

УДК 550.812.1; 553.632; 553.98

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВЕРОЯТНОСТНЫХ МОДЕЛЕЙ НЕФТЕГАЗОНОСНОСТИ В ЦЕЛЯХ РАНЖИРОВАНИЯ ПЕРСПЕКТИВНЫХ СТРУКТУР, НАХОДЯЩИХСЯ В ПРЕДЕЛАХ ВЕРХНЕКАМСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ КАЛИЙНО-МАГНИЕВЫХ СОЛЕЙ

Галкин Владислав Игнатьевич<sup>1</sup>,  
vgalkin@pstu.ru

Мелкишев Олег Александрович<sup>1</sup>,  
melkishev@pstu.ru

Варушкин Станислав Владимирович<sup>2,1</sup>,  
geologist-07@mail.ru

<sup>1</sup> Пермский национальный исследовательский политехнический университет,  
Россия, 614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29.

<sup>2</sup> ООО «ЛУКОЙЛ-ПЕРМЬ»,  
Россия, 614990, г. Пермь, ул. Ленина, 62.

**Актуальность работы.** За последние годы в Пермском крае произошли существенные изменения территориального распределения запасов и ресурсов углеводородов. В настоящее время на территории платформенной части Пермского края открыты и разведаны все крупные и средние месторождения нефти и газа, тогда как в пределах Соликамского нефтегазоносного района Волго-Уральской нефтегазоносной провинции возможность открытия таких месторождений реально существует, особенно на территории Верхнекамского месторождения калийно-магниевого солей. Выбор объектов и определение очередности их ввода в поисково-оценочное бурение играют важное значение для успешности проведения геологоразведочных работ.

**Цель:** определить первоочередные объекты для постановки поисково-оценочного бурения на основе статистических моделей прогноза нефтегазоносности.

**Объекты:** выявленные и подготовленные нефтегазоперспективные структуры Соликамского нефтегазоносного района Волго-Уральской нефтегазоносной провинции, находящиеся в контуре Верхнекамского месторождения калийно-магниевого солей.

**Методы:** построение многомерных моделей методом пошагового регрессионного анализа.

**Результаты.** Для комплексного проведения ранжирования всех имеющихся на территории Верхнекамского месторождения калийно-магниевого солей, был рассчитан комплексный зонально-локальный критерий нефтегазоносности –  $R_{\text{нкомп}}$ . Проведена оценка влияния морфологических ( $R_{\text{ув морф}}$ ), миграционных ( $R_{\text{км}}$ ), геохимических ( $R_{\text{ув гх}}$ ) параметров и критерия по данным газопроявлений ( $R_{\text{нмх}}$ ) на комплексный показатель  $R_{\text{нкомп}}$ . Из анализа построенных моделей следует, что критерии  $R_{\text{ув морф}}$ ,  $R_{\text{ув гх}}$  являются более универсальными, тогда как  $R_{\text{км}}$ ,  $R_{\text{нмх}}$  проявляются только для выборок, которые включают структуры с наибольшими значениями комплексного показателя  $R_{\text{нкомп}}$ . Установлены наиболее перспективные структуры с точки зрения первоочередности ввода в поисково-оценочное бурение.

### Ключевые слова:

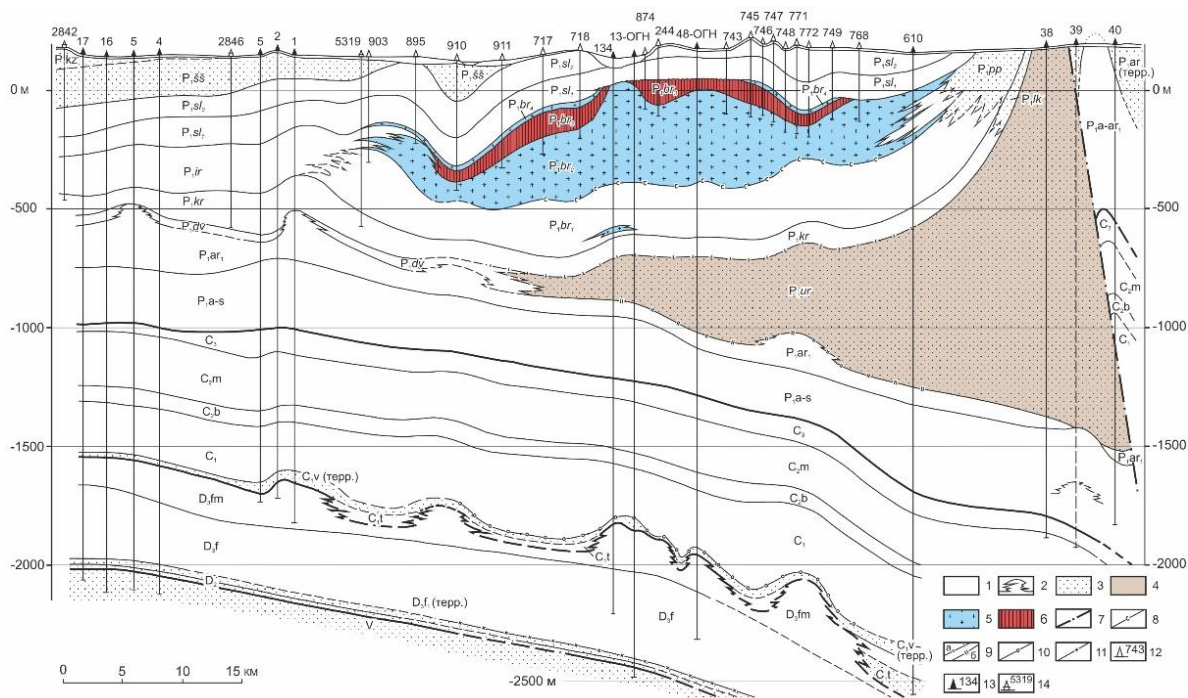
Верхнекамское месторождение калийно-магниевого солей, Соликамский нефтегазоносный район, Волго-Уральская нефтегазоносная провинция, пошаговый регрессионный анализ, условная комплексная вероятность, поисково-оценочное бурение, геолого-разведочные работы.

Оценка нефтеносности территории Верхнекамского месторождения калийно-магниевого солей (ВКМКС) является достаточно сложной, так как в верхней части разреза располагается уникальное месторождение, что затрудняет здесь проведение поискового бурения [1–5]. Поэтому для оценки нефтеносности предлагается использовать дополнительные критерии, связанные с наличием этой толщи. Дополнительно к морфологическим, геохимическим и миграционным критериям авторы данной статьи предлагают использовать газоносность самой соленосной толщи. Поэтому для оценки нефтегазоносности структур были использованы четыре группы показателей, разработанные специально для территории ВКМКС.

Геологический разрез рассматриваемой территории представлен отложениями вендского комплекса, девонской, каменноугольной, пермской систем и четвертичными отложениями (рис. 1).

Особенности и математический аппарат разработки геолого-математических моделей для решения геологических задач приведены в работах как отечественных, так и зарубежных авторов [6–26].

Первая группа оценивает нефтеносность по морфологическим показателям. В работах [27, 28] установлено, что помимо зональных характеристик, на оценку нефтегазоносности в значительной степени влияют морфологические характеристики локальных структур. Рассматривались значения амплитуд ( $A$ ), площадей ( $S$ ) и интенсивности ( $A/\sqrt{S}$ ) по основным отражающим горизонтам структур. В результате по показателям данной группы был разработан комплексный критерий –  $R_{\text{ув морф}}$ . Средние значения многомерного вероятностного критерия  $R_{\text{ув морф}}$  для нефтяных структур равен 0,708 д. ед., для пустых – 0,188 д. ед. Статистические характеристики критерия являются информативными:  $t$ -критерий Стьюдента составляет 6,98 при  $p=0,000$ .



**Рис. 1.** Схематичный геологический разрез Соликамской впадины [1]  
**Fig. 1.** Schematic geological section of the Solikamsk depression [1]

По геохимическим показателям разработаны критерии – Рукв<sub>гх</sub> и Ркм [29, 30]. Для построения геохимических моделей использованы показатели содержания рассеянного органического вещества (РОВ), содержания органического углерода в РОВ (C<sub>орг</sub>), концентраций петролейных, хлороформенных и спиртобензольных битумоидов (Б<sub>пз</sub>, Б<sub>хл</sub>, Б<sub>сб</sub> и Б<sub>хл/Бсб</sub>) и битумоидный коэффициент (β) по основным нефтематеринским толщам в разрезе Соликамской депрессии. Среднее значение критерия Рукв<sub>гх</sub> для нефтяных структур равно 0,614 д. ед., для пустых – 0,283 д. ед. Статистические характеристики критерия являются информативными: t-критерий Стьюдента составляет 4,20 при p=0,000.

Миграционный критерий Ркм [29, 30] основан на разделении классов по трем характеристикам: минимальное расстояние от центров с повышенными значениями Рукв<sub>гх</sub> до центра локальных структур (L<sub>геох</sub>), расстояния от структур до ближайших разломов (L<sub>разл</sub>) и показателя дальности субвертикальной миграции углеводородов (L<sub>мигр</sub>). Среднее значение критерия Ркм для нефтяных структур равно 0,592 д. ед., для пустых – 0,452 д. ед. Статистические характеристики критерия являются информативными: t-критерий Стьюдента составляет 3,73 при p=0,000.

По геохимическим показателям разработан критерий Рукв<sub>гх</sub> [29, 30]. Дополнительно к этим критериям разработан показатель, который оценивает процессы субвертикальной миграции углеводородов из ниже-расположенных залежей нефти и газа, которые были зарегистрированы в виде газопроявлений в соленосной толще ВКМКС – Р<sub>нМNX</sub> [31]. В качестве источников информации выступали данные о газопроявлениях, зафиксированных при бурении солеразведочных скважин в соленосной толще ВКМКС, которые при-

ведены в архивных данных и отчетах о поисково-оценочных работах. Эти данные были обобщены и использованы для построения вероятностно-статистической модели прогноза нефтегазоносности. В состав зонального комплексного критерия вошли группы вероятностей мощности пластов (P<sub>н</sub>(Z<sub>м</sub>), RES<sub>P<sub>н</sub>(Z<sub>м</sub>)<sub>лин</sub>), абсолютных отметок (P<sub>н</sub>(Z<sub>н</sub>)) и химического состава солей (P<sub>н</sub>(Z<sub>х</sub>)). Среднее значение критерия Р<sub>нМNX</sub> для нефтяных структур равно 0,526 д. ед., для пустых – 0,422 д. ед. Статистические характеристики критерия являются информативными: t-критерий Стьюдента составляет 5,40 при p=0,000. По значениям Р<sub>нМNX</sub>, при использовании данных по всем изучаемым скважинам, построена схема изменения распределения Р<sub>нМNX</sub> по площади исследований (рис. 2).</sub>

Вне площади разрабатываемых месторождений наибольшими значениями комплексного критерия нефтегазоносности Р<sub>нМNX</sub> характеризуются участки, расположенные севернее от месторождения им. Сухарева и западнее от Логовского месторождения. Максимальные значения Р<sub>нМNX</sub> в этих районах равны 0,75 д. ед. (скв. № 623) и 0,69 д. ед. (скв. № 662) соответственно. На остальной территории выделяется ряд локальных аномалий, где Р<sub>нМNX</sub> > 0,60 д. ед.: в южной части – к северу и западу от месторождения им. Архангельского, в центральной части – в непосредственной близости к Новологовской, Клестовской, Стрелецкой структурам и в районе Боровицкого прогиба ВКМКС вне границ Березниковского палеоплато, в северной части – к югу от Озерного месторождения.

В табл. 1 представлены средневзвешенные по площади значения вероятностных характеристик Рукв<sub>морф</sub>, Рукв<sub>гх</sub>, Ркм, Р<sub>нМNX</sub> по перспективным структурам в рамках изучаемого района.

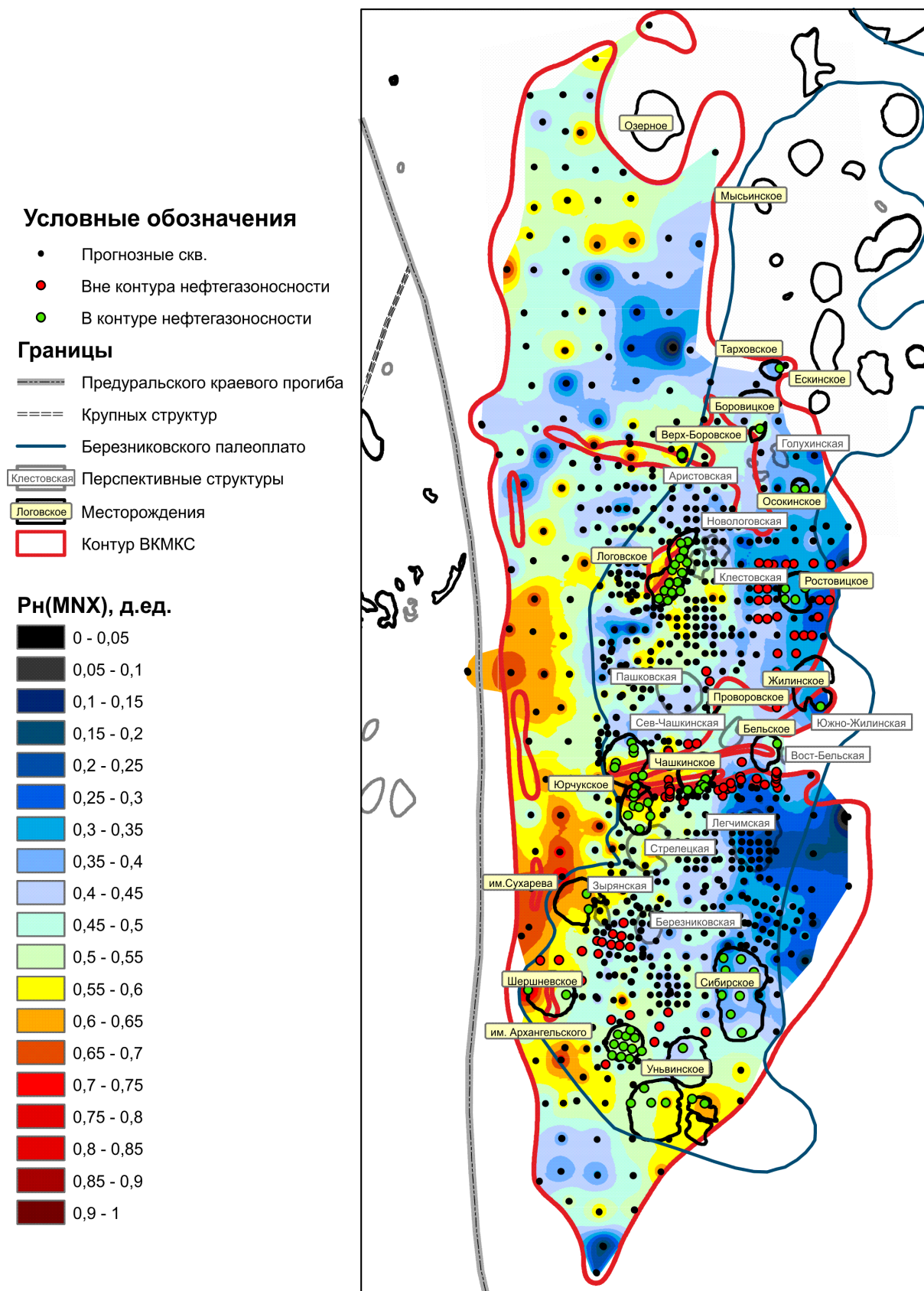


Рис. 2. Прогноз нефтегазоности территории ВКМКС по критерию  $P_n(MNX)$  [31]

Fig. 2. Forecast of oil and gas content of the Verkhnekamsky deposit of potassium and magnesium salts (VFPMS) according to the  $P_n(MNX)$  criterion [31]

**Таблица 1.** Вероятностные характеристики перспективных структур ВКМКС

**Table 1.** Probabilistic characteristics of perspective structures of the VFPMs

Название структуры Structure name	Р <sub>ув_морф</sub> P <sub>ukv_morf</sub>	Р <sub>ув_гх</sub> P <sub>ukv_gh</sub>	Р <sub>км</sub> P <sub>km</sub>	Р <sub>н_мнх</sub> P <sub>n_mnx</sub>
	д. ед./unit fraction			
Аристовская Aristovskaya	0,11	0,35	0,67	0,42
Голухинская Golukhinskaya	0,43	0,30	0,65	0,38
Клестовская Klestovskaya	0,05	0,92	0,61	0,50
Новологовская Novologovskaya	0,32	0,80	0,63	0,42
Березниковская Bereznikovskaya	0,59	0,81	0,73	0,44
Восточно-Бельская Vostochno-Belskaya	0,17	0,98	0,74	0,44
Стрелецкая Streletskaya	0,68	0,75	0,73	0,58
Северо-Чашкинская Severo-Chashkinskaya	0,51	0,93	0,68	0,45
Пашковская Pashkovskaya	0,96	0,70	0,48	0,46
Южно-Жилинская Yuzhno-Zhilinskaya	0,83	0,94	0,66	0,37
Легчимская Legchinskaya	0,99	0,93	0,80	0,27
Зырянская Zyryanovskaya	0,99	0,89	0,73	0,57

Применение методики вычисления условной комплексной вероятности по всем представленным группам показателей позволит более разносторонне выполнить оценку нефтеносности локальных структур. Для этого предлагается использовать следующую формулу расчета комплексного зонально-локального критерия нефтегазоносности:

$$P_{н_комп} = \frac{P_{ув_морф} \times P_{ув_гх} \times P_{км} \times P_{н_мнх}}{P_{ув_морф} \times P_{ув_гх} \times P_{км} \times P_{н_мнх} + (1 - P_{ув_морф}) \times (1 - P_{ув_гх}) \times (1 - P_{км}) \times (1 - P_{н_мнх})}$$

По предлагаемой формуле рассчитаны значения критерия  $P_{н_комп}$  для всех выявленных и подготовленных структур, расположенных в контуре ВКМКС, которые составляют (д. ед.):

1. Аристовская – 0,0891;
2. Голухинская – 0,2690;
3. Клестовская – 0,4863;
4. Новологовская – 0,6989;
5. Березниковская – 0,9287;
6. Восточно-Бельская – 0,9573;
7. Стрелецкая – 0,9597;
8. Северо-Чашкинская – 0,960;
9. Пашковская – 0,9778;
10. Южно-Жилинская – 0,9887;
11. Легчимская – 0,9995;
12. Зырянская – 0,9997.

Для оценки вклада в значения  $P_{н_комп}$  различных сочетаний вероятностных критериев  $P_{ув_морф}$ ,  $P_{ув_гх}$ ,  $P_{км}$ ,  $P_{н_мнх}$  сформируем изучаемую выборку по критерию  $P_{н_комп}$  от максимального ( $P_{н_комп}=0,9997$  д. ед.) до минимального ( $P_{н_комп}=0,0891$  д. ед.) значений.

Оценку влияния критериев  $P_{ув_морф}$ ,  $P_{ув_гх}$ ,  $P_{км}$ ,  $P_{н_мнх}$  на  $P_{н_комп}$  выполним с помощью построения многомерных моделей, при этом строить их будем с помощью пошагового регрессионного анализа. Первая модель будет построена по трем структурам с максимальными значениями  $P_{н_комп}$  (табл. 1). Следующая модель будет построена при  $n=4$  и так далее до  $n=12$ . Таким образом, были построены 10 уравнений регрессии, вид которых приведен в табл. 2.

**Таблица 2.** Многомерные уравнения регрессии для анализа формирования значений  $P_{н_комп}$

**Table 2.** Multivariable regression equations for analysis of the formation of  $P_{н_комп}$  values

Интервал построения моделей по $P_{н_комп}$ , д. ед. Interval of model building according to $P_{н_комп}$ , unit fraction	Номера структур, по которым построены модели Numbers of structures included in the model	Свободный член Intercept term	Угловой коэффициент/Slope term				R
			Р <sub>ув_морф</sub> P <sub>ukv_morf</sub>	Р <sub>ув_гх</sub> P <sub>ukv_gh</sub>	Р <sub>км</sub> P <sub>km</sub>	Р <sub>н_мнх</sub> P <sub>n_mnx</sub>	
0,989–0,999	10-12	0,937	0,067	–0,004	–	0,019	0,999
0,978–0,999	9-12	0,921	0,011	–	0,078	0,019	0,999
0,960–0,999	8-12	0,818	0,089	0,104	–0,008	0,013	0,999
0,959–0,999	7-12	0,822	0,087	0,095	–	0,013	0,999
0,957–0,999	6-12	0,845	0,065	0,097	–	–	0,967
0,929–0,999	5-12	0,800	0,077	0,135	–	–	0,875
0,699–0,999	4-12	0,454	0,209	0,403	–	–	0,710
0,486–0,999	3-12	0,317	0,715	–	0,538	–	0,790
0,269–0,999	2-12	–0,111	0,437	0,849	–	–	0,886
0,089–0,999	1-12	–0,216	0,471	0,945	–	–	0,935

Анализ построенных моделей показывает, что критерий  $P_{ув_морф}$  использовался при построении всех 10 моделей, критерии  $P_{ув_гх}$ ,  $P_{н_мнх}$ ,  $P_{км}$  соответственно при построении 8, 4 и 3 моделей. Это свидетельствует о том, что критерии  $P_{ув_морф}$ ,  $P_{ув_гх}$  являются более универсальными, тогда как  $P_{км}$ ,  $P_{н_мнх}$  характеризуют особенность их проявления только для тех структур, которые имеют наибольшее значение  $P_{н_комп}$ . Вероятно, проявление этих особенностей может более надежно оценить нефтеносность этих структур.

Наблюдается обратная линейная зависимость между значениями  $P_{н_комп}$  и  $P_{ув_морф}$ ,  $P_{ув_гх}$ . Данный факт объясняется тем, что при увеличении значений по критерию  $P_{н_комп}$  в выборку входят высокоамплитудные структуры, при этом значения  $P_{ув_морф}$  вносят меньший вклад. По причине расположения наиболее перспективных структур выборки 5-12 в центральной геохимической аномалии наблюдается снижение значений по геохимическому критерию  $P_{ув_гх}$ .

Следует отметить, что показатель  $R_{H_{MNX}}$  рекомендуется использовать при построении моделей, которые характеризуются максимальными значениями по комплексному критерию. Вклад в регрессию для  $R_{H_{MNX}}$  положителен, таким образом, чем больше значение

комплексного критерия по данным газопроявлений, тем выше общая вероятность нефтегазоносности.

Изменение значений коэффициента корреляции  $R$  от  $R_{H_{КОМП}}$  приведено на рис. 3.

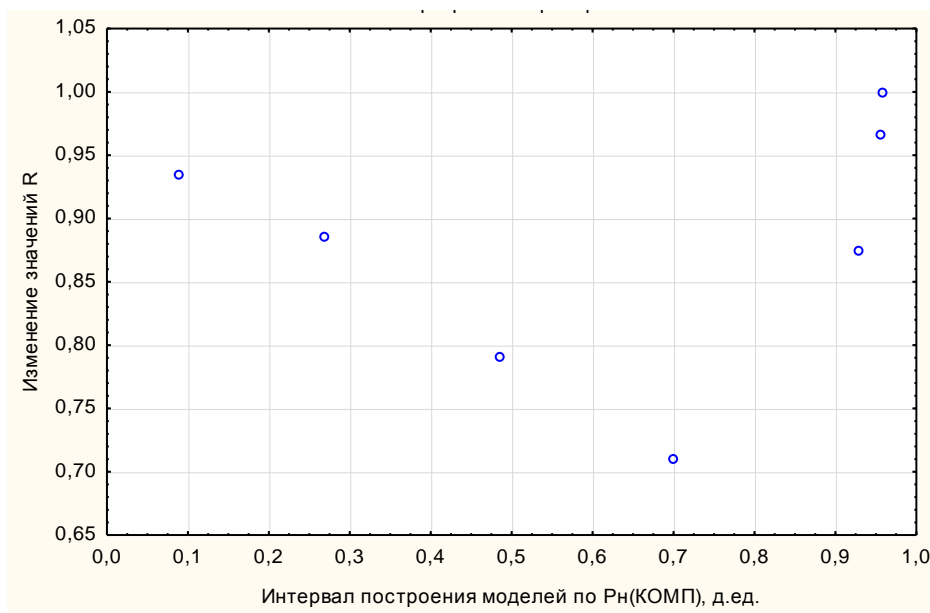


Рис. 3. Изменение коэффициента  $R$  от  $R_{H_{КОМП}}$

Fig. 3. Change in the coefficient  $R$  from  $R_{H_{КОМП}}$

Отсюда видно, что в пределах графика выделяются два вида соотношений между  $R$  и  $R_{H_{КОМП}}$ . При значениях  $R_{H_{КОМП}} > 0,7$  д. ед. наблюдается уменьшение значений  $R$  от 0,9997 до 0,709 д. ед., далее происходит повышение значений при уменьшении  $R_{H_{КОМП}}$ . Данное обстоятельство можно объяснить тем, что при  $R_{H_{КОМП}} > 0,7$  д. ед. наблюдается формирование значений за счет всех разработанных критериев, тогда как при  $R_{H_{КОМП}} < 0,7$  д. ед. влияние  $R_{км}$ ,  $R_{H_{MNX}}$  не наблюдается. Поэтому для прогнозных оценок для выделения первоочередных объектов поисков УВ целесообразно использовать те модели, в которых присутствуют все разработанные критерии. Таким условиям удовлетворяет только одна модель, которая построена в диапазоне 0,999–0,960 д. ед.

#### Заключение

Предложенная методика прогноза нефтегазоносности позволяет на базе морфологических, геохимических, миграционных критериев и вероятностной модели нефтегазоносности по данным газопроявлений соленосной толщи отранжировать перспективные объекты по перспективности для последующей постановки детальных ГРП.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кудряшов А.И. Верхнекамское месторождение солей. – Пермь: Изд-во ГИ УрО РАН, 2013. – 429 с.
2. Варушкин С.В., Козлова И.А. Возможность проведения поисково-оценочных работ на объектах, расположенных под толщей калийно-магниевых солей Верхнекамского месторождения // Вестник Пермского национального исследовательского

Предложена формула расчета комплексного зонально-локального критерия нефтегазоносности  $R_{H_{КОМП}}$ . Проведена оценка вклада в значения комплексного критерия нефтегазоносности  $R_{H_{КОМП}}$  в разных сочетаниях вероятностных критериев  $R_{ув_{морф}}$ ,  $R_{ув_{гх}}$ ,  $R_{км}$ ,  $R_{H_{MNX}}$  с построением многомерных моделей по 10 моделям. Из анализа построенных моделей следует, что критерии  $R_{ув_{гх}}$ ,  $R_{ув_{морф}}$  являются более универсальными, тогда как  $R_{км}$ ,  $R_{H_{MNX}}$  проявляются только для выборки с наиболее перспективными структурами.

Благодаря расчету комплексного зонально-локального критерия нефтегазоносности  $R_{H_{КОМП}}$  по группам показателей, разработанным специально для территории ВКМКС, и построения многомерных моделей установлено, что наиболее перспективными с точки зрения первоочередности постановки поисково-оценочного бурения являются Зырянская, Легчимская, Южно-Жилинская, Пашковская и Северо-Чашкинская структуры.

Применение результатов работы позволит снизить геологические риски при выборе объектов для проектирования ГРП и тем самым повысить успешность поисковых работ на рассматриваемом участке недр.

политехнического университета. Геология. Нефтегазовое и горное дело. – 2012. – Т. 11. – № 3. – С. 8–15.

3. Андрейко С.С., Иванов О.В., Литвиновская Н.А. Прогнозирование и предотвращение газодинамических явлений из почвы при проходке подготовительных выработок в подработанном массиве соляных пород. – Пермь: Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2015. – 158 с.

4. Андрейко С.С., Иванов О.В., Нестеров Е.А. Борьба с газодинамическими явлениями при разработке Верхнекамского и Старобинского месторождений калийных солей // Научные исследования и инновации. – 2010. – Т. 3. – № 4. – С. 34–37.
5. Прогнозирование выбросоопасных зон пластов при разведке и разработке Верхнекамского месторождения калийных солей / С.С. Андрейко, О.В. Иванов, А.В. Харинцев, А.Н. Чистяков // Горный журнал. – 2008. – № 10. – С. 34–36.
6. Шайхутдинов А.Н. Разработка вероятностных моделей для прогноза нефтегазоносности верхнеюрских отложений (на примере территории деятельности ТПП «Когалымнефтегаз») // Вестник Пермского научно-исследовательского политехнического университета. Геология. Нефтегазовое и горное дело. – 2014. – № 11. – С. 11–28.
7. Мартюшев Д.А., Зайцев Р.А. Влияние петрофизических параметров рифогенных карбонатных коллекторов нефтяных месторождений турнейско-фаменских отложений Верхнего Прикамья на продуктивность добывающих скважин // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2019. – Т. 330. – № 11. – С. 77–85. DOI: 10.18799/24131830/2019/11/2350.
8. Кошкин К.А. Разработка вероятностно-статистических моделей для оценки перспектив нефтегазоносности пластов Тл2-б и Бб Пожвинского участка // Вестник Пермского научно-исследовательского политехнического университета. Геология. Нефтегазовое и горное дело. – 2018. – Т. 17. – № 1. – С. 4–16. DOI: 10.15593/2224-9923/2018.1.1.
9. Растргуев М.Е. Использование дискриминантного анализа для интерпретации данных газового каротажа на примере Павловского нефтяного месторождения // Вестник Пермского научно-исследовательского политехнического университета. Геология. Нефтегазовое и горное дело. – 2019. – Т. 19. – № 1. – С. 39–55. DOI: 10.15593/2224-9923/2019.1.4.
10. Фадеев А.П. Разработка методики оценки влияния закачки воды в пласт на добычу нефти на примере турнейских отложений Сосновского газонефтяного месторождения // Вестник Пермского научно-исследовательского политехнического университета. Геология. Нефтегазовое и горное дело. – 2018. – Т. 18. – № 2. – С. 157–177. DOI: 10.15593/2224-9923/2018.4.6.
11. Давыденко А.Ю. Вероятностно-статистические методы в геолого-геофизических приложениях. – Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2008. – 31 с.
12. Дэвис Дж.С. Статистический анализ данных в геологии / пер. с англ. – М.: Недра, 1990. – Кн. 1. – 319 с.
13. Михалевич И.М. Применение математических методов при анализе геологической информации (с использованием компьютерных технологий: Statistica). – Иркутск: Изд-во ИГУ, 2006. – 115 с.
14. Поротов Г.С. Математические методы моделирования в геологии. – СПб.: Изд-во Санкт-Петербургский государственный горный институт (технический университет), 2006. – 223 с.
15. Чини Р.Ф. Статистические методы в геологии / пер. с англ. – М.: Изд-во «Мир», 1986. – 189 с.
16. Armstrong M. Basic linear geostatistics. – Berlin: Springer, 1998. – 155 p.
17. Bartels C.P.A., Ketellapper R.H. Exploratory and explanatory statistical analysis of spatial data. – Boston: Martinus Nijhoff Publishing, 1979. – 268 p.
18. Goodwin N. Bridging the gap between deterministic and probabilistic uncertainty quantification using advanced proxy based methods. SPE Reservoir Simulation Symposium. – Houston, Richardson Publ., 2015. – P. 1796–1868.
19. Darling T. Well logging and formation evaluation. – Eastbourne: Gardners Books, 2010. – 336 p.
20. Tran D.T., Gabbouj M., Iosifidis A. Multilinear class-specific discriminant analysis // Pattern Recognition Letters. – 2017. – V. 100. – P. 131–136. DOI: 10.1016/j.patrec.2017.10.027.
21. Horne R.N. Modern well test analysis: a computer aided approach. 2nd ed. – Palo Alto: PetrowayInc, 2006. – 257 p.
22. Houze O., Viturat D., Fjaere O.S. Dynamic data analysis. – Paris: Kappa Engineering, 2008. – 694 p.
23. Maurya S.P., Singh N.P., Singh K.H. Geostatistical inversion. Seismic inversion methods: a practical approach. – Cham: Springer International Publ., 2020. – 216 p.
24. Montgomery D.C., Peck E.A. Introduction to liner regression analysis. – New York: John Wiley & Sons, 1982. – 504 p.
25. Van Golf-Racht T.D. Fundamentals of fractured reservoir engineering. – Amsterdam, Oxford, New York: Elsevier scientific publishing company, 1982. – 709 p.
26. Yarus J.M. Stochastic modeling and geostatistics. – Tulsa, Oklahoma: AAPG, 1994. – 231 p.
27. 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. – С. 12–17.
28. Галкин В.И., Растегаев А.В., Галкин С.В. Вероятностно-статистическая оценка нефтегазоносности локальных структур. – Екатеринбург: Изд-во УрО РАН, 2001. – 277 с.
29. О масштабах миграции углеводородов в пределах Соликамской депрессии Предуральского прогиба и возможностях ее использования для прогноза нефтегазоносности. К методике оценки перспектив нефтегазоносности Соликамской депрессии по характеристикам локальных структур / В.И. Галкин, И.А. Козлова, С.Н. Кривошеков, А.С. Козлов // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. – 2010. – № 12. – С. 6–12.
30. Галкин В.И., Кривошеков С.Н. Разработка вероятностно-статистических моделей нефтегазоносности в условиях экологически напряженной территории Верхнекамского месторождения калийно-магниевого солей // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. – 2010. – № 11. – С. 52–53.
31. Разработка статистической модели прогноза нефтегазоносности по газовыделениям в толще Верхнекамского месторождения калийно-магниевого солей / В.И. Галкин, О.А. Мелкишев, С.В. Варушкин, С.С. Андрейко, Т.А. Лялина // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Геология. Нефтегазовое и горное дело. – 2020. – Т. 20. – № 1. – С. 4–13. DOI: 10.15593/2224-9923/2020.1.1

Поступила 13.06.2020 г.

#### Информация об авторах

**Галкин В.И.**, доктор геолого-минералогических наук, профессор, заведующий кафедрой геологии нефти и газа Пермского национального исследовательского политехнического университета.

**Мелкишев О.А.**, кандидат технических наук, профессор, доцент кафедры геологии нефти и газа Пермского национального исследовательского политехнического университета.

**Варушкин С.В.**, ведущий геолог ООО «ЛУКОЙЛ-ПЕРМЬ»; аспирант кафедры геологии нефти и газа Пермского национального исследовательского политехнического университета.

UDC 550.812.1; 553.632; 553.98

## USE OF PROBABILISTIC MODELS OF OIL AND GAS POTENTIAL FOR RANKING THE PERSPECTIVE STRUCTURES LOCATED WITHIN POOL OUTLINE OF THE VERKHNEKAMSKY DEPOSIT OF POTASSIUM AND MAGNESIUM SALTS

Vladislav I. Galkin<sup>1</sup>,  
vgalkin@pstu.ru

Oleg A. Melkishev<sup>1</sup>,  
melkishev@pstu.ru

Stanislav V. Varushkin<sup>2,1</sup>,  
geologist-07@mail.ru

<sup>1</sup> Perm National Research Polytechnic University,  
29, Komsomolskiy avenue, Perm, 614990, Russia.

<sup>2</sup> LLC «LUKOIL-PERM»,  
62, Lenin street, Perm, 614990, Russia.

**The relevance of the research.** In recent years, there have been significant changes in the territorial distribution of oil and gas reserves and resources in Perm region. At present, all large and medium-sized oil and gas deposits have been explored in the territory of the platform part of Perm region. At the same time within the Solikamsk petroleum district of the Volga-Ural petroleum province the possibility of opening such deposits actually exists, especially in pool outline of the Verkhnekamsky field of potassium and magnesium salts. Selection of objects and determination of their order of entry into prospecting and appraisal drilling play an important role for successful geological exploration works.

**The main aim** of the article is to identify the priority objects for setting up prospecting and appraisal drilling based on statistical models of oil and gas forecasts.

**Object:** lead and prepared oil and gas structures of the Solikamsk petroleum district of the Volga-Ural petroleum province located in pool outline of the Verkhnekamsky field of potassium and magnesium salts.

**Methods:** development of multidimensional models by the method of recursive regression analysis.

**Results.** For a comprehensive ranking of all available structures located on the territory of the Verkhnekamsky field of potassium and magnesium salts, a complex zonal-local criterion of oil and gas content –  $R_{NKOMP}$  – was calculated. The impact of morphological ( $P_{KVMOR}$ ), migration ( $P_{KM}$ ), geochemical ( $P_{KVGH}$ ) parameters and gas events data criterion ( $P_{NMNX}$ ) on the integrated  $P_{NKOMP}$  indicator was evaluated. From the analysis of the constructed models, it follows that the criteria of  $P_{KVMOR}$ ,  $P_{KVGH}$  are more universal, while  $P_{KM}$ ,  $P_{NMNX}$  are manifested only for the choice, which includes the structures with the highest values of the complex indicator  $P_{NKOMP}$ . The most perspective objects were selected for input into prospecting and appraisal drilling.

### Key words:

The Verkhnekamsky field of potassium and magnesium salts, the Solikamsk petroleum district, the Volga-Ural petroleum province, recursive regression analysis, conditional complex probability, prospecting and appraisal drilling, geological exploration.

### REFERENCES

- Kudryashov A.I. *Verkhnekamskoe mestorozhdenie soley* [The Verkhnekamsky field of salts]. Perm, Mining Institute UB RAS, 2013. 429 p.
- Varushkin S.V., Kozlova I.A. The ability of conduction of prospecting-evaluation surveys at objects located under a layer of potassium and magnesium salts the Verkhnekamsky deposit). *Perm Journal of Petroleum and Mining Engineering*, 2012, vol. 11, no. 3, pp. 8–15. In Rus.
- Andreiko S.S., Ivanov O.V., Litvinovskaia N.A. *Prognozirovanie i predotvrashchenie gazodinamicheskikh iavlenii iz pochvy pri prokhodke podgotovitelnykh vyrabotok v podrobotanom massive solianyykh porod* [Forecasting and prevention of the gasdynamic phenomena from the soil at a driving of preparatory developments in the earned additionally massif of salt breeds]. Perm, PNRPU Publ., 2015. 158 p.
- Andreiko S.S., Ivanov O.V., Nesterov E.A. Fight against the gasdynamic phenomena when developing the Verkhnekamsky and Starobinsky fields of potash salts. *Scientific research and innovation*, 2010, vol. 3, no. 4, pp. 34–37. In Rus.
- Andreiko S.S., Ivanov O.V., Kharintsev A.V., Chistiakov A.N. *Prognozirovanie vybrosopasnykh zon plastov pri razvedke i razrabotke Verkhnekamskogo mestorozhdeniia kaliinykh soley* [Forecasting of the combustion zones of layers at exploration and development of the Verkhnekamsky field of potash salts]. *Mining Journal*, 2008, no. 10, pp. 34–36.
- Shaikhutdinov A.N. Development of probabilistic models for predicting of oil and gas content for Upper-Jurassic sediments (on the example of the territory of activity of TPP «Kogalymneftegaz»). *Perm Journal of Petroleum and Mining Engineering*, 2014, no. 11, pp. 11–28. In Rus.
- Martyushev D.A., Zaytsev R.A. Influence of oil field reef carbonate reservoir petrophysical parameters of tournasian-famennian deposits in Upper Kama on well productivity. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering*, 2019, vol. 330, no. 11, pp. 77–85. In Rus. DOI: 10.18799/24131830/2019/11/2350.
- Koshkin K.A. Development of probabilistic and statistical models for evaluation of oil and gas potential of T12-b and Bb reservoirs of Pozhviskiy sector. *Perm Journal of Petroleum and Mining Engineering*, 2018, vol. 17, no. 1, pp. 4–15. In Rus. DOI: 10.15593/2224-9923/2018.1.1.
- Rastorguev M.E. Using discriminant analysis for the interpretation of gas logging data on the example of the Pavlov oil field. *Perm Journal of Petroleum and Mining Engineering*, 2019, vol. 19, no. 1, pp. 39–55. In Rus. DOI: 10.15593/2224-9923/2019.1.4.
- Fadeev A.P. A procedure for evaluation of the effect of water injection into a reservoir on oil production on example of Tournasian deposits of the Sosnovskoe gas-oil field. *Perm*

- Journal of Petroleum and Mining Engineering*, 2018, vol. 18, no. 2, pp.157–177. In Rus. DOI: 10.15593/2224-9923/2018.4.6.
11. Davydenko A.Yu. *Veroyatnostno-statisticheskie metody v geologo-geofizicheskikh prilozheniyakh* [Probabilistic and statistical methods in geologic/geophysical applications]. Irkutsk, IGTU Publ., 2007. 29 p.
  12. Devis J.S. *Statisticheskii analiz dannykh v geologii* [The statistical analysis of data in geology]. Moscow, Nedra Publ., 1990. Book 1, 319 p.
  13. Mikhalevich I.M. *Primenenie matematicheskikh metodov pri analize geologicheskoy informatsii (s ispolzovaniem kompyuternykh tekhnologiy: Statistica)* [Application of mathematical methods in the analysis of geological information (with use of computer technologies: Statistica)]. Irkutsk, IGU Publ., 2006. 115 p.
  14. Porotov G.S. *Matematicheskie metody modelirovaniya v geologii* [Mathematical methods of modeling in geology]. St. Petersburg, St. Petersburg State Mining Institute (Technical University) Publ. House, 2006. 223 p.
  15. Chini R.F. *Staticheskie metody v geologii* [Static methods in geology]. Moscow, Mir Publ., 1986. 189 p.
  16. Armstrong M. *Basic linear geostatistics*. Berlin, Springer, 1998. 155 p.
  17. Bartels C.P.A., Ketelapper R.H. *Exploratory and explanatory statistical analysis of spatial data*. Boston, Martinus Nijhoff Publ., 1979. 268 p.
  18. Goodwin N. Bridging the gap between deterministic and probabilistic uncertainty quantification using advanced proxy based methods. *SPE Reservoir Simulation Symposium 2015*. Houston, Richardson Publ., 2015. pp. 1796–1868.
  19. Darling T. *Well logging and formation evaluation*. Eastbourne, Gardners Books, 2010. 336 p.
  20. Tran D.T., Gabbouj M., Iosifidis A. Multilinear class-specific discriminant analysis. *Pattern Recognition Letters*, 2017, vol. 100, pp. 131–136. DOI: 10.1016/j.patrec.2017.10.027.
  21. Horne R.N. *Modern well test analysis: a computer aided approach*. Palo Alto, PetrowayInc, 2006. 257 p.
  22. Houze O., Viturat D., Fjaere O.S. *Dynamic data analysis*. Paris, Kappa Engineering, 2008. 694 p.
  23. Maurya S.P., Singh N.P., Singh K.H. *Geostatistical Inversion. Seismic Inversion Methods: A Practical Approach*. Cham, Springer International Publ., 2020. 216 p. DOI: 10.1007/978-3-030-45662-7.
  24. Montgomery D.C., Peck E.A. *Introduction to liner regression analysis*. New York, John Wiley & Sons, 1982. 504 p.
  25. Van Golf-Racht T.D. *Fundamentals of fractured reservoir engineering*. Amsterdam, Oxford, New York, Elsevier scientific publishing company, 1982. 709 p.
  26. Yarus J.M. *Stochastic modeling and geostatistics*. Tulsa, Oklahoma, AAPG, 1994. 231 p.
  27. Galkin V.I., Kozlova I.A., Rastegaev A.V., Vantseva I.V., Krivoshchekov S.N., Voevodkin V.L. K metodike otsenki perspektiv neftegazonosnosti Solikamskoi depressii po kharakteristikam lokalnykh struktur [On the methodology for assessing the prospects of oil and gas potential of the Solikamsk depression according to the characteristics of local structures]. *Oilfield engineering*, 2010, no. 7, pp. 12–17.
  28. 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, URo RAN, 2001. 277 p.
  29. Voevodkin V.L., Galkin V.I., Kozlova I.A., Krivoshchekov S.N., Kozlov A.S. O masshtabakh migratsii uglevodorodov v predelakh Solikamskoy depressii Preduralskogo progiba i vozmozhnostyakh ee ispolzovaniya dlya prognoza neftegazonosnosti. K metodike otsenki perspektiv neftegazonosnosti Solikamskoy depressii po kharakteristikam lokalnykh struktur [The extent of migration of hydrocarbons within the Ural Solikamskaya depression trough and it could be used for the prediction of oil and gas potential. By the methods of assessment of petroleum potential Solikamskaya depression characteristics of local structures]. *Geology, geophysics and development of oil and gas fields*, 2010, no. 12, pp. 6–12.
  30. Galkin V.I., Krivoshchekov S.N. Razrabotka veroyatnostno-statisticheskikh modeley neftegazonosnosti v usloviyakh ekologicheskoi napryazhennoy territorii Verkhnekamskogo mestorozhdeniya kaliyno-magniyevykh soley [Development of probability-statistical models of oil-gas content forecast in the conditions of ecologically intense territory of the Verkhnekamsky deposit of potassium salts]. *Environmental protection in oil and gas complex*, 2010, no. 11, pp. 52–53.
  31. Galkin V.I., Melkisev O.A., Varushkin S.V., Andreiko S.S., Lialina T.A. Development of the statistical model to forecast oil and gas potential according to gas content in the Verkhnekamskoe deposit of potassium and magnesium salts. *Perm Journal of Petroleum and Mining Engineering*, 2020, vol. 20, no. 1, pp. 4–13. In Rus. DOI: 10.15593/2224-9923/2020.1.1.

Received: 13 June 2020.

#### Information about the authors

**Vladislav I. Galkin**, Dr. Sc., professor, head of the Oil and Gas Geology Department, Perm National Research Polytechnic University.

**Oleg A. Melkisev**, Cand. Sc., associate professor, Perm National Research Polytechnic University.

**Stanislav V. Varushkin**, lead geologist, LLC «LUKOIL-PERM»; post-graduate student, Perm National Research Polytechnic University.