Зональный прогноз нефтегазоносности юрских отложений в пределах территории деятельности ТПП «Когалымнефтегаз» / В.В. Бродягин, А.А. Потрясов, К.Г. Скачек, А.Н. Шайхутдинов // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. – 2008. – № 8. – С. 31–35.
13. Галкин В.И., Шайхутдинов А.Н. О возможности прогноза нефтегазоносности юрских отложений вероятностно-статистическими методами (на примере территории деятельности ТПП «Когалымнефтегаз») // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. – 2009. – № 6. – С. 11–14.
14. Галкин В.И., Шайхутдинов А.Н. Построение статистических моделей для прогноза дебитов нефти по верхнеюрским отложениям Когалымского региона // Нефтяное хозяйство. – 2010. – № 1. – С. 52–54.
15. Галкин В.И., Кривошеков С.Н. Построение матрицы элементарных ячеек при прогнозе нефтегазоносности вероятностно-статистическими методами на территории Пермского края // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. – 2008. – № 8. – С. 20–23.
16. Галкин В.И., Кривошеков С.Н. Обоснование направлений поисков месторождений нефти и газа в Пермском крае // Научные исследования и инновации. – Пермь, 2009. – Т. 3, № 4. – С. 3–7.
17. 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 // Нефтепромышленное дело. – 2010. – № 7. – С. 12–17.
18. Прогнозная оценка нефтегазоносности структур на территории Соликамской депрессии / В.И. Галкин, А.В. Растегаев, И.А. Козлова, И.В. Ванцева, С.Н. Кривошеков, В.Л. Воеводкин // Нефтепромышленное дело. – 2010. – № 7. – С. 4–7.
19. Додевонские отложения Пермского Прикамья как одно из перспективных направлений геолого-разведочных работ / Т.В. Белоконов, В.И. Галкин, И.А. Козлова, С.Е. Пашкова // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. – 2005. – № 9. – С. 24–28.
20. Путилов И.С. Разработка технологий комплексного изучения геологического строения и размещения месторождений нефти и газа. – Пермь: Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2014. – 285 с.
21. О возможности прогнозирования нефтегазоносности фаменских отложений с помощью построения вероятностно-статистических моделей / В.И. Галкин, И.А. Козлова, С.Н. Кривошеков, Е.В. Пятунина, С.Н. Пестова // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. – 2007. – № 10. – С. 22–27.
22. Галкин В.И., Соловьев С.И. Районирование территории Пермского края по степени перспективности приобретения нефтяных участков недр // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Геология. Нефтегазовое и горное дело. – 2015. – № 16. – С. 14–24. DOI: 10.15593/224-9923/2015.16.2
23. Соснин Н.Е. Разработка статистических моделей для прогноза нефтегазоносности (на примере терригенных девонских отложений Северо-Татарского свода) // Вестник Пермского национального исследовательского политехни-

ческого университета. Геология. Нефтегазовое и горное дело. – 2012. – № 5. – С. 16–25.

24. Галкин В.И., Соснин Н.Е. Разработка геолого-математических моделей для прогноза нефтегазонасности сложнопостроенных структур в девонских терригенных отложениях // Нефтяное хозяйство. – 2013. – № 4. – С. 28–31.

25. Дементьев Л.Ф. Математические методы и ЭВМ в нефтегазовой геологии. – М.: Недра, 1987. – 264 с.

26. Давыденко А.Ю. Вероятностно-статистические методы в геолого-геофизических приложениях. – Иркутск, 2007. – 29 с.

27. Михалеви́ч И.М. Применение математических методов при анализе геологической информации (с использованием компьютерных технологий). – Иркутск, 2006. – 115 с.

28. Андрейко С.С. Разработка математической модели метода прогнозирования газодинамических явлений по геологическим данным для условий Верхнекамского месторождения калийных солей // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Геология. Нефтегазовое и горное дело. – 2016. – № 21. – С. 345–353. DOI: 10.15593/224-9923/2016.21.6

29. Девис Дж. Статистика и анализ геологических данных. – М.: Мир, 1977. – 353 с.

30. Поморский Ю.Л. Методы статистического анализа экспериментальных данных: монография. – Л., 1960. – 174 с.

31. Черепанов С.С. Комплексное изучение трещиноватости карбонатных залежей методом Уоррена – Рута с использованием данных сейсмофациального анализа (на примере турнефаменской залежи Озерного месторождения) // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Геология. Нефтегазовое и горное дело. – 2015. – № 14. – С. 6–12. DOI: 10.15593/224-9923/2015.14.1

32. Галкин В.И., Пономарева И.Н., Черепанов С.С. Разработка методики оценки возможностей выделения типов коллекторов по данным кривых восстановления давления по геолого-промысловым характеристикам пласта // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Геология. Нефтегазовое и горное дело. – 2015. – № 17. – С. 32–40. DOI: 10.15593/224-9923/2015.17.4

33. Черепанов С.С., Мартошев Д.А., Пономарева И.Н. Оценка фильтрационно-емкостных свойств трещиноватых карбонатных коллекторов месторождений Предуральяского краевого прогиба // Нефтяное хозяйство. – 2013. – № 3. – С. 62–65.

34. Галкин В.И., Куницких В.И. Статистическое моделирование расширяющегося тампонажного состава // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Геология. Нефтегазовое и горное дело. – 2017. – Т. 16, № 3. – С. 215–244. DOI: 10.15593/224-9923/2017.3.2

35. Галкин В.И., Пономарева И.Н., Репина В.А. Исследование процесса нефтеизвлечения в коллекторах различного типа пустотности с использованием многомерного статистического анализа // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Геология. Нефтегазовое и горное дело. – 2016. – № 19. – С. 145–154. DOI: 10.15593/224-9923/2016.19.5

36. Кривошеков С.Н., Галкин В.И. Построение матрицы элементарных ячеек при прогнозе нефтегазонасности вероятностно-статистическими методами на территории Пермского края // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. – 2008. – № 8. – С. 20–23.

37. Иванов С.А., Растегаев А.В., Галкин В.И. Анализ результатов применения ГРП (на примере Повховского месторождения нефти) // Нефтепромысловое дело. – 2010. – № 7. – С. 54–58.

38. Кривошеков С.Н., Галкин В.И., Волкова А.С. Разработка вероятностно-статистической методики прогноза нефтегазонасности структур // Нефтепромысловое дело. – 2010. – № 7. – С. 28–31.

39. Houze O., Viturat D., Fjaere O.S. Dinamic data analysis. – Paris: Kappa Engineering, 2008. – 694 p.

40. Van Golf-Racht T.D. Fundamentals of fractured reservoir engineering / Elsevier scientific publishing company. – Amsterdam – Oxford – New York, 1982. – 709 p.

41. Horne R.N. Modern well test analysis: A computer Aided Approach. – 2nd ed. – Palo Alto: PetrowayInc, 2006. – 257 p.

42. Johnson N.L., Leone F.C. Statistics and experimental design. – New York – London – Sydney – Toronto, 1977. – 606 p.

43. Montgomery D.C., Peck E.A., Introduction to liner regression analysis. – New York: John Wiley & Sons, 1982. – 504 p.

44. Darling T. Well logging and formation evaluation. – GardnersBooks, 2010. – 336 p.

45. Watson G.S. Statistic on spheres. – New York: John Wiley and Sons, Inc., 1983. – 238 p.

46. Yarus J.M. Stochastic modeling and geostatistics // AAPG. – Tulsa, Oklahoma, 1994. – 231 p.

References

1. Galkin V.I., Rastegaev A.V., Galkin S.V. Veroyatnostno-statisticheskaya otsenka neftegazonosnosti lokalnykh struktur [Probabilistic-statistical evaluation of the gas content of local structures]. Ekaterinburg, 2001, 277 p.

2. Kozlova I.A., Galkin V.I., Vantseva I.V. K otsenke perspektiv neftegazonosnosti Solikamskoy depressii s pomoshchyu geologo-geokhimicheskikh kharakteristik neftegazomaterinskiykh porod [On the assessment of the prospects for the oil and gas potential of the Solikamsk Depression using the geological and geochemical

characteristics of the oil and gas source rocks]. *Oilfield engineering*, 2010, no.7, pp.20-23.

3. Krivoshechekov S.N., Galkin V.I., Nosov M.A. Otsenka nelokalizovannykh resursov nefiti territorii Permskogo kraya pri pomoshchi sistemy elementarnykh uchastkov [Evaluation of non-localized oil resources in Perm Region by a system of elementary sections]. *Oil industry*, 2014, no.6, pp.9-11.

4. Krivoshechekov S.N., Kozlova I.A., Sannikov I.V. Otsenka perspektiv neftegazonosnosti zapadnoy chasti

Solikamskoy depressii na osnove geokhimicheskikh i geodinamicheskikh dannykh [Estimate of the petroleum potential of the western Solikamsk depression based on geochemical and geodynamic data]. *Oil industry*, 2014, no.6, pp.12-15.

5. Galkin V.I., Kozlova I.A., Melkishev O.A., Shadrina M.A. Geokhimicheskie pokazateli ROV porod kak kriterii otsenki perspektiv neftegazonosnosti [Geochemical indicators of rock DOM as criteria for evaluating oil and gas potential]. *Oilfield engineering*, 2013, no.9, pp.28-31.

6. Kozlova I.A., Melkishev O.A. Prognoznaia otsenka raspredeleniia nelokalizovannykh resursov nefti v devonskom terrigenom komplekse na territorii Permskogo kraia [Predictive estimation of non-localized oil resources distribution in the Devonian terrigenous complex in Perm region]. *Geologiya, geofizika i razrabotka neftyanykh i gazovykh mestorozhdeniy*, 2017, no.2, pp.4-8.

7. Galkin V.I., Kozlova I.A. Razrabotka veroyatnostno-statisticheskikh regionalno-zonalnykh modelei prognoza neftegazonosnosti po dannym geokhimicheskikh issledovaniy verkhnedevonskikh karbonatnykh otlozheniy [Development of probabilistic-statistical regional-zoning models of oil and gas potential prediction based on the data of geochemical studies of the Upper Devonian carbonate deposits]. *Geologiya, geofizika i razrabotka neftyanykh i gazovykh mestorozhdeniy*, 2016, no.6, pp.40-45.

8. Galkin V.I., Kozlova I.A., Krivoshchekov S.N., Nosov M.A., Kolyrina N.S. Otsenka perspektiv neftegazonosnosti iuga Permskogo kraia po organo-geokhimicheskim dannym [Estimation of petroleum potential prospects in the south of Perm territory on the basis of organic-geochemical data]. *Oilfield engineering*, 2015, no.7, pp.32-35.

9. Galkin V.I., Kozlova I.A., Krivoshchekov S.N., Nosov M.A. Reshenie regionalnykh zadach prognozirovaniya neftenosnosti po dannym geologo-geokhimicheskogo analiza rasseyannogo organicheskogo veshchestva porod domanikovogo tipa [Solutions to regional problems of forecasting oil bearing according to geological and geochemical analysis of dispersed organic matter of Domanic type rocks]. *Oil industry*, 2015, no.1, pp.21-23.

10. Galkin V.I., Kozlova I.A., Krivoshchekov S.N., Melkishev O.A. K obosnovaniyu postroeniya modeley zonalnogo prognoza neftegazonosnosti dlya nizhne-srednevizeyskogo kompleksa Permskogo kraia [On the justification of the construction of models for oil and gas potential area forecast Visian deposits of Perm region]. *Oil industry*, 2015, no.8, pp.32-35.

11. Galkin V.I., Zhukov Yu.A., Shishkin M.A. Primenenie veroyatnostnykh modeley dlya lokalnogo prognoza neftegazonosnosti [Application of probabilistic models for local prediction of oil and gas potential]. Ekaterinburg, URo RAN, 1990, 108 p.

12. Brodiagin V.V., Potriasov A.A., Skachek K.G., Shaikhutdinov A.N. Zonalnyi prognoz neftegazonosnosti iurskikh otlozheniy v predelakh territorii deyatelnosti tpp "Kogalymneftegaz" [Zonal forecast of the oil and gas potential of the Jurassic sediments within the territory of activity of the CCI "Kogalymneftegas". *Geologiya, geofizika i razrabotka neftyanykh i gazovykh mestorozhdeniy*, 2008, no.8, pp.31-35.

13. Galkin V.I., Shaykhutdinov A.N. O vozmozhnosti prognoza neftegazonosnosti yurskikh otlozheniy veroyatnostno-statisticheskimi metodami (na primere

territorii deyatelnosti 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"). *Geologiya, geofizika i razrabotka neftyanykh i gazovykh mestorozhdeniy*, 2009, no.6, pp.11-14.

14. Galkin V.I., Shaikhutdinov A.N. Postroenie statisticheskikh modelei dlia prognoza debitov nefti po verkhneiurskim otlozheniyam Kogalymnskogo regiona [Development of statistical models for predicting the oil flow rates by example jurassic deposits of Kogalym region territory]. *Oil industry*, 2010, no.1, pp.52-54.

15. Galkin V.I., Krivoshchekov S.N. Postroenie matritsy elementarnykh yacheek pri prognoze neftegazonosnosti veroyatnostno-statisticheskimi metodami na territorii Permskogo kraia [Construction of a matrix of elementary cells in the prediction of oil and gas potential by probabilistic-statistical methods on the territory of the Perm Territory]. *Geologiya, geofizika i razrabotka neftyanykh i gazovykh mestorozhdeniy*, 2008, no.8, pp.20-23.

16. Galkin V.I., Krivoshchekov S.N. Obosnovanie napravlenii poiskov mestorozhdeniy nefti i gaza v Permskom krae [Justification of the direction of the search for oil and gas in the Perm region]. *Nauchnye issledovaniya i innovatsii*, Perm, 2009, vol.3, no.4, pp.3-7.

17. Galkin V.I., Kozlova I.A., Rastegaev A.V., Vantseva I.V., Krivoshchekov S.N., Voevodkin V.L. K metodike otsenki perspektiv neftegazonosnosti Solikamskoy depressii po kharakteristikam lokalnykh struktur [Estimation procedure of petroleum potential of solikamsk depression based on local structures parameters]. *Oilfield engineering*, 2010, no.7, pp.12-17.

18. Galkin V.I., Rastegaev A.V., Kozlova I.A., Vantseva I.V., Krivoshchekov S.N., Voevodkin V.L. prognoznaia otsenka neftegazonosnosti struktur na territorii Solikamskoy depressii [Probable estimation of oil content of structures in territory of Solikamsk depression]. *Oilfield engineering*, 2010, no.7, pp.4-7.

19. Belokon T.V., Galkin V.I., Kozlova I.A., Pashkova S.E. Dodevonskie otlozheniya Permskogo Prikamya kak odno iz perspektivnykh napravleniy geologo-razvedochnykh rabot [Pre-Devonian deposits of the Perm Prikamye as one of the promising areas of geological exploration]. *Geologiya, geofizika i razrabotka neftyanykh i gazovykh mestorozhdeniy*, 2005, no.9, pp.24-28.

20. Putilov I.S. Razrabotka tekhnologii kompleksnogo izucheniia geologicheskogo stroeniia i razmeshcheniia mestorozhdeniy nefti i gaza [Development of technologies for the integrated study of the geological structure and location of oil and gas fields]. Perm, Izdatel'stvo Permskogo natsional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta, 2014, 285 p.

21. Galkin V.I., Kozlova I.A., Krivoshchekov S.N., Pyatunina E.V., Pestova S.N. O vozmozhnosti prognozirovaniya neftegazonosnosti famenskikh otlozheniy s pomoshchyu postroeniya veroyatnostno-statisticheskikh modeley [On the possibility of predicting the petroleum potential of the Famennian sediments using the construction of probabilistic-statistical models]. *Geologiya, geofizika i razrabotka neftyanykh i gazovykh mestorozhdeniy*, 2007, no.10, pp.22-27.

22. Galkin V.I., Solov'ev S.I. Classification of Perm krai areas according to prospectivity for oil fields acquisition. *Perm*

Journal of Petroleum and Mining Engineering, 2015, no.16, pp.14-24. DOI: 10.15593/224-9923/2015.16.2

23. Sosnin N.E. Development of statistical models for predicting oil-and-gas content (on the example of terrigenous devonian sediments of North Tatar arch). *Perm Journal of Petroleum and Mining Engineering*, 2012, no.5, pp.16-25.

24. Galkin V.I., Sosnin N.E. Razrabotka geologo-matematicheskikh modelei dlia prognoza neftegazonosnosti slozhnopostroennykh struktur v devonskikh terrigennykh otlozheniyakh [Geological development of mathematical models for the prediction of oil and gas complex-built structures in the Devonian clastic sediments]. *Oil industry*, 2013, no.4, pp.28-31.

25. Dementev L.F. Matematicheskie metody i EVM v neftegazovoy geologii [Mathematical methods and computers in oil and gas geology]. Moscow, Nedra, 1987, 264 p.

26. Davydenko A.Yu. Veroyatnostno-statisticheskie metody v geologo-geofizicheskikh prilozheniyakh [Probabilistic-statistical methods in geological and geophysical applications]. Irkutsk, 2007, 29 p.

27. Mikhalevich I.M. Primenenie matematicheskikh metodov pri analize geologicheskoi informatsii (s ispolzovaniem kompiuternykh tekhnologii) [Use of mathematical methods in the analysis of geological information (using computer technology)]. Irkutsk, 2006, 115 p.

28. Andreiko S.S. Development of mathematical model of gas-dynamic phenomena forecasting method according to geological data in conditions of Verkhnekamskoie potash salt deposit. *Perm Journal of Petroleum and Mining Engineering*, 2016, no.21, pp.345-353. DOI: 10.15593/224-9923/2016.21.6

29. Devis Dzh. Statistika i analiz geologicheskikh dannykh [Statistics and analysis of geological data]. Moscow, Mir, 1977, 353 p.

30. Pomorskiy Yu.L. Metody statisticheskogo analiza eksperimentalnykh dannykh [Methods of statistical analysis of experimental data]. Leningrad, 1960, 174 p.

31. Cherepanov S.S. Integrated research of carbonate reservoir fracturing by Warren – Root method using seismic facies analysis (evidence from tournaisian-famennian deposit of Ozernoe field). *Perm Journal of Petroleum and Mining Engineering*, 2015, no.14, pp.6-12. DOI: 10.15593/224-9923/2015.14.1

32. Galkin V.I., Ponomareva I.N., Cherepanov S.S. Development of the methodology for evaluation of possibilities to determine reservoir types based on pressure build-up curves, geological and reservoir properties of the formation (case study of famen deposits of Ozernoe field). *Perm Journal of Petroleum and Mining Engineering*, 2015, no.17, pp.32-40. DOI: 10.15593/224-9923/2015.17.4

33. Cherepanov S.S., Martyushev D.A., Ponomareva I.N. Otsenka filtratsionno-emkostnykh svoystv treshchinovatykh

karbonatnykh kollektorov mestorozhdeniy Preduralskogo kraevogo progiba [Evaluation of filtration-capacitive properties of fractured carbonate reservoir of Predural'skogo edge deflection]. *Oil industry*, 2013, no.3, pp.62-65.

34. Galkin V.I., Kunitskikh A.A. Statistical modelling of expanding cement slurry. *Perm Journal of Petroleum and Mining Engineering*, 2017, vol.16, no.3, pp.215-244. DOI: 10.15593/224-9923/2017.3.2

35. Galkin V.I., Ponomareva I.N., Repina V.A. Study of oil recovery from reservoirs of different void types with use of multidimensional statistical analysis. *Perm Journal of Petroleum and Mining Engineering*, 2016, no.19, pp.145-154. DOI: 10.15593/224-9923/2016.19.5

36. Krivoshchekov S.N., Galkin V.I. Postroenie matritsy elementarnykh yacheek pri prognoze neftegazonosnosti veroyatnostno-statisticheskimi metodami na territorii Permskogo kraia [Construction of a matrix of elementary cells in the prediction of oil and gas potential by probabilistic-statistical methods on the territory of the Perm Territory]. *Geologiya, geofizika i razrabotka neftiannykh i gazovykh mestorozhdenii*, 2008, no.8, pp.20-23.

37. Ivanov S.A., Rastegaev A.V., Galkin V.I. Analiz rezultatov primeneniya GRP (na primere Povkhovskogo mestorozhdeniya nefti) [Analysis of results of applying formation hydraulic fracturing in povkhovsky oil field]. *Oilfield engineering*, 2010, no.7, pp.54-58.

38. Krivoshchekov S.N., Galkin V.I., Volkova A.S. Razrabotka veroyatnostno-statisticheskoi metodiki prognoza neftegazonosnosti struktur [Development of a probabilistic-statistical method for predicting the oil and gas potential of structures]. *Oilfield engineering*, 2010, no.7, pp.28-31.

39. Houze O., Viturat D., Fjaere O.S. Dinamie data analysis. Paris, Kappa Engineering, 2008, 694 p.

40. Van Golf-Racht T.D. Fundamentals of fractured reservoir engineering. Elsevier scientific publishing company. Amsterdam, Oxford, New York, 1982, 709 p.

41. Horne R.N. Modern well test analysis: A computer Aided Approach. 2nd ed. Palo Alto, PetrowayInc, 2006, 257 p.

42. Johnson N.L., Leone F.C. Statistics and experimental design. New York, London, Sydney, Toronto, 1977, 606 p.

43. Montgomery D.C., Peck E.A., Introduction to liner regression analysis. New York, John Wiley & Sons, 1982, 504 p.

44. Darling T. Well logging and formation evaluation. GardnersBooks, 2010, 336 p.

45. Watson G.S. Statistic on spheres. New York, John Wiley and Sons, Inc., 1983, 238 p.

46. Yarus J.M. Stochastic modeling and geostatistics. AAPG. Tulsa, Oklahoma, 1994, 231 p.

Просьба ссылаться на эту статью в русскоязычных источниках следующим образом:

Галкин В.И., Кошкин К.А., Мелкисhev О.А. Обоснование зональной нефтегазосности территории Висимской моноклинали по геохимическим критериям // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Геология. Нефтегазовое и горное дело. – 2018. – Т.18, №1. – С.4–15. DOI: 10.15593/2224-9923/2018.3.1

Please cite this article in English as:

Galkin V.I., Koshkin K.A., Melkishev O.A. The justification of zonal oil and gas potential of the territory of Visimskaya monocline by geochemical criteria. *Perm Journal of Petroleum and Mining Engineering*, 2018, vol.18, no.1, pp.4-15. DOI: 10.15593/2224-9923/2018.3.1