

Металлы в нефти месторождений Оренбургской области

Галина Алексеевна ПОНОМАРЕВА*

Оренбургский государственный университет, Оренбург, Россия

Статья посвящена изучению содержания металлов в нефти оренбургских месторождений.

Актуальность многолетних систематических исследований металлогении нефтей, ведущихся в лаборатории физических методов исследования Оренбургского государственного университета, связана как с теоретическими аспектами – проблемами миграции элементов, генезиса металлов и самой нефти, – так и с практическими – геолого-геохимическими вопросами оценки перспектив нефтегазоносности территорий, промышленно-сырьевым аспектом и экологическим.

Целью настоящей работы является выявление концентраций ряда металлов, в том числе и благородных, закономерностей их распределения и перспектив последующего извлечения в целях комплексного использования органоминерального сырья и для снижения негативного экологического влияния на территории нефтегазоносных районов. Объект исследования – концентрации металлов в нефтях.

Предмет – закономерности распределения металлов и перспективы их извлечения.

Задачи работы – определение содержания металлов в пробах нефти, выявление ассоциаций металлов и особенностей распределения их в литолого-стратиграфических уровнях. Образцы углеводородного сырья отбирались испытателем пластов в терригенных и карбонатных коллекторах Бузулукской впадины (Южно-Бузулукского и Мухано-Ероховского нефтегазогеологических районов), в которых сосредоточены крупнейшие месторождения нефти в области. Определение благородных металлов, кобальта и никеля выполнено атомно-абсорбционной спектрометрией (с применением авторского патентованного способа определения благородных металлов в углеродистых породах), остальные металлы определены спектральным эмиссионным анализом.

Результаты. Получены дополнительные данные по повышенным содержаниям ряда металлов – титана, ванадия, циркония, что позволяет рассматривать нефть и нефтепродукты как органоминеральное сырье при разработке технологий их извлечения. Выявлено, что повышенное накопление данных металлов в нефти указанных месторождений характерно для залежей верхнего девона и нижнего и среднего карбона. Характер распределения металлов, их близкие содержания и физико-химические свойства нефти в пластах различных месторождений могут свидетельствовать о сходных условиях их формирования и возможности корреляции пластов по микроэлементному составу.

Ключевые слова: металлы, нефть, закономерности распределения, экологические последствия, извлечение.

Введение
В нефти к настоящему времени обнаружено более 70 различных элементов, в том числе и металлов, концентрации которых изменяются в очень широких пределах – от следов до сотен граммов на тонну нефти, что стало возможным в результате развития аналитических методов. Повышенное содержание микроэлементов, как правило, характерно для высоковязких тяжелых нефтей и природных битумов. Изучение природных концентраций металлов в нефти имеет как теоретическое, так и прикладное значение. Так, в оренбургской нефти заключены значительные количества ванадия, титана и ряда других металлов [1, 2], что может позволить в ближайшем будущем расширить их минерально-сырьевую базу. По-видимому, наиболее заметная роль будет принадлежать ванадию, никелю [3], поскольку в настоящее время уже существуют технологии их извлечения из нефти.

С другой стороны, присутствие этих металлов в нефти, нефтепродуктах, природных битумах, асфальтитах и других продуктах нефтоидного ряда сильно осложняет процессы нефтепереработки. Наличие металлов в углеводородном сырье отрицательно сказывается на операциях очистки из-за того, что они представляют опасность для катализаторов, используемых во многих процессах переработки нефти и нефтепродуктов (каталитическом крекинге, гидрогенизации, гидрообессеривании и др.). Так, ванадий, находящийся в нефтяном топливе, катализирует окисление оксида серы (IV) SO_2 до оксида серы (VI) SO_3 , что в конечном итоге ведет к коррозии, приносит большой ущерб нефтеперерабатывающему оборудованию, установкам, снижает срок службы различных двигателей и котельных установок, а также ведет к загрязнению природной окружающей среды. Следует также отметить, что многие формы металлов, содержащихся в нефти, нефтяных отходах и нефтепродуктах, прежде всего ванадия, представляют серьезную экологическую опасность. Соединения металлов токсичны, они могут поражать органы дыхания, пищеварения, кровеносную и нервную системы, а также вызывать воспалительные и аллергические заболевания кожи. Проблемы экологических последствий при разработке нефтегазовых месторождений очевидны [4].

В связи с тем, что благородные металлы (золото, платина, палладий, серебро) являются высоколиквидным сырьем, весьма актуально изучение их содержания в нефтях. Платина и палладий являются уникальными катализаторами во многих процессах переработки нефти, очевидна экономическая целесообразность изучения их концентраций.

Помимо того, что из нефти производят различные виды топлив, смазочных масел, парафина, мазута, гудрона и многих других химических веществ, нефть может быть нетрадиционным источником получения различных металлов. Известно, что серу добывают из нефти, а также медь, ванадий, никель, ртуть и другие металлы [5]. В США две трети производства ванадия связано с его получением из нефти [5, 6]. В Калифорнии эксплуатируются золотосодержащие нефть [5]. В ряде месторождений нефти Оренбургской области в ней содержится до 150 г/т ванадия, до 100 г/т титана и несколько меньше никеля и других металлов, а также содержатся платина, палладий, золото и серебро [1, 2 и др.]. С теоретической точки зрения металлы в нефти представляют также интерес в связи с изучением металлонности углеродсодержащих формаций Восточного Оренбуржья и решением вопросов генезиса и природы самой нефти [7–9]. Особое внимание уделяется ванадию, никелю, меди, свинцу, титану, золоту, палладию, платине и другим элементам [10].

Целью работы являлось определение содержания металлов в нефти, оценка их содержания, закономерностей распределения и перспектив их последующего извлечения в целях комплексного использования органоминерального сы-

* galy.ponomareva@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-1167-5594>

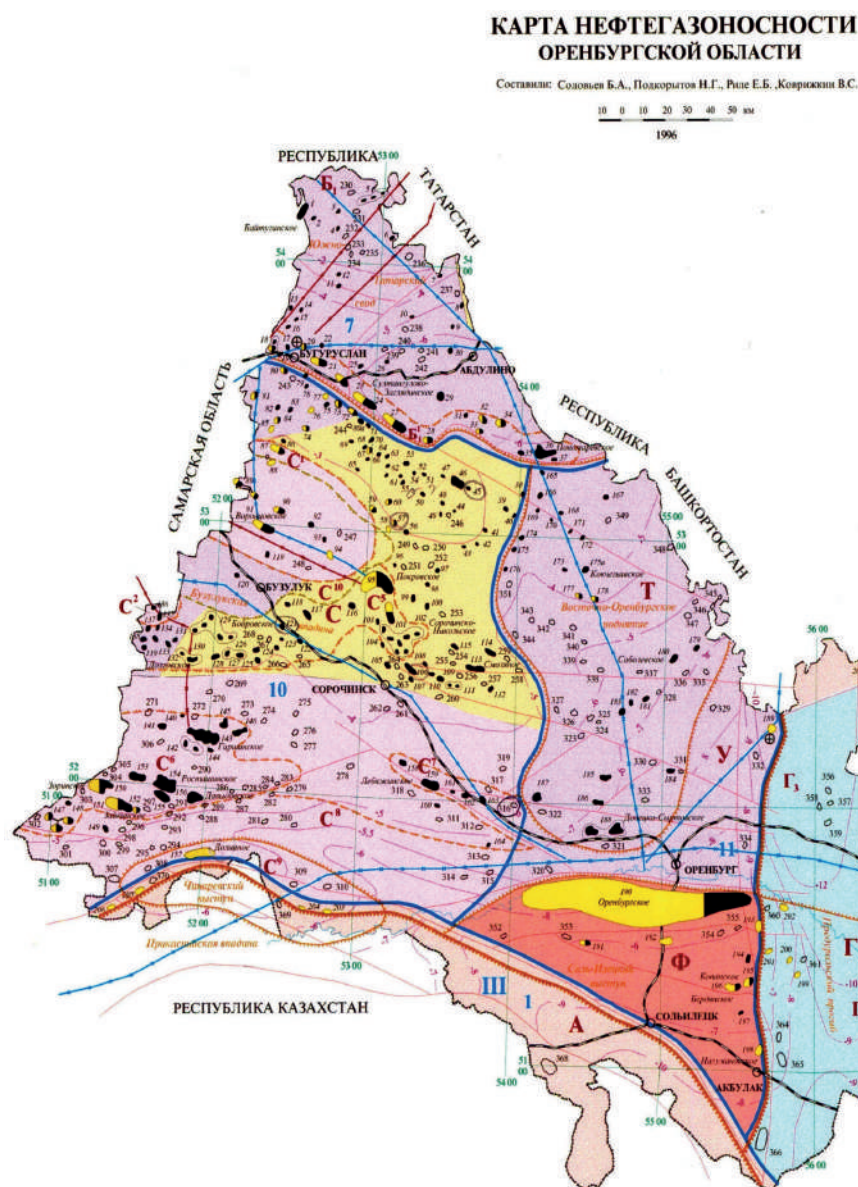


Рисунок 1. Выкопировка из карты нефтегазоносности Оренбургской области (по данным Б. А. Соловьева, Н. Г. Подкорытова, Е. Б. Риде, В. С. Коврижкина). Тектоническое районирование: Б – Татарский свод, Б₁ – Южно-Татарский свод, Б₁¹ – Большекинский валик; Г – южная часть Предуралья прогиба, Г₃ – Мраковская депрессия, Г₄ – Урало-Илекская седловина; С – Бузулукская впадина, С₁ – Кинельско-Самаркинская система валов, С₂ – Кулешовская система валов, С₅ – Бобровско-Покровский вал, С₆ – Камелик-Чаганская зона поднятий, С₇ – Сидоровско-Землянский вал, С₈ – Иргизско-Рубежинский палеопрогиб, С₉ – Чинаревский выступ, С₁₀ – Мухано-Ероховский наложенный прогиб; Т – Восточно-Оренбургское поднятие; У – Салмышская впадина; Ф – Соль-Илецкий выступ. Геологическое районирование: 7 – Южно-Татарская НГО, 10 – Бузулукская НГО, 11 – Оренбургская НГО, III – Прикаспийская НГП, 1 – Северо-Прикаспийская НГО.

Figure 1. Extract from the plan of petroleum potential of the Orenburg region (according to B.A. Solovyov, N. G. Podkorytov, E. B. Ride, V. S. Kovrizhkin). Tectonic classification plan: B – Tatarian dome fold, B₁ – Yuzhno-Tatarian dome fold, B₁¹ – Bolshekinelsky arch; G – the southern part of the Pre-Ural downwarp, G₃ – Mrakovskaya depression, G₄ – Uralo-Ilekskaya structural low; S – Buzuluskaya depression, S₁ – Kinelsko-Samarkinsky arch system, S₂ – Kuleshovsky arch system, S₅ – Bobrovsky-Pokrovsky arch, S₆ – Kamelik-Chaganskaya uplifts, S₇ – Sidorovsko-Zemlyansky arch, S₈ – Irgizsko-Rubezhinsky palaeodepression, S₉ – Chinarevsky outshot, S₁₀ – Mukhano-Erokhovskysuperimposed depression; T – Vostochno-Orenburgskoye uplift; U – Salmyshskaya depression; F – Sol-Iletsy outshot. Geological oil and gas zonation: 7 – Yuzhno-Tatarian petroleum bearing region, 10 – Buzuluskaya petroleum bearing region, 11 – Orenburgskaya petroleum bearing region, III – Caspian oil-and-gas province, 1 – North Caspian petroleum bearing region.

рья и для снижения негативного экологического влияния на территории нефтегазоносных районов. В связи с этим изучались их содержания и распределение металлов в нефти месторождений Бузулукской впадины (Южно-Бузулукский и Мухано-Ероховский нефтегазоносные районы) в Оренбургской области. Следует отметить, что именно здесь сосредоточены крупнейшие месторождения углеводородного сырья области.

Методы исследования и результаты

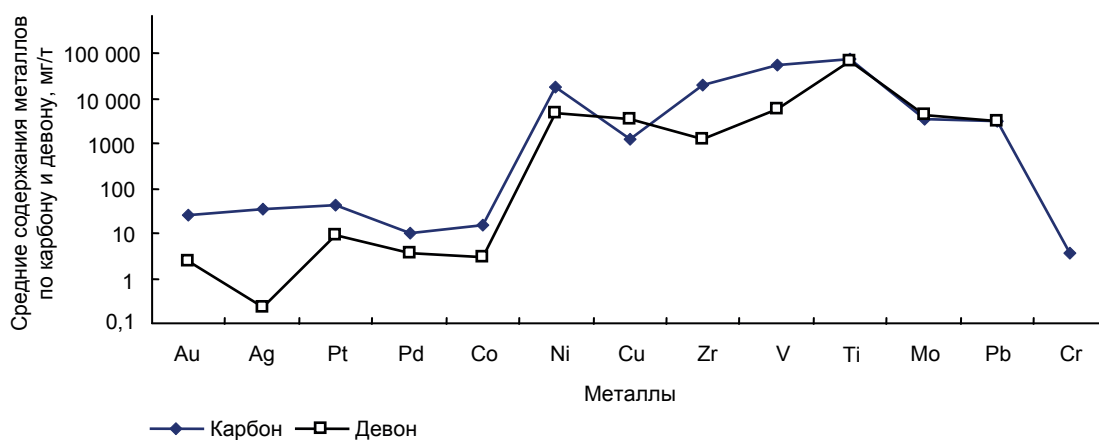
В основу анализа особенностей распределения металлов положены данные по месторождениям нефти Оренбургской части Волго-Уральской нефтегазоносной провинции, расположение которых показано на выкопировке из карты нефтегазоносности Оренбургской области (рис. 1).

В региональном плане они приурочены к Бузулукской впадине (структура первого порядка по поверхности кристаллического фундамента и осадочному чехлу) [11]. Нами исследованы пробы нефти на содержание металлов из следу-

**Содержание металлов в нефти месторождений Оренбургской области, г/т.
The metal content in the oil deposits of the Orenburg region, g/t.**

Объект исследования	Содержание тяжелых металлов, г/т								
	Cu	Pb	Ni	Cr	Co, мг/т	V	Ti	Mo	Zr
Месторождения Бузулукской впадины	1-4*	3-4	3,7-79,9	3-15	1-63	5-150	50-100	1,5-5	10-30
	2	2	13	3	12	43	76	3	18

*В числителе указан диапазон содержаний металлов, г/т, в знаменателе – среднее значение.



**Рисунок 2. Металлы в месторождениях нефти Оренбургской области. Ось ординат – логарифмический масштаб.
Figure 2. Metals in the oil fields of the Orenburg region. Axis of ordinates – logarithmic scale.**

ющих пластов: Бобровское месторождение, пласты O₂ и O₃, Покровское – A₃, A₄ и B₂, Тананыкское месторождение – B₂, Долговское месторождение – T₁, Пронькинское – A₄, Сахаровское – D₄, Гаршинское – A₄, T₁ и T₂, Росташинское – B₂, D₃, D₄, D₅ [11].

Средние содержания ряда металлов в нефти месторождений Оренбургской области представлены в таблице. Для определения золота, серебра, палладия, платины, кобальта и никеля в нефти использован метод атомно-абсорбционной спектроскопии (ААС), спектрометр фирмы «Люмэкс» МГА-915 с электротермическим атомизатором. Навеску нефти 20 г обрабатывали кислотами, затем озоляли в муфельной печи. Поскольку определение металлов на спектрометре выполняется из растворов, металлы из зольного остатка переводили в минеральные растворы с помощью кислотного травления. При низких содержаниях благородных металлов применяли концентрирование, позволяющее также снизить влияние матричных элементов. При определении металлов использовалась методика выполнения измерений МВИ М 01-29-2006. Для определения благородных металлов – методика КХА № 430-Х с применением собственного патентованного способа окисления углеродной основы (Патент РФ № 2409810). Содержания остальных металлов определены эмиссионным спектральным полуколичественным анализом (ПКСА). Специально подготовленный сухой остаток нефти анализировали на спектрографе СТЭ-1. Заверка результатов ПКЭСА по никелю проводилась методом атомной абсорбции и показала хорошую воспроизводимость результатов анализа. Средние значения концентраций металлов в пятнадцати пробах из девонских и каменноугольных отложений составили, мг/т: Pt – 29; Pd – 9,5; Au – 22; Ag – 31; Co – 12; г/т: Ni – 13 (ААС), 4 (ПКСА); Cu – 2; Pb – 2; Cr – 3; V – 43; Ti – 76; Mo – 3; Zr – 18.

Обсуждение результатов

Согласно полученным данным, нефть обогащена титаном, ванадием, цирконием (76, 43 и 18 г/т соответственно). Содержание меди, свинца, молибдена, хрома составляет около 2–3 г/т. Концентрация кобальта в нефти самая низкая из перечисленных металлов. Хром обнаружен только в 7 пробах нефти. Нефть, как следствие, условно подразделяют на геохимические типы (никелевый, ванадиевый и т. д.), при этом нефти Волго-Уральской нефтегазоносной провинции относятся к ванадиевому типу [3, 5, 12 и др.] что и подтверждается полученными данными.

Содержание благородных металлов в нефти – около $n \cdot 10$ мг/т, что превосходит средние концентрации их в осадочных породах (в черных сланцах и углях) – $n \cdot 0,1 - n \cdot 1,0$ мг/т [6].

Характер распределения металлов в нефтях девонских и каменноугольных коллекторов месторождений Оренбургской области представлен на рис. 2–4. На диаграммах отчетливо выделяется ассоциация элементов Ti + V + Zr + Ni в виде их максимума. В отложениях карбона наблюдаются повышенные содержания, как правило, всех металлов по сравнению с девоном (исключение составляют Cu, Mo). Практически во всех коллекторах карбона установлено присутствие Cr, тогда как в отложениях девона он отсутствует. Ассоциация благородных металлов в отложениях карбона (Pt + Ag + Au) отличается от таковой девона (Pt + Au) (рис. 2).

На диаграмме (рис. 3) изображен характер распределения металлов в нефти карбонатных и терригенных отложений каменноугольного возраста, который во многом схож (рис. 3, а), но в терригенных коллекторах наблюдается накопление Ag, Ni, V и Cr, а в карбонатных Au и Pd.

В терригенном девоне содержания большинства металлов в нефти выше, чем в девонских карбонатных фациях. Исключение составляют Ni и Cu (рис. 3, б).

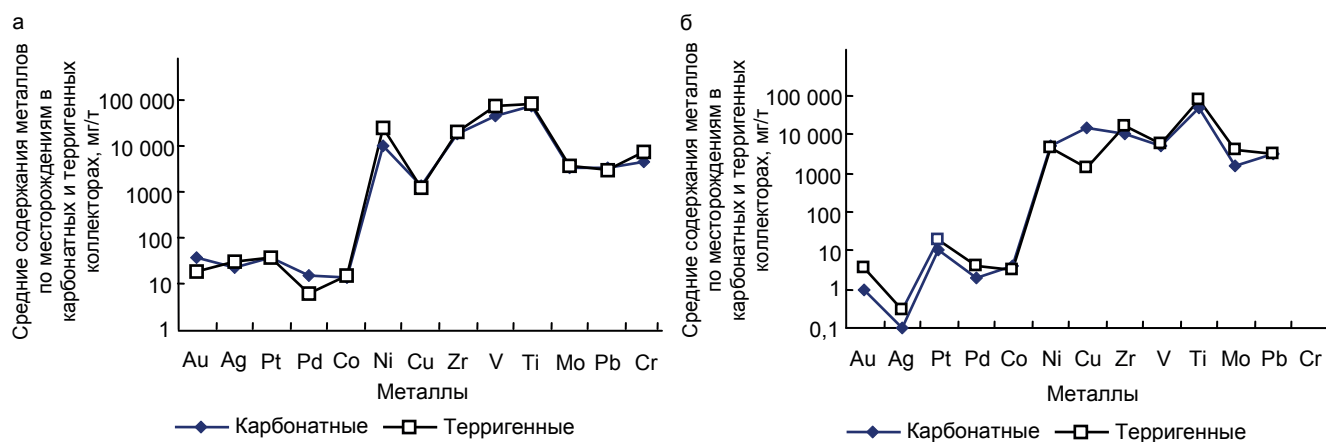


Рисунок 3. Металлы в месторождениях нефти Оренбургской области. а – карбон, б – девон; ось ординат – логарифмический масштаб. Figure 3. Metals in the oil fields of the Orenburg region. a – carbon; b – devon; axis of ordinates – logarithmic scale.

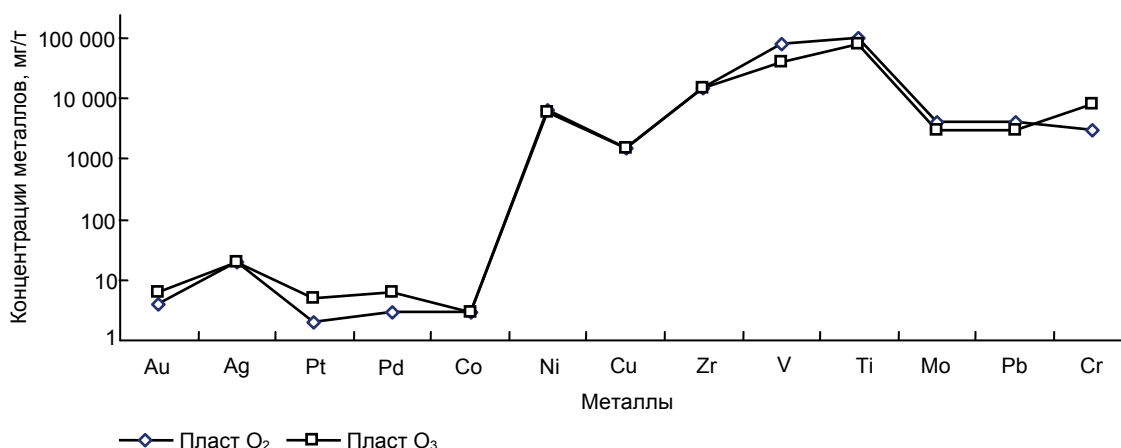


Рисунок 4. Концентрации металлов в пластах O₂ и O₃ Бобровского месторождения Бузулукской впадины. Ось ординат – логарифмический масштаб. Figure 4. Concentrations of metals in the O₂ and O₃ strata of the Bobrovsky deposit of the Buzulukskaya depression. Axis of ordinates – logarithmic scale.

Изучение геохимии металлов в литолого-стратиграфических разрезах месторождений позволяет выявить следующее. В Росташинском нефтегазоконденсатном месторождении самые высокие их содержания (Au, Pd, Pt, Ni, Cu, Ti) приурочены к пласту Д₃ (терригенные отложения) верхнего девона, а выше по разрезу (терригенные отложения нижнего карбона, пласт Б₂) они, как правило, снижаются. Содержание никеля практически не меняется от пласта Д₅ (карбонатные отложения) к пласту Б₂, хотя неявно выраженный максимум приходится на пласт Б₂. На Покровском месторождении максимальная концентрация металлов приходится на пласт А₄ (карбонатные породы среднего карбона) в сравнении с пластами А₃ и Б₂ нижнего и среднего карбона (терригенные отложения). Для нефти пласта А₄ характерно и более высокое содержание никеля.

Для нефти Тананьковского месторождения пласта Б₂ характерны повышенные содержания практически всех металлов: никеля, хрома, ванадия, титана, молибдена, меди, циркония и благородных металлов – платины и золота.

Таким образом, накопление указанных металлов на изученных месторождениях происходило в верхнем девоне и нижнем и среднем карбоне.

Сходный характер распределения тяжелых металлов и их близкие содержания и физико-химические свойства нефти в пластах О₂ и О₃ [13] (карбонатные отложения нижнего карбона) Бобровского месторождения могут свидетельствовать о сходных условиях их формирования (рис. 4).

При анализе содержаний металлов в коллекторах девонских и карбоновых осадочных формаций выявляется корреляция концентраций тяжелых металлов по пластам Д₄ (терригенные отложения) Сахаровского и Росташинского месторождений (рис. 5), по пластам Б₂ (терригенные отложения) Тананьковского и Покровского месторождений (рис. 6). Пласт Б₂ Росташинского месторождения коррелирует практически по всем металлам с пластами Б₂ Покровского и Тананьковского месторождений.

Следует отметить, что при сжигании нефти и нефтепродуктов происходит концентрирование содержащихся в исходном сырье тяжелых металлов. Зольность нефтей составляет от сотых процента, таким образом, зола содержит в порядок и более количества металлов по сравнению с исходным сырьем. При этом получение металлов из нефти и нефтепродуктов не требует вскрытия залежей, взрывных работ, вывоза руды из карьеров, дробления, обогащения руды и других технологических процессов. Поэтому в настоящее время представляется экономически целесообразным поиск технологий получения металлов из нефти и нефтепродуктов.

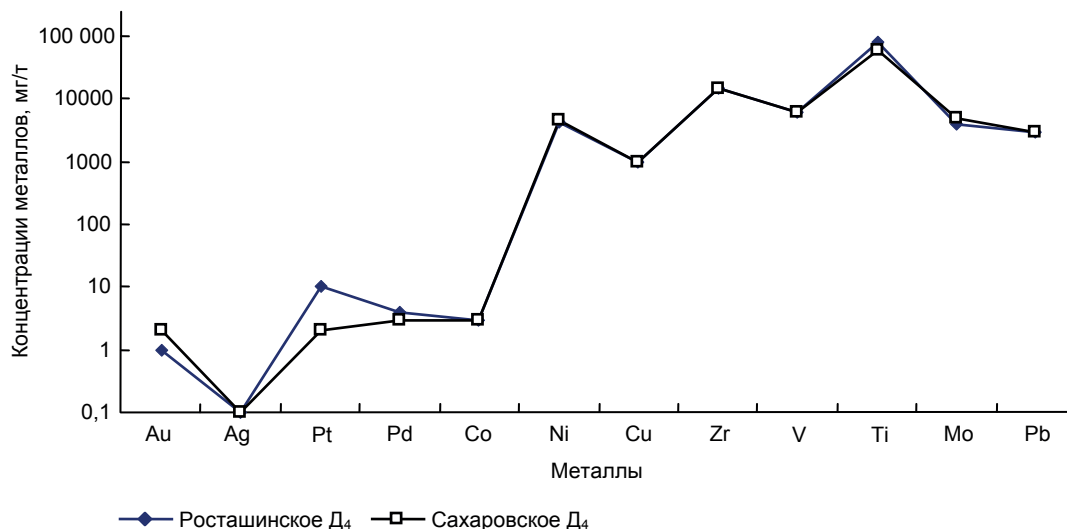


Рисунок 5. Концентрации металлов в пластах D₄ Сахаровского и Росташинского месторождений Бузулукской впадины. Ось ординат – логарифмический масштаб.
Figure 5. Concentrations of metals in the D₄ strata of the Sakharovskoe and Rostashinskoye deposits of the Buzulukskaya depression. Axis of ordinates – logarithmic scale.

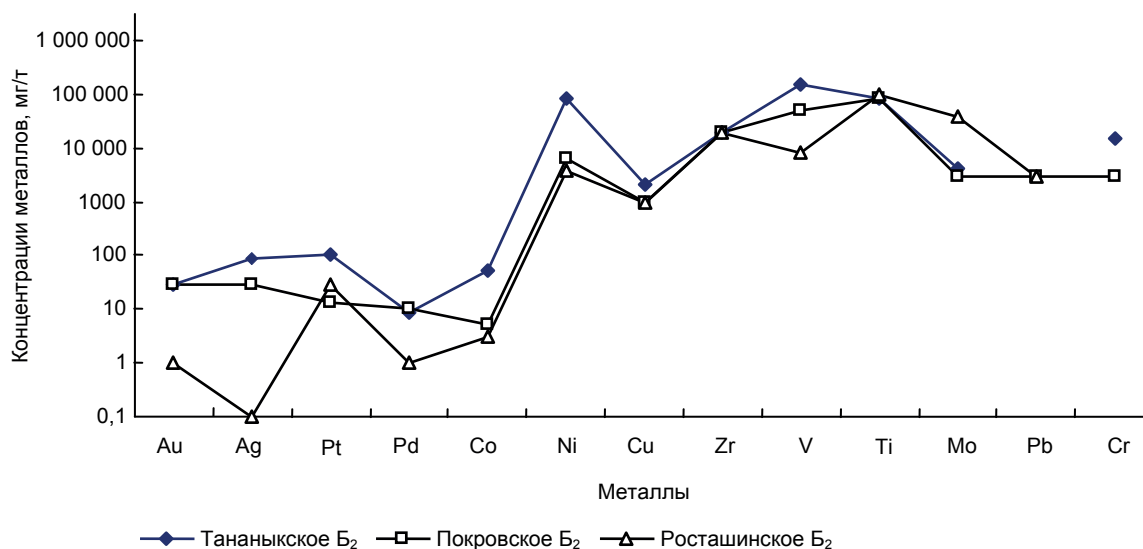


Рисунок 6. Концентрации металлов в пластах B₂ Тананыкского, Росташинского и Покровского месторождений Бузулукской впадины. Ось ординат – логарифмический масштаб.
Figure 6. Metal concentrations in the B₂ formations of the Tananykское, Rostashinskoye and Pokrovskoye deposits of the Buzulukskaya depression. Axis of ordinates – logarithmic scale.

Из шламов, получаемых при переработке высоковязких нефтей и битумоносных песков, извлекается около 70 % ванадия в мире. Некоторые страны (Канада, Япония) полностью получают ванадий из тяжелых нефтей. Поэтому повышенные концентрации металлов в оренбургских нефтяных месторождениях также представляют интерес как попутные компоненты. В нашей стране также ведутся работы по поиску технологий извлечения металлов из нефти и нефтепродуктов, но пока эффективных способов не найдено [14].

Заключение

В результате проведенных исследований получены дополнительные данные по содержанию ряда металлов (медь, свинец, хром, титан, молибден, цирконий, ванадий, никель, кобальт – биогенные, согласно [15], а также золота, серебра, палладия и платины) в нефтях месторождений Бузулукской впадины Оренбургской части Волго-Уральской нефтегазодобывающей провинции. Анализ содержания металлов в этих месторождениях позволяет сделать выводы о распределении изученных элементов:

- нефти оренбургских месторождений обогащены рядом металлов, таких как титан, ванадий, цирконий.
- наиболее высокие содержания металлов приходятся на Тананыкское, Покровское, Пронькинское и Бобровское нефтегазовые месторождения;
- разновозрастные уровни отличаются характером накопления и распределения изученных металлов; сравнительно высокие концентрации в нефти металлов обнаружены в отложениях нижнего и среднего карбона.

Полученные результаты позволяют рассматривать нефть и нефтепродукты платформенного Оренбуржья как ценное органоминеральное сырье.

ЛИТЕРАТУРА

1. Пономарева Г. А., Панкратьев П. В., Хальзов А. А. Микроэлементный состав нефти Оренбургских месторождений // Вестник ОГУ. 2012. № 1. С. 125–131.
2. Пономарева Г. А. Металлогеническая специализация нефтегазовых месторождений Оренбургской части Волго-Уральской нефтегазоносной провинции и возможность извлечения металлов из углеводородного сырья // Университетский комплекс как региональный центр образования, науки и культуры: сб. статей всерос. науч.-метод. конф. Оренбург: ООО ИПК, 2018. С. 1081–1084.
3. Punanova S. A. Supergene transformed naphthides: peculiarities of trace-elements composition // Geochemistry International. 2014. Т. 52, № 1. P. 64–75. <https://doi.org/10.1134/S0016702913110086>
4. Punanova S. A., Vinogradova T. L. Geochemical features of mature hydrocarbon systems and indicators of their recognition // Geochemistry International. 2016. Т. 54, № 9. P. 852–859. <https://doi.org/10.1134/S0016702916080103>
5. Маракушев А. А., Панеях Н. А., Русинов В. Л., Зотов И. А. Парагенезисы рудных металлов углеводородной спецификации // Изв. вузов. Геология и разведка. 2007. № 6. С. 33–40.
6. Лазаренков В. Г., Таловина И. В. Геохимия металлов платиновой группы. СПб.: Галарт, 2001. 266 с.
7. Иванов К. С. О возможной максимальной глубине нахождения месторождений нефти // Изв. УГГУ. 2018. Вып. 4(52). С. 41–49. <https://doi.org/10.21440/2307-2091-2018-4-41-49>
8. Sverjensky D. A., Stagno V., Fang Huang. Important role for organic carbon in subduction-zone fluids in the deep carbon cycle // Nature Geoscience. 2014. Vol. 7. P. 909–913. <https://doi.org/10.1038/ngeo2291>
9. Rodkin M. V., Rundkvist V. B., Punanova S. A. The relative role of lower and upper crustal processes in the formation of trace elements compositions of oil // Geochemistry International. 2016. Т. 54, № 11. P. 989–995. <https://doi.org/10.1134/S0016702916090068>
10. Шпирт М. Я., Пуанова С. А. Нефти и сланцы как источник промышленного получения потенциально ценных элементов // Нефтяное хозяйство. 2017. № 4. С. 58–62. <https://doi.org/10.24887/0028-2448-2017-4-58-62>
11. Баранов В. К., Галимов А. Г., Денцкевич И. А. и др. Геологическое строение и нефтегазоносность Оренбургской области. Оренбург: Оренбург. кн. изд-во, 1997. 272 с.
12. Punanova S. Geochemical Peculiarities of the Distribution of Trace Elements in Caustobioliths // Geophysical Research Abstracts: EGU General Assembly. Goettingen, 2016. Vol. 18. P. 6.
13. Шарاپова И. И., Коломенская Е. А., Коломенская А. В. Государственный баланс запасов полезных ископаемых Российской Федерации / под ред. В. Г. Рубан. Вып. 60. Нефть. Т. V. Уральский регион. Комитет РФ по геологии и использованию недр. Российский федеральный геологический фонд. М., 1996. С. 3–34, 412–600.
14. Нуранбаева Б. М., Ахмеджанов Т. К., Исмагилова Л. Т. Способ и технологические схемы извлечения ванадия и других металлов из нефти и нефтепродуктов при их подготовке // Современные наукоемкие технологии. 2013. № 4. С. 49–52.
15. Bowen H. J. M. Trace Elements in Biochemistry. London: Academic Press, 1966. 241 p.

Статья поступила в редакцию 12 февраля 2019 г.

Metals in oil of the deposits of the Orenburg region

Galina Alekseevna PONOMAREVA*

Orenburg State University, Orenburg, Russia

This paper is devoted to the study of the content of metals in oil of the Orenburg fields.

The relevance of continuous research on the metallogeny of petroleum conducted in the laboratory of physical research methods at the Orenburg State University is connected both with theoretical aspects (problems of element migration, the genesis of metals and the oil itself) and practical aspects (geological and geochemical issues of estimating oil and gas potential of territories, industrial raw material aspect and environmental issues).

The purpose of this work is to identify the concentrations of a number of metals, including noble ones, the patterns of their distribution and prospects for subsequent extraction in order to comprehensively use organic raw materials and to reduce the negative environmental impact on the territory of oil and gas regions. The object of study is the concentration of metals in oil.

The subject is the patterns of distribution of metals and the prospects for their extraction.

The tasks of the work are to determine the content of metals in oil samples, to identify associations of metals and their distribution in lithologic and stratigraphic levels. Samples of hydrocarbons were selected by a reservoir tester in terrigenous and carbonate reservoirs of the Buzulukskaya depression (Yuzhno-Buzuluksky and Mukhano-Erokhovskiy oil, gas, and geological regions), which contain the largest oil fields in the region. The determination of noble metals, cobalt, and nickel was carried out by atomic absorption spectrometry (using the author's patented method of determining noble metals in carbonaceous rocks); the other metals were determined by spectral emission analysis.

Results. Additional data were obtained on the elevated concentrations of a number of metals – titanium, vanadium, and zirconium, which makes it possible to consider oil and oil products as organic minerals when developing technologies for their extraction. It was revealed that the increased accumulation of these metals in the oil of these deposits is typical for the deposits of the Upper Devonian and the Lower and Middle Carboniferous. The way of the distribution of metals, their close contents and the physical and chemical profile of oil in reservoirs of various fields may indicate similar conditions of their formation and the possibility of reservoir correlation with the mineral assemblage.

Keywords: metals, oil, patterns of distribution, environmental consequences, extraction.

REFERENCES

1. Ponomareva G. A., Pankratiev P. V., Halzov A. A. 2012, The mineral assemblage of oil from the Orenburg fields. *Vestnik OGU* [Vestnik of the Orenburg State University], no. 1, pp. 125–131. (In Russ.)
2. Ponomareva G. A. 2018, *Metallogenicheskaya spetsializatsiya neftegazovykh mestorozhdeniy Orenburgskoy chasti Volgo-Ural'skoy neftegazonosnoy provintsii i vozmozhnost' izvlecheniya metallov iz uglevodородного syr'ya* [Metallogenic specialization of oil and gas fields of the Orenburg part of the Volga-Ural oil and gas province and the ability to extract metals from hydrocarbons]. University complex as a regional center of education, science, and culture: collection of papers of all-Russian science conference. Orenburg, pp. 1081–1084.
3. Punanova S. A. 2014, Supergene transformed naphthides: peculiarities of trace-elements composition. *Geochemistry International*, vol. 52, no. 1, pp. 64–75. <https://doi.org/10.1134/S0016702913110086>
4. Punanova S. A., Vinogradova T. L. 2016, Geochemical features of mature hydrocarbon systems and indicators of their recognition. *Geochemistry International*, vol. 54, no. 9, pp. 852–859. <https://doi.org/10.1134/S0016702916080103>
5. Marakushev A. A., Paneyah N. A., Rusinov V. L., Zotov I. A. 2007, Paragenesis ores of hydrocarbon specificity. *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedeniy. Geologiya i Razvedka* [Proceedings of Higher Schools. Geology and Exploration], no. 6, pp. 33–40. (In Russ.)
6. Lazarenkov V. G., Talovina I. V. 2001, *Geokhimiya metallov platinovoy gruppy* [Geochemistry of platinum group metals]. Saint-Petersburg, 266 p.
7. Ivanov K. S. 2018, About the possible maximum depth of oil deposits. *Izvestiya UGGU* [News of the Ural State Mining University], issue 4 (52), pp. 41–49. (In Russ.) <https://doi.org/10.21440/2307-2091-2018-4-41-49>
8. Sverjensky D. A., Stagno V., Fang Huang. 2014, Important role for organic carbon in subduction-zone fluids in the deep carbon cycle. *Nature Geoscience*, vol. 7, pp. 909–913. <https://doi.org/10.1038/ngeo2291>
9. Rodkin M. V., Rundkvist V. B., Punanova S. A. 2016, The relative role of lower and upper crustal processes in the formation of trace elements compositions of oil. *Geochemistry International*, vol. 54, no. 11. P. 989–995. <https://doi.org/10.1134/S0016702916090068>
10. Shpirt M. Ya., Punanova S. A. 2017, Oil and schists as a source of industrial production of potentially valuable elements. *Neftyanoye khozyaystvo* [Oil industry], no. 4, pp. 58–62. (In Russ.) <https://doi.org/10.24887/0028-2448-2017-4-58-62>
11. Baranov V. K., Galimov A. G., Donskevich I. A. et al. 1997, *Geologicheskoye stroeniye i neftegazonosnost' Orenburgskoy oblasti* [Geological structure and oil and gas potential of the Orenburg region]. Orenburg, 272 p.
12. Punanova S. 2016, Geochemical Peculiarities of the Distribution of Trace Elements in Caustobololiths. Geophysical Research Abstracts: EGU General Assembly. Goettingen, vol. 18, p. 6.
13. Sharapova I. I., Kolomenskaya E. A., Kolomenskaya A. V. 1996, *Gosudarstvennyy balans zapasov poleznykh iskopayemykh Rossiyskoy Federatsii* [State Register of Mineral Reserves of the Russian Federation]. Ed. by V. G. Ruban, issue 60. Oil, vol. V. Ural region. RF Committee on Geology and Subsoil Use. Russian Federal Geological Fund. Moscow, pp. 3–34, 412–600.
14. Nuranbaeva B. M., Akhmedzhanov T. K., Ismagilova L. 2013, Method and technological schemes for the extraction of vanadium and other metals from petroleum and petroleum products during their preparation. *Sovremennyye naukoymkiye tekhnologii* [Modern high technologies], no. 4, pp. 49–52. (In Russ.)
15. Bowen H. J. M. 1966, Trace Elements in Biochemistry. London: Academic Press, 241 p.

The article was received on February 12, 2019

* ✉ galy.ponomareva@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-1167-5594>