

Перспективность нефтегазоконденсатных и газоконденсатных месторождений как источников полиметаллического сырья

Н.А. Скибицкая^{1*}, И.О. Бурханова¹, М.Н. Большаков¹, О.К. Навроцкий²

1 – Институт проблем нефти и газа РАН, г. Москва

2 – Нижне-Волжский научно-исследовательский институт геологии и геофизики, г. Саратов

e-mail: *skibitchka@mail.ru

Аннотация. Обобщены результаты изучения металлоносности нефти в газонасыщенных отложениях Оренбургского НГКМ. Описана схема оценки перспективности нефтегазоконденсатных и газоконденсатных месторождений как источников полиметаллического сырья.

Ключевые слова: высокомолекулярные компоненты, матричная нефть, асфальтены, смолы, Оренбургское НГКМ, редкие и редкоземельные, благородные и цветные металлы.

Для цитирования: 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>

В последние годы государство стимулирует развитие отрасли добычи и переработки редких и редкоземельных металлов (РиРЗМ) [1]. К 2020 г. планируется отказаться от импорта редкоземельных металлов (РЗМ) [2]. Программа развития промышленности РиРЗМ (далее – Программа) относится в основном к крупным рудным месторождениям, таким, как Томторское месторождение РЗМ в Якутии. С момента принятия Программы в 2014 г. было разработано технико-экономическое обоснование постоянных разведочных кондиций и оценены запасы РЗМ на участке Буранный Томторского месторождения, которые были утверждены в Роснедра (Протокол № 5366 заседания ГКЗ). Однако к настоящему моменту освоение месторождения так и не началось из-за высоких инвестиционных рисков [3].

Известно, что в нефтях содержится широкий спектр химических элементов, в том числе РиРЗМ, а также цветные и благородные металлы [4–10]. Основная часть микроэлементов содержится в наиболее тяжелой части нефти – высокомолекулярных компонентах (асфальтенах, смолах) [5, 11, 12]. В большинстве случаев микроэлементный состав нефтей и битумоидов, а также вмещающих их пород изучается с целью решения геолого-геохимических задач [13–16]. Научные работы, посвященные проблемам оценки

ресурсов микроэлементов нефтяных месторождений, встречаются реже [4, 9, 10, 17]. Основное внимание в этих работах уделено наиболее распространенному в нефтях элементу – ванадию. На данный момент в России только ванадий получают из нефти в промышленных масштабах. Однако в процессе глубокой нефтепереработки возможно получать и другие ценные микроэлементы [9].

Согласно «Методическим рекомендациям по применению классификации запасов и ресурсов нефти и горючих газов» металлы, содержащиеся в нефтях, относятся к попутным полезным компонентам 2-й группы. Компоненты этой группы выделяются только при глубокой нефтепереработке, к ним относят серу и металлы. Рекомендуемые минимальные промышленные концентрации попутных компонентов нефти определены для серы S (0,5%), ванадия V (120 г/т), никеля Ni (120 г/т) и титана Ti (120 г/т) [18].

Основными ресурсами металлов обладают месторождения тяжелых нефтей. Нефть в газонасыщенных зонах нефтегазоконденсатных и газоконденсатных месторождений как источник полиметаллического сырья для химической промышленности не рассматривается. Однако в результате многолетних комплексных исследований Оренбургского НГКМ (ОНГКМ) было показано, что нефть, находящаяся в его карбонатных газонасыщенных отложениях, – нефть ранних стадий нефтегенерации (матричная нефть, незрелая нефть) – является уникальным металлоносным полезным ископаемым [12, 19–21].

Изучение металлоносности Оренбургского месторождения было начато в 1990-е годы. Проведенное исследование микроэлементного состава образцов асфальто-смоло-парафиновых отложений (АСПО), отобранных из аппаратов установок комплексной подготовки газа (УКПГ) ОНГКМ, выявило в них высокое содержание металлов, в том числе РиРЗМ [19]. Оценка концентраций микроэлементов проводилась способом эмиссионного спектрального анализа с индукционно связанной плазмой в специализированных лабораториях институтов Гиредмет, ВИМС и ГИГХС. Максимальные концентрации некоторых микроэлементов в образцах АСПО из наземного сепарационного оборудования приведены в табл. 1. В ряде зон ОНГКМ АСПО характеризуются промышленными концентрациями галлия, ванадия, никеля, титана, серебра, хрома, цинка, меди, стронция. Высокие концентрации ценных металлов установлены в образцах АСПО, отобранных с забоев, стволов скважин, из насосно-компрессорных труб.

Таблица 1

Максимальные концентрации некоторых микроэлементов в образцах АСПО Оренбургского НГКМ (из наземного сепарационного оборудования) [19]

Микроэлемент	УКПГ	Концентрация, мкг/г	Кларк, мкг/г [23]
Ванадий V	УКПГ-7, 9	>10000	20
Галлий Ga	УКПГ-6	200	4
Германий Ge	УКПГ-2, 7, 12	3	0,2
Иттербий Yb	УКПГ-3, 9	0,8	0,5
Медь Cu	УКПГ-2	4000	4
Молибден Mo	УКПГ-1, 2	10	0,4
Мышьяк As	УКПГ-6	300	1
Никель Ni	УКПГ-6	1000	20
Олово Sn	УКПГ-2	40	0,1
Свинец Pb	УКПГ-1	1000	9
Серебро Ag	УКПГ-7	3	0,01
Стронций Sr	УКПГ-1	800	610
Цинк Zn	УКПГ-1	6000	20

На следующем этапе был изучен микроэлементный состав отдельных компонентов битумоидов ОНГКМ. В выделенных компонентах (асфальтенах, смолах спирто-бензольных и бензольных, маслах, твердых парафинах) было оценено содержание более 40 элементов периодической системы Д.И. Менделеева [20, 21]. В совокупности был изучен микроэлементный состав 83 проб асфальтенов, спирто-бензольных смол, бензольных смол, масел и парафинов отдельно для центральной, западной и восточной частей месторождения. Определение микроэлементного состава битумоидных высокомолекулярных компонентов (ВМК) матричной нефти проводилось масс-спектроскопическим методом с индукционно связанной плазмой ICP-MS в аналитической лаборатории «Объединенного центра исследований и разработок». Этот метод на сегодняшний день является самым информативным [5, 22].

С целью сопоставления полученных результатов с характеристикой микроэлементного состава битумоидов других месторождений углеводородов (УВ) был проведен анализ литературных данных. Чаще всего в литературе встречаются результаты оценки содержания микроэлементов в нефтях, и спектр определяемых элементов ограничен. В работе [5] приведено обобщение результатов исследования микроэлементного состава смолисто-асфальтеновых компонентов нефти различных нефтегазоносных провинций методом ICP-MS. Эти данные, наряду с кларковыми

содержаниями микроэлементов в карбонатных породах, были использованы для сравнительной характеристики металлоносности матричной нефти Оренбургского месторождения.

Для анализа была выбрана группа из 20 элементов, в которую вошли цветные, благородные, редкие и редкоземельные металлы, в том числе металлы, отнесенные к числу стратегических в России [9]: бериллий Be, ванадий V, галлий Ga, германий Ge, иттрий Y, кобальт Co, литий Li, марганец Mn, медь Cu, молибден Mo, никель Ni, свинец Pb, серебро Ag, скандий Sc, стронций Sr, сурьма Sb, титан Ti, уран U, хром Cr, цирконий Zr (табл. 2).

Таблица 2

Сравнительные данные о содержании некоторых микроэлементов в карбонатных породах, по К. Таркяну и К. Ведеполу [23], в высокомолекулярных компонентах Оренбургского НГКМ и в смолисто-асфальтеновых компонентах нефти различных месторождений Волго-Уральской нефтегазоносной провинции (ВУНГП) [5]

№ п/п	Микро-элемент	Символ	ПО, мкг/г	ВМК ОНГКМ (среднее), мкг/г	Кларк, мкг/г [23]	ВУНГП, мкг/г [5]	Соотношение ВМК ОНГКМ и кларка	Соотношение ВМК ОНГКМ и ВУНГП
1	Бериллий	Be	0,039	0,047	0,1	-	0,5	-
2	Ванадий	V	0,563	303,2	20	227,6	15,2	1,3
3	Галлий	Ga	0,11	1,74	4	0,16	0,4	11,1
4	Германий	Ge	0,09	0,16	0,2	-	0,8	-
5	Иттрий	Y	0,001	0,033	30	0,017	0,0	2,0
6	Кобальт	Co	0,253	0,363	0,1	0,207	3,6	1,8
7	Литий	Li	0,395	0,969	5	-	0,2	-
8	Марганец	Mn	0,288	1,36	11	1,73	0,1	0,8
9	Медь	Cu	0,433	4,72	4	31,28	1,2	0,2
10	Молибден	Mo	0,104	5,44	0,4	1,60	13,6	3,4
11	Никель	Ni	0,179	77,2	20	72,0	3,9	1,1
12	Свинец	Pb	0,068	1,26	9	2,01	0,1	0,6
13	Серебро	Ag	0,013	0,837	0,01	0,322	83,7	2,6
14	Скандий	Sc	0,382	1,122*	1	0,102	1,1	11,0
15	Стронций	Sr	0,076	4,10	610	2,85	0,0	1,4
16	Сурьма	Sb	0,009	1,07	0,2	0,08	5,4	13,4
17	Титан	Ti	0,568	3,63	400	5,24	0,0	0,7
18	Уран	U	0,002	0,237	2,2	0,016	0,1	14,8
19	Хром	Cr	0,336	4,24	10	10,84	0,4	0,4
20	Цирконий	Zr	0,01	0,235	19	0,352	0,0	0,7

*Среднее содержание скандия рассчитано по результатам исследования битумоидов центральной части ОНГКМ.

Сравнительный анализ показал, что содержания V, Co, Mo, Ni, Ag и Sb в компонентах битумоидов ОНГКМ значительно выше, чем кларки в карбонатных породах. Концентрации Ga, Y, Co, Mo, Ag, Sc, Sb и U в битумоидах матричной нефти ОНГКМ существенно превосходят содержание этих микроэлементов в среднем для смолисто-асфальтовых компонентов нефти различных месторождений Волго-Уральской нефтегазоносной провинции.

Необходимо отметить, что высокомолекулярные компоненты нефти ОНГКМ (асфальтены и смолы) содержат металлы (ванадий, никель, галлий, серебро) в достаточных концентрациях для их извлечения в виде товарных продуктов при глубокой переработке нефти [24, 25]. Технологический процесс извлечения в «хвостах» нефтепереработки редких, цветных и благородных металлов повышает рентабельность и устойчивость всего процесса добычи и глубокой переработки трудноизвлекаемой матричной нефти ОНГКМ. Добыча уникальных запасов трудноизвлекаемой металлоносной нефти на длительно разрабатываемых обустроенных месторождениях с развитой инфраструктурой, особенно на таких крупных, как Оренбургское НГКМ, значительно более рентабельна по сравнению с добычей газа, конденсата и нефти на вновь вводимых средних и малых месторождениях. Необходимо также отметить, что если задержка с введением в разработку рудных месторождений не приводит к необратимой потере их ресурсов, то ресурсы редких, редкоземельных и благородных металлов нефтяных и нефтегазоконденсатных месторождений либо закатываются в асфальт в составе дорожных битумов, либо передаются бесплатно в составе экспортируемых мазутов или тяжелых нефтей и успешно извлекаются и используются за рубежом в процессах глубокой нефтепереработки.

Поскольку содержание металлов в продуктивных отложениях месторождений углеводородов напрямую зависит от содержания в них высокомолекулярных компонентов, для оценки прогнозных ресурсов металлов необходимо провести подсчет геологических запасов высокомолекулярных компонентов нефти. Ввиду доказанной закономерности возрастания концентраций большинства элементов в ряду «парафины – масла – смолы бензольные – смолы спирто-бензольные – асфальтены» важно оценить не только суммарные запасы ВМК, но и запасы каждого компонента в отдельности [5, 12, 20, 21].

В лаборатории трудноизвлекаемых запасов углеводородов ИПНГ РАН была проведена оценка прогнозных ресурсов попутных компонентов матричной нефти – металлов в центральной части ОНГКМ [26]. Суммарные ресурсы ванадия V составили 86905,4 т, галлия Ga – 666,1 т, германия Ge – 44,2 т, иттрия Y – 5,3 т, меди Cu – 2829,2 т, молибдена Mo – 2769,2 т, никеля Ni – 20628,0 т, свинца Pb – 239,6 т, серебра Ag – 374,1 т, стронция Sr – 458,6 т, титана Ti – 2238,9 т, хрома Cr – 1284,4 т. На основе разработанных объемных моделей распределения концентраций металлов в продуктивных отложениях центральной части ОНГКМ были построены карты линейных прогнозных ресурсов ванадия, никеля, молибдена, серебра и галлия. Анализ таких карт в совокупности с другой информацией позволяет выделить наиболее перспективные участки месторождения для проведения опытных работ по добыче матричной нефти.

Безусловно, не все нефтегазоконденсатные и газоконденсатные месторождения обладают существенными ресурсами микроэлементов. Каждый конкретный объект требует детального изучения. Необходимо оценивать микроэлементный состав битумоидов, их количественное содержание в породах и компонентный состав, а также возможности извлечения. Например, в образцах АСПО и твердых парафинов Вуктыльского ГКМ (исследования на образцах микроэлементов проводились в испытательной лаборатории нефти и нефтепродуктов «Центра исследований и разработок») только концентрации кобальта Co, меди Cu и молибдена Mo превышают кларковые в 1,4–2,9 раза. Содержание большинства микроэлементов в исследованных пробах ниже предела обнаружения использованных методов масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой и атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно связанной плазмой.

Таким образом, оценка перспективности нефтегазоконденсатных и газоконденсатных месторождений как источников полиметаллического сырья должна проходить следующие этапы:

- I. Оценка микроэлементного состава в асфальто-смоло-парафиновых отложениях. Высокие концентрации микроэлементов в АСПО указывают на потенциальную металлоносность месторождения.
- II. Оценка суммарных и покомпонентных (асфальтенов, смол, масел) геологических запасов высокомолекулярных компонентов трудноизвлекаемой нефти:

1. проведение комплексных литолого-петрографических, петрофизических и геохимических исследований представительной коллекции керна, включающих лабораторное определение количественного содержания и компонентного (группового) состава битумоидов [27];
 2. разработка методики оценки содержания битумоидов (ВМК) в горных породах по данным геофизических исследований скважин;
 3. разработка методики определения по данным ГИС компонентного состава битумоидов (ВМК);
 4. построение геолого-геохимических объемных моделей распределения в объеме продуктивных отложений суммарных концентраций ВМК и отдельных компонентов ВМК – асфальтенов, смол спирто-бензольных, смол бензольных, масел;
 5. оценка запасов.
- III. Оценка ресурсов попутных компонентов матричной нефти – металлов:
1. лабораторная оценка микроэлементного состава в компонентах битумоидов – асфальтенах, смолах спирто-бензольных, смолах бензольных, маслах;
 2. разработка методики оценки прогнозных ресурсов металлов в продуктивных отложениях нефтегазоконденсатных и нефтяных месторождений;
 3. оценка ресурсов.
- IV. Разработка эффективных технологий добычи нефти с ее металлоносными высокомолекулярными компонентами.
- V. Разработка эффективных технологий глубокой переработки тяжелых фракций нефти, с целью производства светлых фракций и извлечения в «хвостах» производства ценных металлов и их товарных продуктов.

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. Распоряжение Правительства РФ от 29.08.2013 N 1535-р «Об утверждении государственной программы Российской Федерации «Развитие промышленности и

повышение ее конкурентоспособности» (в новой редакции)». http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_151472/ (Дата обращения 22.02.2019).

2. К 2020 году Россия откажется от импорта редкоземельных металлов. <https://rostec.ru/news/3323/> (Дата обращения 28.01.2019).

3. Что сдерживает освоение Томторского редкометального месторождения? <http://yakutiafuture.ru/2018/07/22/chto-sderzhivaet-osvoenie-tomtorskogo-redkometalnogo-mestorozhdeniya/> (Дата обращения 28.01.2019).

4. Белонин М.Д., Гольдберг И.С., Искрицкая Н.И., Грибков В.В. Повышение эффективности комплексного освоения месторождений тяжелых металлоносных нефтей и битумов // Геология нефти и газа. 1990. № 9. С. 2–4.

5. 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.

6. Муслимов Р.Х., Романов Г.В., Каюкова Г.П. и др. Комплексное освоение тяжелых нефтей и природных битумов пермской системы Республики Татарстан. Казань: Изд-во «Фэн» АН РТ, 2012. 396 с.

7. Нукенов Д.Н., Пунанова С.А., Агафонова З.Г. Металлы в нефтях, их концентрация и методы извлечения. М.: Геос, 2001. 77 с.

8. Поконова Ю.В. и др. Химия нефти / Под ред. З.И. Сюняева. Л.: Химия, 1984. 343 с.

9. 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. 22 с. http://www.ngtp.ru/rub/9/56_2012.pdf (Дата обращения 28.01.2019).

10. Якуцени С.П. Распространенность углеводородного сырья, обогащенного тяжелыми элементами-примесями. Оценка экологических рисков. Спб.: Недра, 2005. 372 с.

11. Пунанова С.А. Микроэлементы нафтидов в процессе онтогенеза углеводородов в связи с нефтегазоносностью: Автореф. дис. ... докт. геол.-минерал. наук. М., 2017. 46 с.

12. Дмитриевский А.Н., Скибицкая Н.А., Зекель Л.А., Прибылов А.А., Навроцкий О.К., Краснобаева Н.В., Доманова Е.Г. Состав и свойства природных высокомолекулярных

компонентов газоконденсатных и нефтегазоконденсатных месторождений // Химия твердого топлива. 2010. № 3. С. 67–77.

13. *Готтих Р.П., Писоцкий Б.И., Плотникова И.Н.* Информативность малых элементов в нефтяной геологии // Георесурсы. 2012. № 5(47). С. 24–31.

14. *Готтих Р.П., Писоцкий Б.И.* Элементы-примеси как индикаторы геодинамических обстановок нефтенакпления // Доклады Академии наук. 2010. Т. 433, № 4. С. 507–511.

15. *Занин Ю.Н., Замирайлова А.Г., Эдер В.Г.* Некоторые аспекты формирования баженовской свиты в центральных районах западно-сибирского осадочного бассейна // Литосфера. 2005. № 4. С. 118–135.

16. *Рихванов Л.П., Усольцев Д.Г., Ильенок С.С., Ежова А.В.* Минералогическо-геохимические особенности баженовской свиты Западной Сибири по данным ядерно-физических и электронно-микроскопических методов исследований // Известия Томского политехнического университета. 2015. Т. 326. № 1. С. 50–63.

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

18. Методические рекомендации по применению классификации запасов и ресурсов нефти и горючих газов (утверждено распоряжением Минприроды России от 1.02.2016 № 3-р). <http://rulaws.ru/acts/Rasporyazhenie-Minprirody-Rossii-ot-01.02.2016-N-3-r/> (Дата обращения 22.02.2019).

19. *Галян Е.Н.* Оренбургское нефтегазоконденсатное месторождение как источник полиметаллического сырья: Автореф. дис. ... канд. геол.-минерал. наук. М., 1996. 17 с.

20. *Скибицкая Н.А., Навроцкий О.К., Бурханова И.О., Большаков М.Н., Зекель Л.А.* Содержание металлов в высокомолекулярных компонентах нефти ранней стадии нефтегенерации (на примере Оренбургского НГКМ) // Труды Российского государственного университета нефти и газа им. И.М. Губкина. 2016. № 2(283). С. 23–34.

21. *Скибицкая Н.А., Навроцкий О.К., Бурханова И.О., Зекель Л.А., Большаков М.Н.* Распределение микроэлементов в высокомолекулярных компонентах нефти ранних стадий нефтегенерации в газонасыщенной части продуктивных отложений западной и восточной частей Оренбургского НГКМ // Актуальные проблемы нефти и газа. 2018. Вып. 3(22). <https://doi.org/10.29222/ipng.2078-5712.2018-22.art35>

22. *Вешев С.А., Степанов К.И., Васильева Т.Н.* Определение широкого круга элементов-примесей в нефтяных объектах. *Геохимия*. 2000. № 10. С. 1132–1136.
23. Справочник по геохимии. Под ред. Г.В. Войткевича, А.В. Кокина, А.Е. Мирошникова, В.Г. Прохорова М.: Недра, 1990. 480 с.
24. *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>
25. *Скибицкая Н.А., Гафаров Н.А.* Расчетное моделирование технологий добычи трудноизвлекаемых жидких углеводородов в объемных концентрациях ниже порога фильтрации из газоконденсатных отложений газоконденсатных и нефтегазоконденсатных месторождений // *Актуальные проблемы нефти и газа*. 2018. Вып. 1(20). <https://doi.org/10.29222/ipng.2078-5712.2018-20.art2>
26. *Скибицкая Н.А., Бурханова И.О., Большаков М.Н., Доманова Е.Г., Зекель Л.А.* Прогнозные ресурсы металлов – попутных компонентов матричной нефти Оренбургского НГКМ // *Актуальные проблемы нефти и газа*. 2018. Вып. 4(23). <https://doi.org/10.29222/ipng.2078-5712.2018-23.art23>
27. *Скибицкая Н.А., Кузьмин В.А., Доманова Е.Г., Большаков М.Н., Бурханова И.О., Марутян О.О., Пуго Т.А., Навроцкий О.К., Зекель Л.А., Прибылов А.А., Никулин Б.А.* Комплексный подход к изучению свойств пород-коллекторов нефти и газа нефтегазоматеринских карбонатных толщ месторождений углеводородов // *Каротажник*. 2014. № 7(241). С. 20–31.

Prospectivity of oil-gas-condensate and gas-condensate fields as polymetallic feedstock sources

N.A. Skibitskaya^{1*}, I.O. Burkhanova¹, M.N. Bolshakov¹, O.K. Navrotsky²

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

2 – Nizhne-Volzhsky Institute of Geology and Geophysics, Saratov

e-mail: *skibitchka@mail.ru

Abstract. The results of metal content study of Orenburg Oil-Gas-Condensate Field oil are generalized. The assessment plan of oil-gas-condensate and gas-condensate fields prospectivity for metals is described.

Keywords: high-molecular-weight components, matrix oil, asphaltenes, tars, Orenburg Oil-Gas-Condensate Field, rare and rare-earth, nonferrous and precious metals.

Citation: Skibitskaya N.A., Burkhanova I.O., Bolshakov M.N., O.K. 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.).

References

1. Order of the Government of the Russian Federation on 29.08.2013 No. 1535-r «Industry development and improvement of its competitiveness (in a new wording)». http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_151472/ (Accessed on 22.02.2019). (In Russ.).
2. Russia to give up importing rare earth metals by 2020. <https://rostec.ru/news/3323/> (Accessed on 28.01.2019). (In Russ.).
3. What is hindering the development of Tomtor rare metals deposit? <http://yakutiafuture.ru/2018/07/22/chto-sderzhivaet-osvoenie-tomtorskogo-redkometalnogo-mestorozhdeniya/> (Accessed on 28.01.2019). (In Russ.).
4. Belonin M.D., Gol'dberg I.S., Gribkov V.V., Iskritskaya N.I. Increasing efficiency of the integrated development of heavy metal-bearing oils and bitumens // Oil and Gas Geology. 1990. No. 9. P. 2–4. (In Russ.).
5. 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.
6. Muslimov R.Kh., Romanov G.V., Kayukova G.P. et al. Complex development of heavy oil and natural bitumen of Permian formation of the Republic of Tatarstan. Kazan: Fen, 2012. 396 p. (In Russ.).

7. *Nukenov D.N., Punanova S.A., Agafonova Z.G.* Metals in petroleum, their concentration and extraction methods. Moscow: Geos, 2001. 77 p. (In Russ.).
8. *Pokonova Yu.V.* et al. Petroleum chemistry / Ed. Z.I. Syunyaev. Leningrad: Khimiya, 1984. 343 p. (In Russ.).
9. *Sukhanov A.A., Yakutseni V.P., Petrova Yu.E.* Metalliferous potential of oils – assessment of development prospects and possible ways of implementation // *Neftegazovaya Geologiya. Teoriya I Praktika*. 2012. Vol. 7, No. 4. 22 p. http://www.ngtp.ru/rub/9/56_2012.pdf (Accessed on 28.01.2019). (In Russ.).
10. *Yakutseni S.P.* The prevalence of hydrocarbon raw materials enriched with heavy element-impurities. Assessment of environmental risks. Saint Petersburg: Nedra, 2005. 372 p. (In Russ.).
11. *Punanova S.A.* Microelements naftides in the process of ontogeny of hydrocarbons in connection with oil and gas content: Synopsis of doctoral thesis. Moscow, 2017. 46 p. (In Russ.).
12. *Dmitrievskii A.N., Skibitskaya N.A., Zekel’L.A., Pribylov A.A., Navrotskii O.K., Krasnobaeva N.V., Domanova E.G.* Composition and properties of the natural high-molecular-weight components of gas condensate and oil-gas condensate fields // *Solid Fuel Chemistry*. 2010. No. 3. P. 203–212.
13. *Gottikh R.P., Pisotsky B.I., Plotnikova I.N.* Informativity of trace elements in the oil geology // *Georesourcy*. 2012. No. 5(47). P. 24–31. (In Russ.).
14. *Gottikh R.P., Pisotskii B.I.* Impurity elements as geodynamic indicators of oil accumulation conditions // *Doklady Earth Sciences*. 2010. Vol. 433. No 2. P. 1026–1030.
15. *Zanin Yu.N., Zamirailova A.G., Eder V.G.* Some aspects of the Bazhenov formation genesis in the central parts of the West-Siberian sedimentary basin // *Litosfera*. 2005. No. 4. P. 118–135. (In Russ.).
16. *Rikhvanov L.P., Usoltsev D.G., Illenok S.S., Ezhova A.V.* Mineralogical and geochemical features of the bazhenov formation, West Siberia, according to nuclear physics and electron microscopic methods of research // *Bulletin of Tomsk Polytechnic University*. 2015. Vol. 326. No 1. P. 50–63. (In Russ.).
17. *Yaschenko I.G.* Vanadium carrier heavy oil // *Bulletin of Tomsk Polytechnic University*. 2012. Vol. 321. No 1. P. 105–111. (In Russ.).
18. Instructional guidelines on the application of the classification of the reserves and resources of oil and fire gases (approved by the order of the Ministry of Natural Resources and

Environment of the Russian Federation on 1.02.2016 No. 3-r). <http://rulaws.ru/acts/Rasporyazhenie-Minprirody-Rossii-ot-01.02.2016-N-3-r/> (Accessed on 22.02.2019). (In Russ.).

19. *Galyan E.N.* Orenburg oil and gas field as source of polymetallic raw materials: Synopsis of PhD thesis. Moscow., 1996. 17 p. (In Russ.).

20. *Skibitskaya N.A., Navrotsky O.K., Burkhanova I.O., Bolshakov M.N., Zekel L.A.* Metal content in high-molecular-weight components of early oil (object of study – Orenburg Oil-Gas-Condensate Field) // *Trudy RGU nefi i gaza imeni I.M. Gubkina*. 2016. No. 2(283). P. 23-34. (In Russ.).

21. *Skibitskaya N.A., Navrotsky O.K., Burkhanova I.O., Zekel L.A., Bolshakov M.N.* Microelement content of high-molecular-weight components of the early oil: the case of west and east sections of Orenburg Oil-Gas-Condensate Field // *Actual Problems of Oil and Gas*. 2018. Iss. 3(22). <https://doi.org/10.29222/ipng.2078-5712.2018-22.art35> (In Russ.).

22. *Veshev S.A., Stepanov K.I., Vasilieva T.N.* Determination of a wide range of trace elements in petroleum fields // *Geochemistry*. 2000. No. 10. P. 1132–1136. (In Russ.).

23. Reference book on geochemistry // Ed. G.V. Voitkevich, A.V. Kokin, A.E. Miroshnikov, V.G. Prokhorov. Moscow: Nedra, 1990. 480 p. (In Russ.).

24. *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). <https://doi.org/10.29222/ipng.2078-5712.2018-23.art22> (In Russ.).

25. *Skibitskaya N.A., Gafarov N.A.* Designed modeling of technologies for extraction of difficultable liquid hydrocarbons from gas condensate deposits of oil and gas condensate fields in volume concentrations below threshold of filtration// *Actual Problems of Oil and Gas*. 2018. Iss. 1(20). <https://doi.org/10.29222/ipng.2078-5712.2018-20.art2> (In Russ.).

26. *Skibitskaya N.A., Burkhanova I.O., Bolshakov M.N., Domanova E.G., Zekel L.A.* Matrix oil associated components possible resources (object of study – central section of orenburg oil-gas-condensate field) // *Actual Problems of Oil and Gas*. 2018. Iss. 4(23). <https://doi.org/10.29222/ipng.2078-5712.2018-23.art23> (In Russ.).

27. *Skribitskaya N.A., Kuzmin V.A., Domanova E.G., Bolshakov M.N., Burkhanova I.O., Marutyanyan O.O., Pugo T.A., Navrotsky O.K., Zekel L.A., Pribylov A.A., Nikulin B.A.* A comprehensive approach to studying the properties of oil-and-gas reservoir rocks in oil-and-gas carbonate formations in hydrocarbon fields // *Karotazhnik*. 2014. No. 7(241). P. 20–31. (In Russ.).