

Ресурсный потенциал ценных металлов Оренбургского нефтегазоконденсатного месторождения

И.О. Бурханова, Н.А. Скибицкая*, М.Н. Большаков

Институт проблем нефти и газа РАН, г. Москва

E-mail: *skibitchka@mail.ru

Аннотация. Оценены прогнозные ресурсы редких и редкоземельных, цветных и благородных металлов в объеме газонасыщенной части Оренбургского нефтегазоконденсатного месторождения на основе созданных 3D геохимических моделей распределения концентраций микроэлементов. Выделены зоны максимальных концентраций микроэлементов для их направленной добычи в составе битуминозных компонентов матричной нефти.

Ключевые слова: Оренбургское нефтегазоконденсатное месторождение, прогнозные ресурсы, металлы, матричная нефть, высокомолекулярные компоненты.

Для цитирования Бурханова И.О., Скибицкая Н.А., Большаков М.Н. Ресурсный потенциал ценных металлов Оренбургского нефтегазоконденсатного месторождения // Актуальные проблемы нефти и газа. 2019. Вып. 4(27). <https://doi.org/10.29222/ipng.2078-5712.2019-27.art6>

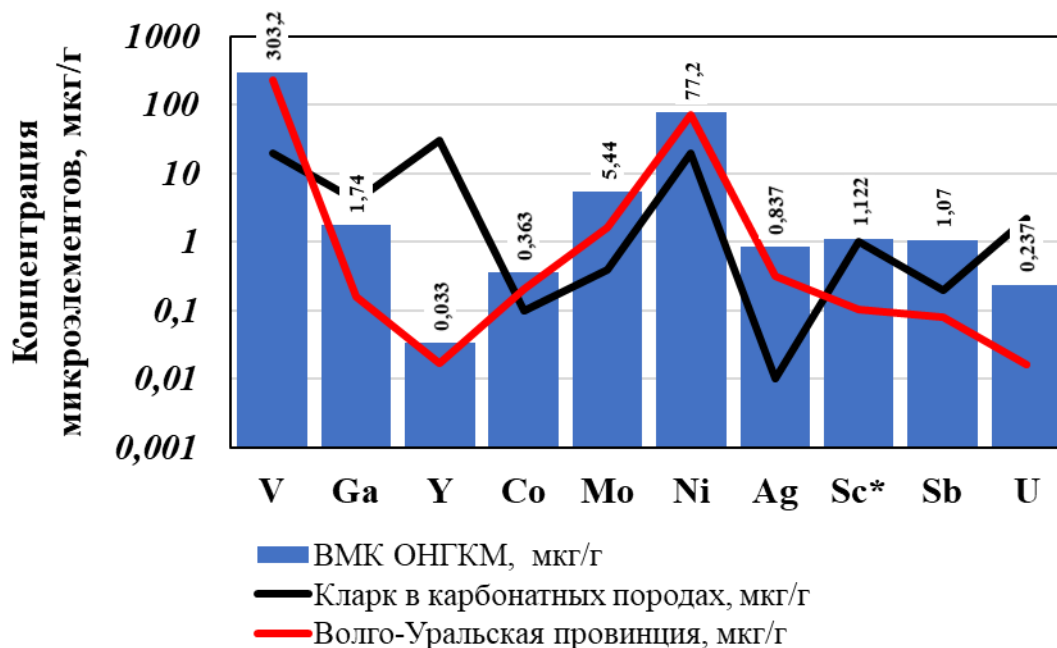
Металлы используются практически во всех сферах жизнедеятельности человека. Особая роль в современном производстве отводится редким и редкоземельным металлам. В России основными источниками получения металлов являются рудные месторождения. Однако известно, что нефти содержат целый ряд микроэлементов, включая стратегические и редкие [1, 2].

Комплексные исследования Оренбургского нефтегазоконденсатного месторождения (ОНГКМ) показали, что матричная нефть, находящаяся в его газонасыщенных отложениях, обогащена ценными металлами (рис. 1). Масс-спектрометрическим методом с индукционно связанной плазмой (ICP-MS) был изучен микроэлементный состав высокомолекулярных компонентов (ВМК) матричной нефти – битумоидов (асфальтенов, смол, масел, парафинов), выделенных из образцов керн Оренбургского НГКМ путем хлороформной экстракции. В совокупности был определен микроэлементный состав 83 проб асфальтенов, спирто-бензольных смол, бензольных смол, масел и парафинов (исследования проводились в аналитической лаборатории «Объединенного центра исследований и разработок»). Настоящая работа посвящена оценке прогнозных ресурсов металлов – попутных компонентов матричной нефти Оренбургского НГКМ.

Сравнительный анализ выявил, что концентрации V, Co, Mo, Ni, Ag и Sb в ВМК Оренбургского НГКМ существенно превосходят кларки в карбонатных породах (рис. 2)



Рис. 1. Металлы, присутствующие в ВМК матричной нефти из газонасыщенных зон Оренбургского НГКМ, отнесенные к числу стратегических в России и США [1]



*Среднее содержание скандия Sc рассчитано по результатам исследования битумоидов центральной части Оренбургского НГКМ

Рис 2. Сравнительные данные о содержании некоторых микроэлементов в карбонатных породах [3], высокомолекулярных компонентах Оренбургского НГКМ и смолисто-асфальтеновых компонентах нефти различных месторождений Волго-Уральской нефтегазоносной провинции [4]; числовые значения характеризуют концентрации ВМК ОНГКМ (мкг/г)

[3]. Содержание Ga, Y, Co, Mo, Ag, Sc, Sb и U в битумоидах матричной нефти ОНГКМ значительно выше содержания этих микроэлементов в среднем для смолисто-асфальтовых компонентов нефти различных месторождений Волго-Уральской нефтегазоносной провинции (см. рис. 2) [4].

Отдельные компоненты битумоидов содержат разное количество металлов. С возрастанием суммарного содержания гетероатомов (S, N, O) в ряду высокомолекулярных компонентов – парафины, масла, бензольные смолы, спирто-бензольные смолы, асфальтены – возрастают концентрации большинства микроэлементов. По этой причине этапу оценки ресурсов металлов должен предшествовать этап оценки суммарных и покомпонентных геологических запасов ВМК матричной нефти.

На основе геологической 3D модели Оренбургского месторождения и разработанных ранее методик оценки содержания матричной нефти и ее компонентов в породах по методам геофизических исследований скважин были созданы 3D геохимические модели, характеризующие распределения концентраций жидких углеводородов матричной нефти, масел, смол бензольных, смол спирто-бензольных, асфальтенов (рис. 3).

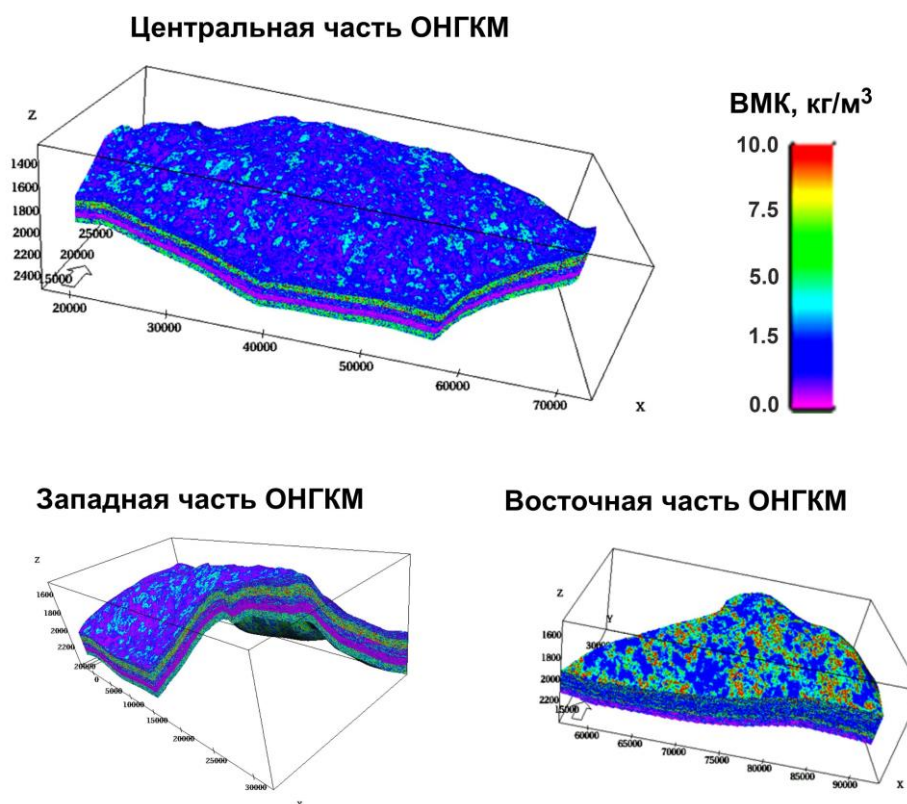


Рис. 3. Геохимические 3D модели Оренбургского НГКМ, характеризующие распределения концентраций высокомолекулярных компонентов матричной нефти ($\text{кг}/\text{м}^3$)

Работа с 3D моделями осуществлялась в программном пакете IRAP RMS компании Roxar. Трехмерное моделирование существенно облегчает процесс подсчета запасов (ресурсов). В результате оценки геологических запасов матричной нефти было показано, что в газонасыщенных отложениях Оренбургского НГКМ содержится 3058,3 млн. т матричной нефти, из них жидких нефтяных углеводородов – 2421,1 млн. т. Геологические запасы высокомолекулярных компонентов составили 637,2 млн. т, в том числе запасы масел (М) – 337,7 млн. т, перспективные ресурсы смол бензольных (СБ) – 115,0 млн. т, смол спирто-бензольных (ССБ) – 61,5 млн. т, асфальтенов (А) – 123,0 млн. т [5].

Изучаемое месторождение разделяют на центральную часть, а также западный и восточный куполы. Высокомолекулярные компоненты (битумоиды) каждой из частей месторождения характеризуются разными содержаниями микроэлементов (рис. 4). Концентрация большинства микроэлементов в битумоидах западной части ОНГКМ выше, чем в битумоидах центральной и восточной частей. Таким образом, методики оценки концентраций металлов в объемах продуктивных отложений разных частей месторождения должны быть индивидуальными.

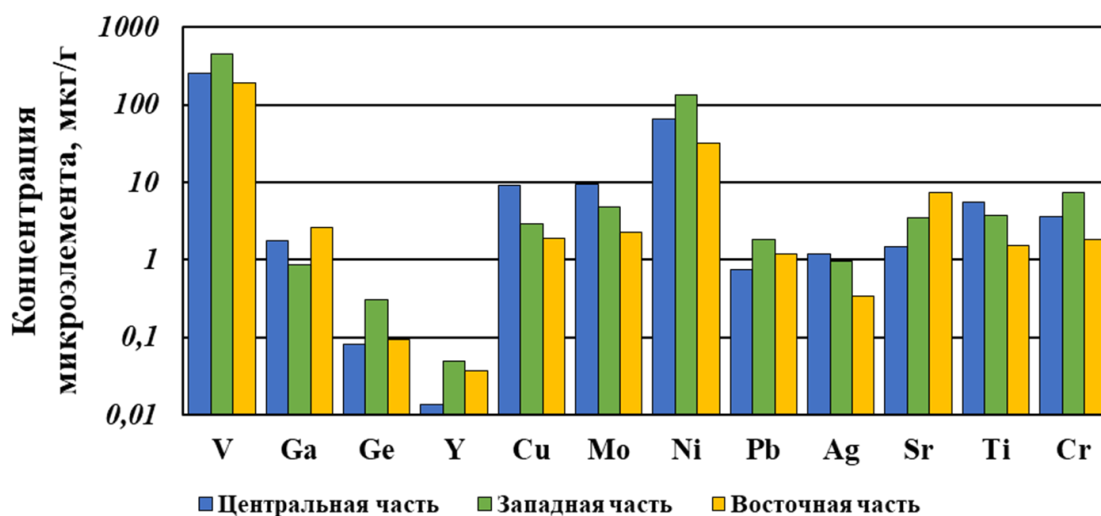


Рис. 4. Сравнение средних концентраций микроэлементов в ВМК матричной нефти центральной, западной и восточной частей Оренбургского НГКМ (метод ICP-MS)

Геохимические модели распределения массовых концентраций асфальтенов, смол спирто-бензольных, смол бензольных и масел были преобразованы в модели распределения содержаний микроэлементов в продуктивных отложениях Оренбургского НГКМ с использованием следующей формулы:

$$C_{Me} = C_{Me}^A \cdot C_A + C_{Me}^{ССБ} \cdot C_{ССБ} + C_{Me}^{СБ} \cdot C_{СБ} + C_{Me}^M \cdot C_M,$$

где C_{Me} – массовая концентрация металла ($\text{мг}/\text{м}^3$ горной породы), C_{Me}^A (C_{Me}^{CCB} , C_{Me}^{CB} , C_{Me}^M) – массовая концентрация металла в асфальтенах (смолах спирто-бензольных, смолах бензольных, маслах, $\text{мкг}/\text{г}$ или $\text{мг}/\text{кг}$ или $\text{г}/\text{т}$), C_M (C_{CCB} , C_{CB} , C_M) – массовая концентрация асфальтенов (смола спирто-бензольных, смола бензольных, масел, $\text{кг}/\text{м}^3$ горной породы). Вышеприведенная формула была раскрыта для каждого микроэлемента и каждой части месторождения.

При изучении образцов высокомолекулярных компонентов матричной нефти была определена концентрация более 40 элементов периодической системы Д.И. Менделеева. Как показал анализ, битумоиды ОНГКМ характеризуются значимыми концентрациями таких микроэлементов, как V, Ga, Ge, Y, Cu, Mo, Ni, Pb, Ag, Sr, Ti, Cr. Наиболее перспективными металлами, с точки зрения получения товарных продуктов в результате переработки матричной нефти, являются V, Ni, Ga, Mo и Ag.

Для каждого из 12 выбранных металлов были получены объемные 3D модели распределения концентраций в объеме месторождения. Такие распределения позволили не только оперативно и точно произвести подсчет прогнозных ресурсов металлов, но также построить разрезы и карты, на основе которых были выделены перспективные зоны скопления микроэлементов (рис. 5, 6).

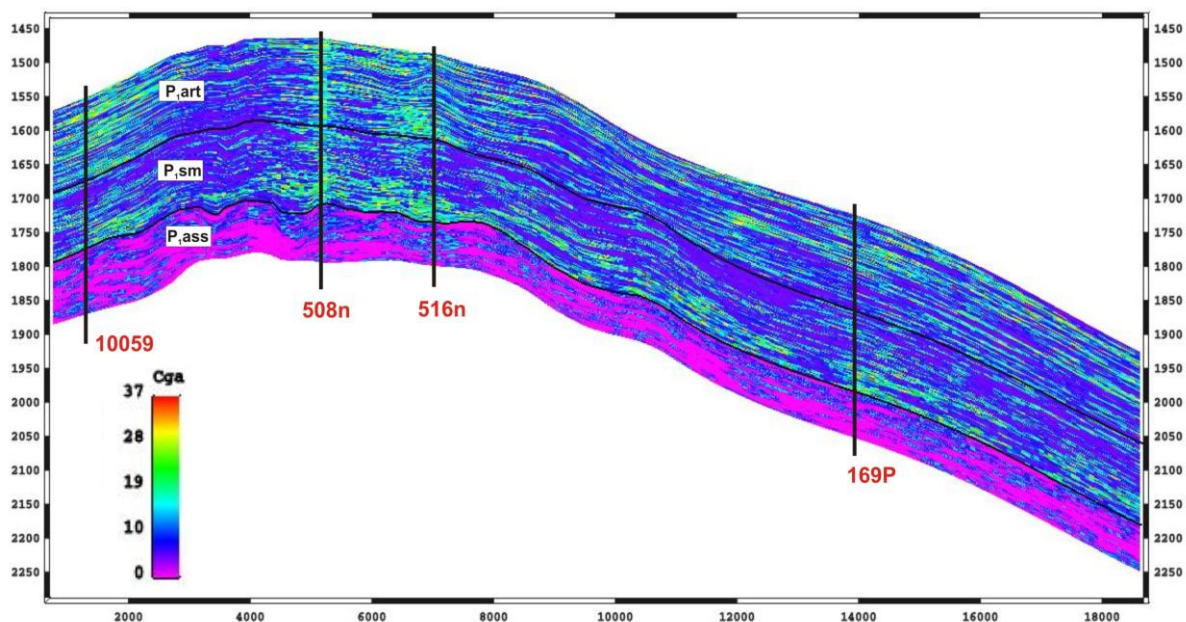


Рис. 5. Объемное распределение концентраций галлия в продуктивных отложениях восточной части Оренбургского НГКМ по разрезу в направлении с запада на восток ($\text{мг}/\text{м}^3$, P_{1art}, P_{1sm}, P_{1ass}, C₃, C₂)

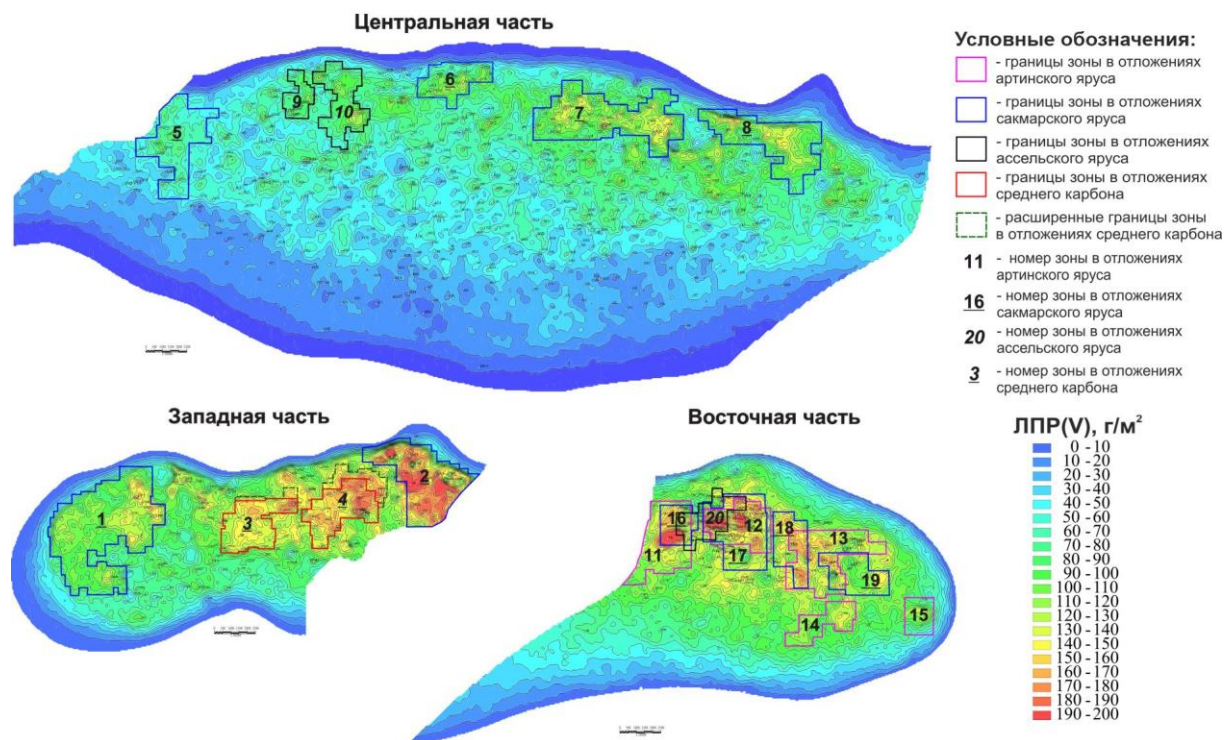


Рис. 6. Карта линейных прогнозных ресурсов (ЛПР) ванадия в составе ВМК матричной нефти в трещинно-поровых и поровых коллекторах продуктивных газонасыщенных отложений Оренбургского НГКМ (г/м²), перспективные зоны №№ 1–20

Совокупно по месторождению прогнозные ресурсы V составили 153091,7 т, Ga – 1105,4 т, Ge – 88,4 т, Y – 15,7 т, Cu – 3313,7 т, Mo – 3532,4 т, Ni – 37699,8 т, Pb – 587,8 т, Ag – 510,9 т, Sr – 1764,3 т, Ti – 2819,5 т, Cr – 2252,7 т. Соотношение ресурсов цветных и благородных металлов (Cu, Ni, Pb, Ag, Ti, Cr) и редких и редкоземельных металлов (V, Ga, Ge, Y, Mo, Sr) составило 3:10 (23 и 77% соответственно).

Основные прогнозные ресурсы металлов в целом по Оренбургскому месторождению (87%) сосредоточены в нижнепермских отложениях. Породы артинского яруса вмещают 56709,9 т ценных микроэлементов (27%), отложения сакмарского яруса – 105781,2 т (51%), ассельского – 18994,4 т (9%). Породы верхнего карбона содержат 3537,2 т металлов (2%), мячковского горизонта московского яруса среднего карбона – 21759,5 т (11%). Ресурсы V Оренбургского НГКМ в пересчете на пятиокись ванадия составляют 546,6 тыс. т. Согласно опубликованным данным, геологические запасы пятиокиси ванадия таких крупных нефтяных месторождений Волго-Уральской нефтегазоносной провинции, как Ромашкинское, Ново-Елховское и Степноозерское составляют соответственно 103,4, 184,9 и 101,5 тыс. т [6, 7]. То есть, суммарные запасы ванадия этих месторождений почти в 1,5 раза ниже, чем одного Оренбургского НГКМ.

Для каждого стратиграфического подразделения в отдельности были рассчитаны средние линейные прогнозные ресурсы по месторождению путем деления суммарных прогнозных ресурсов металлов на среднюю площадь подсчетных объектов (рис. 7, а).

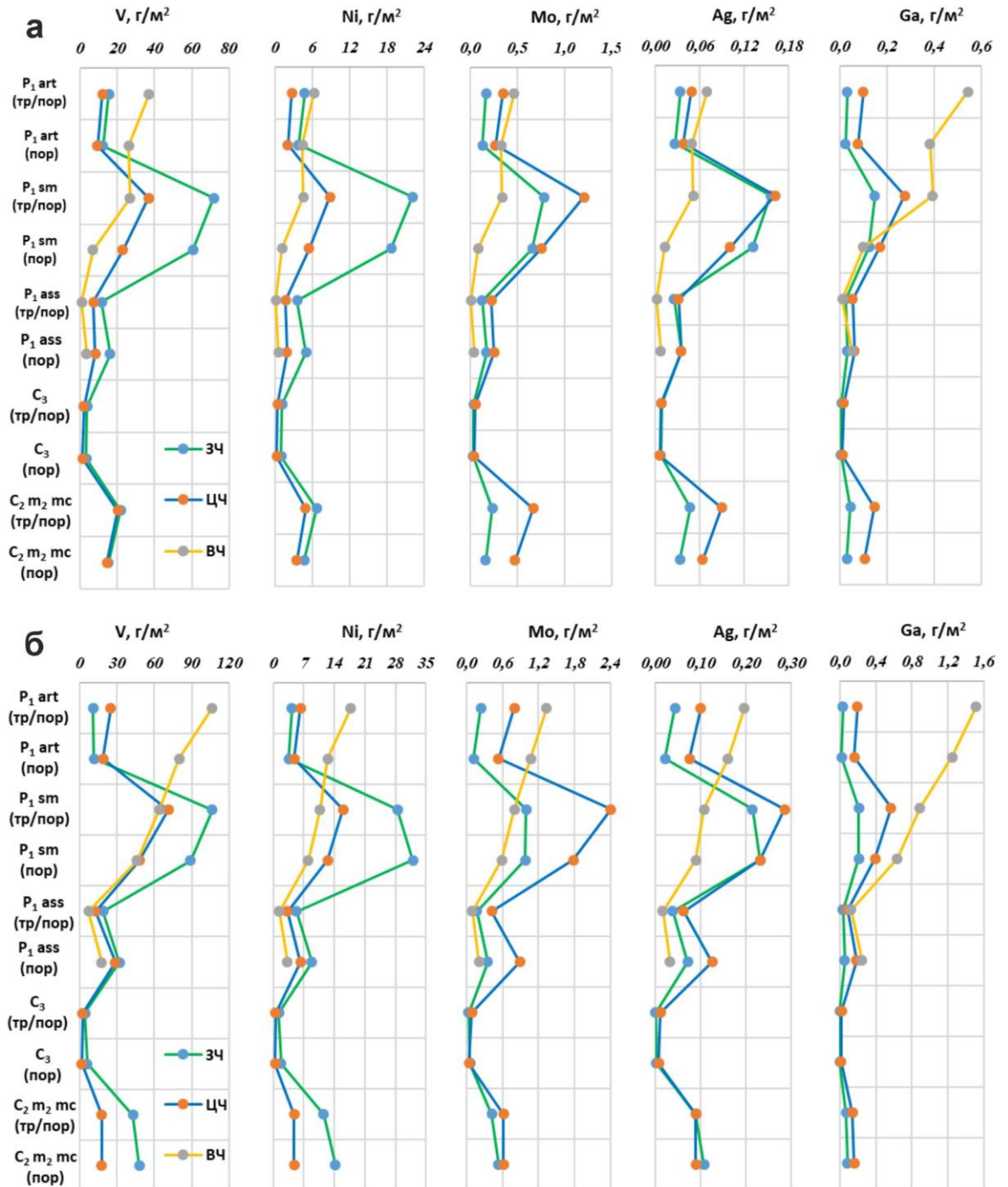


Рис. 7. Средние (а) и максимальные (б) величины линейных прогнозных ресурсов ванадия, никеля, молибдена, серебра и галлия в разрезе продуктивных отложений центральной (ЦЧ), западной (ЗЧ) и восточной частей (ВЧ) Оренбургского НГКМ (с разделением на типы коллекторов: тр/пор – трещинно-поровый; пор – поровый)

Как видно на рис. 7, а, наибольшей средней плотностью прогнозных ресурсов ванадия отличаются западная часть месторождения, а галлия – восточная. На основе модели были построены карты линейных прогнозных ресурсов наиболее сконцентрированных в ВМК металлов – ванадия, никеля, молибдена, серебра и галлия.

Сравнение средних и максимальных величин линейных прогнозных ресурсов V, Ni, Mo, Ag и Ga, определенных при анализе карт, позволило оценить перспективность каждого стратиграфического подразделения центральной, западной и восточной частей ОНГКМ отдельно для трещинно-порового и порового типов коллекторов (см. рис. 7, а, б).

В западной части месторождения породы-коллекторы сакмарского яруса перспективны на V, Ni, Mo, Ag. Продуктивные отложения среднего карбона перспективны только на V, Ni.

Сакмарский ярус центральной части месторождения перспективен на V, Ni, Mo, Ag, Ga (линейные прогнозные ресурсы последнего высоки только в трещинно-поровых коллекторах). Поровые коллекторы ассельского яруса центральной части перспективны на V, Ni, Mo, Ag. Средний карбон центральной части месторождения перспективен на все изучаемые микроэлементы (V, Ni, Mo, Ag, Ga).

В восточной части ОНГКМ артинский ярус перспективен на V, Ni, Ag, Ga. Трещинно-поровые коллектора сакмарского яруса восточной части перспективны на V, Ni, Mo, Ag, Ga, а поровые коллектора – только на V и Ga. Поровые коллекторы ассельского яруса восточной части перспективны на Ga.

Всего было выделено 20 перспективных зон: 4 зоны в западной части, 6 зон в центральной части, 10 зон в восточной части (рис. 6). В западной части наиболее перспективными являются отложения сакмарского яруса и среднего карбона. В центральной части металлы также сконцентрированы в породах сакмарского яруса и среднего карбона. Кроме того, здесь были выделены две перспективные зоны в отложениях ассельского яруса (поровые коллекторы). В восточной части перспективными являются отложения всех представленных ярусов нижнепермской системы – артинского, сакмарского, ассельского.

Изначально зоны выделялись при анализе карт каждого горизонта в отдельности. В дальнейшем границы зон №№ 3 и 4, выделенных в отложениях среднего карбона западной части месторождения, были расширены для включения соседних перспективных областей, наблюдаемых на общей карте месторождения. Как видно на рис. 6,

перспективные зоны №№ 11–13, 16–20 в восточной части ОНГКМ перекрывают друг друга. В дальнейшем эти зоны могут быть объединены.

На основе комплексного изучения продуктивных отложений Оренбургского НГКМ была разработана методика оценки перспективности нефтегазоконденсатных и газоконденсатных месторождений как источников полиметаллического сырья [2]. Общая схема оценки металлоносности месторождений углеводородов показана на рис. 8. Этапы оценки суммарных и покомпонентных геологических запасов высокомолекулярных компонентов и последующей оценки ресурсов попутных компонентов матричной нефти – металлов являются ключевыми при изучении месторождения углеводородов на предмет его металлоносности. Однако первоначальное определение микроэлементного состава образцов асфальто-смоло-парафиновых отложений (АСПО), отобранных из наземного сепарационного оборудования, уже может показать, следует ли проводить дальнейшие исследования.

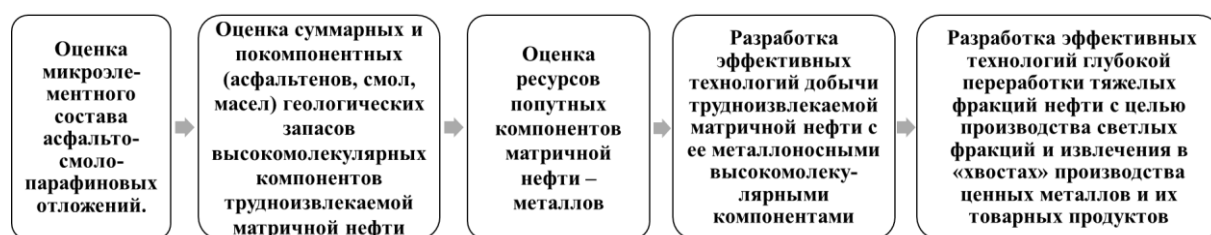


Рис. 8. Этапы изучения металлоносности месторождений углеводородов

Таким образом, оценка прогнозных ресурсов металлов в продуктивных отложениях месторождений углеводородов позволит в перспективе решить следующие важные задачи:

- повышение показателей эффективности разработки месторождений на ранних стадиях нефтегенерации, содержащих незрелую высоковязкую битуминозную нефть;
- повышение эффективности процессов глубокой переработки добываемой продукции;
- продление жизни длительно разрабатываемых месторождений углеводородов;
- расширение ресурсной базы старых нефтедобывающих районов;
- открытие дополнительных источников полиметаллического сырья для промышленности;

– комплексное максимальное освоение добываемого углеводородного сырья без потерь ценных попутных компонентов.

Статья написана в рамках выполнения государственного задания (тема: «Прогноз состояния ресурсной базы нефтегазового комплекса России на основе системных исследований перспектив нефтегазоносности природных резервуаров в карбонатных, терригенных и сланцевых формациях», № АААА-А19-119030690047-6).

Литература

1. Суханов А.А., Якуцени В.П., Петрова Ю.Э. Оценка перспектив промышленного освоения металлоносного потенциала нефтей и возможные пути его осуществления // Нефтегазовая геология. Теория и практика. 2012. Т. 7, № 4. 23 с. http://www.ngtp.ru/rub/9/56_2012.pdf (Дата обращения 20.09.2019).

2. Скибицкая Н.А., Бурханова И.О., Большаков М.Н., Навроцкий О.К. Перспективность нефтегазоконденсатных и газоконденсатных месторождений как источников полиметаллического сырья // Актуальные проблемы нефти и газа. 2019. Вып. 1(24). <https://doi.org/10.29222/ipng.2078-5712.2019-24.art6>

3. Справочник по геохимии / Под ред. Г.В. Войткевича, А.В. Кокина, А.Е. Мирошникова, В.Г. Прохорова. М.: Недра, 1990. 480 с.

4. Готтих Р.П., Писоцкий Б.И., Журавлев Д.З. Геохимические особенности нефти различных регионов и возможный источник металлов в ней // Доклады Академии наук. 2008. Т. 422, № 1. С. 88–92.

5. Дмитриевский А.Н., Ефимов А.Г., Гутман И.С., Скибицкая Н.А., Гафаров Н.А., Политыкина М.А., Бурханова И.О., Большаков М.Н. Матричная нефть, остаточные запасы газа Оренбургского НГКМ и перспективы их освоения // Актуальные проблемы нефти и газа. 2018. Вып. 4(23). <https://doi.org/10.29222/ipng.2078-5712.2018-23.art22>

6. Суханов А.А., Петрова Ю.Э. Ресурсная база попутных компонентов тяжелых нефтей России // Нефтегазовая геология. Теория и практика. 2008. Т. 3, № 2. 11 с. http://www.ngtp.ru/rub/9/23_2008.pdf (Дата обращения 20.09.2019).

7. Яценко И.Г. Тяжелые ванадиевоносные нефти России // Известия Томского политехнического университета. 2012. Т. 321, № 1. С. 105–111.

Resource potential of the Orenburg oil-gas-condensate field precious metals

I.O. Burkhanova, N.A. Skibitskaya*, M.N. Bolshakov

Oil and Gas Research Institute, Russian Academy of Sciences, Moscow

E-mail: * skibitchka@mail.ru

Abstract. The predicted resources of rare and rare-earth, non-ferrous and noble metals in the volume of the gas-saturated part of the Orenburg oil-gas-condensate field are estimated basing on the created 3D geochemical models of the distribution of microelement concentrations. Areas of maximum microelement concentrations have been identified for their directed recovering as part of the bituminous components of matrix oil.

Keywords: Orenburg oil-gas-condensate field, predicted resources, metals, matrix oil, high-molecular-weight components.

Citation: *Burkhanova I.O., Skibitskaya N.A., Bolshakov M.N.* Resource potential of the Orenburg oil-gas-condensate field precious metals // Actual Problems of Oil and Gas. 2019. Iss. 4(27). <https://doi.org/10.29222/ipng.2078-5712.2019-27.art6> (In Russ.).

References

1. *Sukhanov A.A., Yakutseni V.P., Petrova J.E.* Metalliferous potential of oils – assessment of development prospects and possible ways of implementation // *Neftegazovaya Geologiya. Teoriya i Praktika*. 2012. Vol. 7, No. 4. 23 p. http://www.ngtp.ru/rub/9/56_2012.pdf (Accessed on 20.09.2019). (In Russ.).
2. *Skibitskaya N.A., Burkhanova I.O., Bolshakov M.N., Navrotsky O.K.* Prospectivity of oil-gas-condensate and gas-condensate fields as polymetallic feedstock sources // *Actual Problems of Oil and Gas*. 2019. Iss. 1(24). <https://doi.org/10.29222/ipng.2078-5712.2019-24.art6> (In Russ.).
3. *Handbook of geochemistry* / Ed. by G.V. Voitkevich, A.V. Kokin, A.E. Miroshnikov, V.G. Prohorov. Moscow: Nedra, 1990. 480 p. (In Russ.).
4. *Gottikh R.P., Pisotsky B.I., Zhuravlev D.Z.* Geochemical properties of oils in different regions and potential source metals contained in oil // *Doklady Earth Sciences*. 2008. Vol. 422, No. 1. P. 1084–1088. <https://doi.org/10.1134/S1028334X08070180>
5. *Dmitrievsky A.N., Efimov A.G., Gutman I.S., Skibitskaya N.A., Gafarov N.A., Politykina M.A., Burkhanova I.O., Bolshakov M.N.* Matrix oil and residual gas reserves of Orenburg oil-gas condensate field and prospects of their development // *Actual Problems of Oil and Gas* 2018. Iss. 4(23). <http://doi.org/10.29222/ipng.2078-5712.2018-23.art22> (In Russ.).

6. *Sukhanov A.A., Petrova J.E.* Resource base of heavy oils associated components of Russia // *Neftegazovaya Geologiya. Teoriya i Praktika*. 2008. Vol. 3, No. 2. 11 p. http://www.ngtp.ru/rub/9/23_2008.pdf (Accessed on 20.09.2019). (In Russ.).

7. *Yashchenko I.G.* Heavy vanadium oils in Russia // *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University*. 2012. Vol. 321, No. 1. P. 105–111. (In Russ.).