

О статистических закономерностях концентрации металлов в УВ и рудных месторождениях

DOI: 10.24411/2076-6785-2019-10028

М.В. Родкин

д.ф.-м.н., главный научный сотрудник^{1,2}
rodkin@mitp.ru¹Институт теории прогноза землетрясений и математической геофизики РАН, Москва, Россия
²Институт проблем нефти и газа РАН, Москва, Россия

Рассматривается статистика обогащения МЭ состава нефтей относительно соседствующих георезервуаров. Показано, что наибольшее обогащение приходится на элементы, наиболее подвижные в условиях земной коры. Вторую группу обогащенных элементов формируют так называемые биогенные элементы, что отвечает тесной связи нефтей и органического вещества. Статистика МЭ состава и запасов УВ месторождений сравниваются со статистическими закономерностями, справедливыми для рудных месторождений и базирующимися на более богатом и доступном статистическом материале. Для рудных месторождений приводятся две новые статистические закономерности, указывающие на динамический существенно неравновесный характер формирования этих месторождений. Значительное единообразие статистических закономерностей, справедливых для УВ и рудных месторождений подкрепляет концепцию трактовки процесса формирования УВ месторождений как неравновесной динамической системы.

Материалы и методы

С использованием данных разных авторов проводится сравнение МЭ состава нефтей и среднего химического состава основных георезервуаров земной коры в сравнении с результатами ранее проведенного автором статистического анализа мировой базы данных по крупным и суперкрупным рудным месторождениям. Выявляются общие черты накопления МЭ в нефтях и процессов формирования рудных месторождений. Используются классические статистические методы анализа данных.

Ключевые слова

МЭ состав нефтей, статистика УВ и рудных месторождений, единообразие закономерностей формирования УВ и рудных месторождений

Введение

Считается установленным, что процесс нафтидогенеза носит комплексный характер и связан с совокупным взаимодействием биогенных, эндогенных и экзогенных факторов. При исследовании процессов нефтегенерации традиционно широко используются данные по концентрациям в нефтях микроэлементов (далее — МЭ). Применение масс-спектрометрии с ионизацией пробы в индуктивно связанной плазме (метод JCP-MS) существенно расширило возможности таких исследований. В недавних публикациях по этому вопросу [1, 2] анализировались корреляции концентраций МЭ в нефтях со средним химическим составом верхней, средней и нижней континентальной коры, биоты и других каустобиолитов (углей, горючих и черных сланцев). При этом, учитывая, что диапазон изменения концентраций различных элементов составляет несколько порядков величины, использовалась логарифмическая, а не линейная шкала концентраций. Такой подход позволил учитывать информацию о большом числе МЭ, концентрации которых весьма малы и потому при использовании обычной линейной шкалы фактически не учитываются.

Было показано [1, 2], что в то время как для углей и горючих и черных сланцев наиболее тесная связь наблюдается с химическим составом верхней коры, для нефтей выше корреляция концентраций МЭ с нижней континентальной корой. Исключением составили нефти осадочных бассейнов

Камчатки и нефтепроявлений кальдеры вулкана Узон. Для них сильнее оказалась связь с химическим составом верхней и средней, а не нижней коры. Полученный результат был интерпретирован в рамках модели массивированного нефтегенеза по схеме неравновесного проточного реактора [3], согласно которой при нафтидогенезе чрезвычайно важно промывание нефтегенерирующих толщ восходящим потоком молодых мобилизованных слабоминерализованных вод. Такой поток образуется в результате массивированной дегидратации погружающихся блоков земной коры, реализующейся в зонах надвигов и в областях активного рифтогенеза. В условиях аномально активного теплового режима Камчатки реакции дегидратации происходят на меньших глубинах, и восходящий поток флюида несет метку соответствующих менее глубоких горизонтов.

Важно также отметить, что корреляции, полученные для МЭ состава нефтей с составом биоты и различных горизонтов земной коры, существенно ниже аналогичных корреляций для глин, углей и сланцев, что указывает на большую сложность и полигенность процессов нефтегенеза.

Для понимания процессов нефтегенеза важны, однако, не только общие закономерности содержания в нефтях всей совокупности МЭ, но и соотношения вкладов разных групп МЭ, отражающие роль различных источников. В [2] отмечалось, что большую массовую долю в МЭ нефтей составляют так

Зола нефти относительно глины	Характерная величина обогащения для золы нефти	Средняя нефть относительно среднего состава земной коры, JCP-MS метод	Средняя нефть относительно среднего состава верхней коры, JCP-MS метод
<i>Hg</i>	5·10 ⁴	<i>Hg</i>	<i>Hg</i>
<i>Mo</i>	500	<i>Au</i>	<i>Au</i>
<i>Se</i>	400	<i>Sb</i>	<i>Re</i>
<i>V</i>	270	<i>Re</i>	<i>Sb</i>
<i>Au</i>	150	<i>Se</i>	<i>Se</i>
<i>Ni</i>	130	<i>Pd</i>	<i>Pd</i>
<i>Ag</i>	40	<i>Cd</i>	<i>Cd</i>
<i>Cs</i>	30	<i>Zn</i>	<i>Pt</i>
<i>Zn</i>	25	<i>Cu</i>	<i>Zn</i>
<i>As</i>	17	<i>As</i>	<i>Cu</i>
<i>Co</i>	15	<i>Ni</i>	<i>Ni</i>
<i>Cu</i>	5	<i>Pt</i>	<i>V</i>
<i>U</i>	5	<i>Pb</i>	<i>As</i>
<i>Cr</i>	5	<i>V</i>	<i>Bi</i>
		<i>Bi</i>	<i>Pb</i>

* Жирным шрифтом даны биогенные элементы, курсивом – высокоподвижные

Таблица — Микроэлементы в порядке уменьшения степени обогащения*
Table — Trace elements in decreasing order of enrichment

называемые биогенные элементы (конкретно, имелась в виду сумма концентраций V, Cr, Co, Ni, Cu, Zn), и что в различных пробах доля таких биогенных элементов и элементов, полагающихся глубинными, не коррелирует, что указывает на определенную независимость этих двух источников МЭ.

Вполне ожидаемо, что состав МЭ в нефтях отражает концентрацию соответствующих элементов в соседствующих георезервуарах. Но для понимания процессов нефтегенеза не менее важно определение степени обогащения различных групп МЭ относительно соседствующих георезервуаров и интерпретация такого обогащения. В [4] приводятся списки элементов, концентрации которых в нефтях и в предположительных нефтематеринских породах существенно превышают их среднее содержание в глинах. Отмечается, что концентрации некоторых МЭ в нефтях (в пересчете на золу или сухое вещество) сравнимы с концентрациями полезных компонент в рудных месторождениях. В данной работе рассматриваются обогащения МЭ состава нефтей относительно характерного состава земной коры. Получаемые статистические закономерности сравниваются с закономерностями, выявленными для рудных месторождений, дается интерпретация полученных результатов.

Методы и результаты

Характерные концентрации МЭ в нефтях по данным JCP-MS анализа и по составу золы нефти [1, 5] сравниваются со средними концентрациями элементов в верхней, средней и нижней континентальной коре и в глинах [6]. Данные, полученные методом JCP-MS, дают более полный список элементов, а данные анализа золы нефти удобнее для оценок величин обогащения в сравнении с химическим составом различных георезервуаров. В таблице приведен список элементов, для которых наблюдается значимая их концентрация в золе нефтей по отношению к кларковому содержанию в земной коре и в глинах. Отметим, что используются средние характерные данные; в пробах на разных месторождениях и в соседних скважинах различия концентраций могут достигать двух и одного порядка величины соответственно.

По значениям обогащения отчетливо выделяются две группы элементов. Максимальные обогащения характерны для так называемых высокоподвижных в условиях земной коры [7] элементов (Hg, Se, Mo, Sb, As, Cd, Pb, Bi и др.). Максимальные обогащения (для ртути) достигают $n \cdot 10^4$ раз, для других элементов достаточно часты обогащения в сотни раз. Меньшие величины обогащения (десятки-сотни раз) характерны для группы так называемых биогенных элементов (V, Ni, Cu, Zn, Cr, Co). Довольно часто фиксируются также значительные (иногда в сотню и более раз) обогащения для группы драгоценных металлов (Pt, Pd, Au, Ag). Список элементов со значимым обогащением довольно устойчив.

Приведенные результаты допускают ту естественную интерпретацию, что значительная часть МЭ наследуется нефтями от органического вещества. Высокий вклад подвижных элементов указывает на активность процессов миграции при формировании УВ месторождений. Отметим, что типичность высокой корреляции с химическим составом нижней

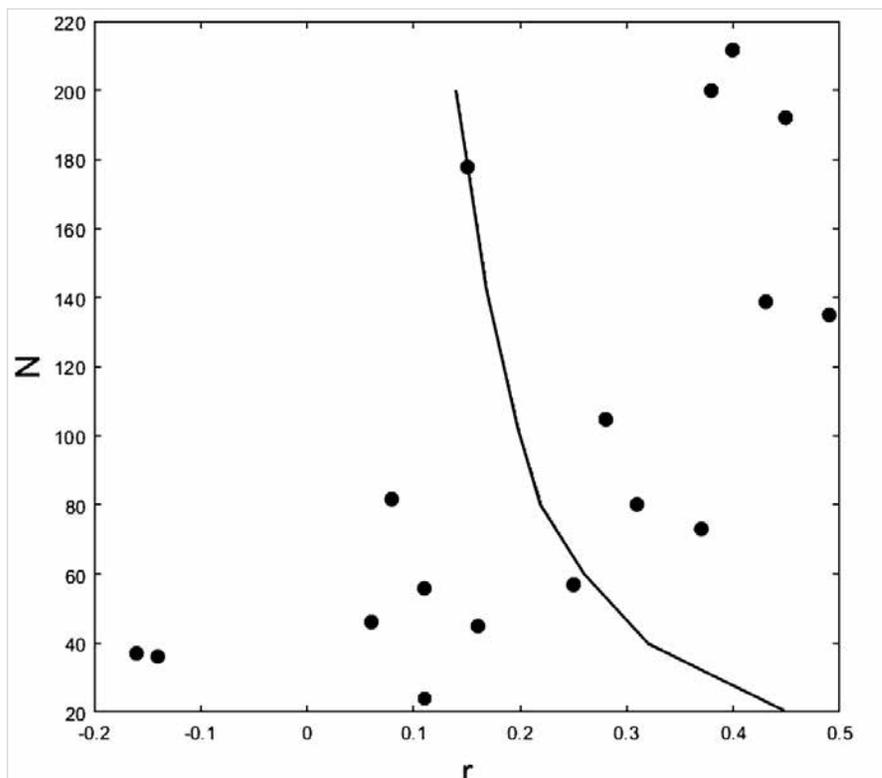


Рис. 1 — Связь между коэффициентом корреляции между величинами запасов и концентрациями рудного сырья в месторождениях (r) и числом месторождений данного типа (N), точки. Линией отделена область (справа) с вероятностью случайного возникновения корреляции менее 5%

Fig. 1 — The relationship between the correlation coefficient (r) between ore reserves and ore concentrations in deposits and the number (N) of ore deposits of a given type, black points. The line limits area (right) with probability of accidental correlation less than 5%

коры [1] явно указывает на вовлеченность в процесс миграции также и нижнекоровых флюидов.

Результаты по содержанию и концентрированию МЭ в нефтях полезно сопоставить с аналогичными процессами концентрирования при формировании рудных месторождений. В пользу вероятной продуктивности такого сопоставления можно привести ряд аргументов. Во-первых, разные авторы неоднократно отмечали определенную общность в концентрировании металлов в УВ и в рудных месторождениях. Применительно к скоплениям высоковязких тяжелых нефтей и вероятным областям развития палеоместорождений нефти грань между УВ и рудными месторождениями иногда почти стирается [5]. Определенное единообразие формирования УВ и рудных месторождений подкрепляется и тем, что величины концентрации рудных компонент в месторождениях часто сравнимы с концентрациями МЭ в нефтях (при пересчете на золу нефтей или на минеральное вещество). При этом статистика рудных месторождений часто разнообразнее и доступнее статистики УВ месторождений. Отсюда можно ожидать, что совместное исследование рудных и УВ месторождений и их сравнение окажется полезным для понимания не только процессов формирования МЭ облика УВ месторождений, но и для понимания процессов формирования собственно УВ месторождений.

Реализуя такое сравнение, прежде всего, рассмотрим основные характеристики рудных месторождений: объемы запасов и концентрации рудного вещества. Напомним, что распределения величин запасов различных

рудных месторождений описываются степенным законом распределения, а величины концентраций описываются логнормальным законом распределения [8, 9]. Такая совокупность законов распределения может сформироваться, например, если рудные месторождения формируются на основе объемов земной коры, распределенных по степенному закону, а сами месторождения формируются в ходе ряда последующих этапов обогащения исходного вещества земной коры. Такая интерпретация подкрепляется тем, что размеры (соответственно и объемы) блоков земной коры распределены также по степенному закону [10], отсюда можно предположить, что рудные месторождения формируются при переработке различных блоков земной коры, причем процесс обогащения не одноактный, а реализуется серией последовательных этапов обогащения. Модель такого процесса описана в [8, 9]. Для УВ месторождений также надежно установлена степенная зависимость числа месторождений от объема запасов [8, 11]. Единообразие законов распределения также указывает на определенную общность в характере механизмов формирования УВ и рудных месторождений.

Обоснует динамический характер рудных месторождений более полно. В [8, 9] отмечалось, что между величинами запасов и значениями концентраций руд наблюдается положительная обратная связь. Но статистическая значимость этой связи не рассматривалась. На рис. 1, на основе данных ГИС «Крупные и суперкрупные месторождения» [12], сопоставлены данные по числу месторождений для разных типов месторождений (Ag, Fe, Cu, иных) и значения коэффициента

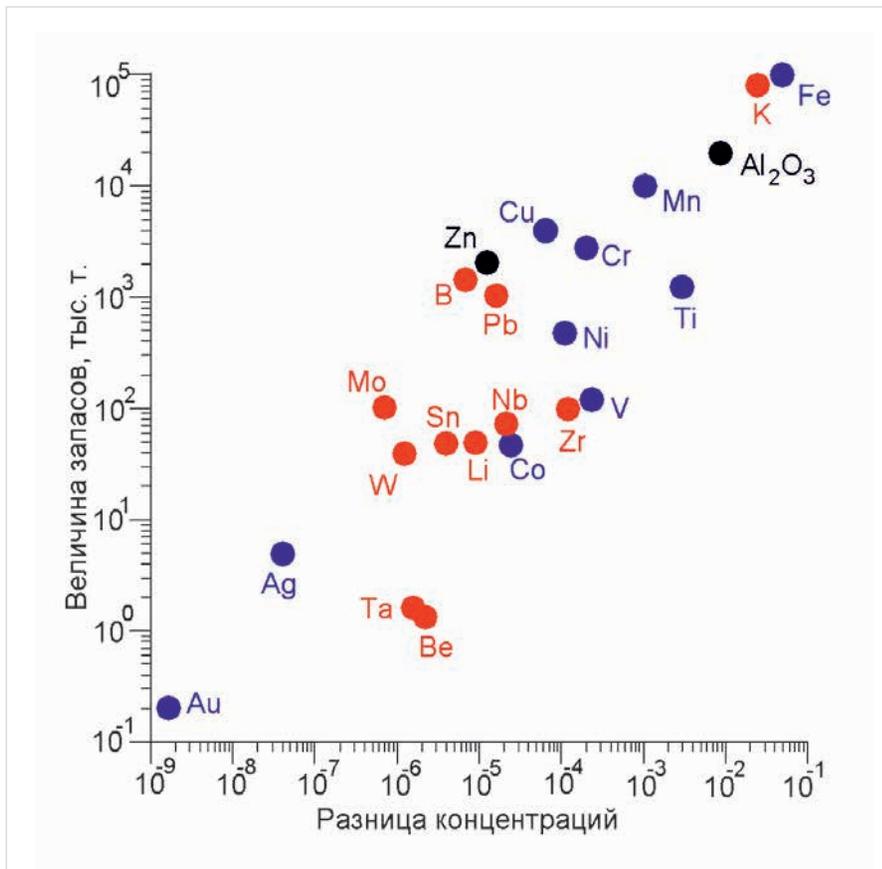


Рис. 2 — Соотношение между типичным объемом запасов месторождений и различием концентраций соответствующего элемента в верхней и нижней коре. Красными точками даны случаи большей концентрации (более двукратной) в верхней коре, синие точки отвечают большему содержанию в нижней коре, черные точки — без существенного изменения концентрации

Fig. 2 — The ratio between the typical reserves of ore deposits of a given type and the difference of concentrations of the corresponding element in the upper and the lower crust. Red dots show cases of greater concentration (more than double) in the upper crust, the blue dots correspond to a higher concentration in the lower crust, black dots — without significant changes in concentration

корреляции для них между указанными в базе данных значениями объемов запасов и характерными концентрациями рудной компоненты. Там же проведена линия, отделяющая справа область надежных корреляций (с вероятностью случайного возникновения менее 5%). Видно, что для значительной части типов месторождений наличие положительной корреляции между величинами запасов и концентрациями полезной компоненты статистически высокозначимо. Такая тенденция определенно указывает на формирование рудных месторождений как неравновесной динамической системы; при равновесном режиме формирования месторождений следовало бы ожидать слабой (возможно, незначимой) отрицательной корреляции.

На рис. 2 представлены значения разности средней концентрации различных химических элементов в резервуарах верхней и нижней коры (по данным [6]) в сопоставлении с характерными значениями величин запасов крупных месторождений разных видов минерального сырья ([13], таб. 1.2). Видно, что между этими характеристиками наблюдается тесная положительная корреляция (причем, даже несколько более тесная, чем в рамках вполне ожидаемой корреляции между объемами запасов и кларковыми содержаниями данного элемента в земной коре). Отсюда можно предположить, что

процесс формирования крупных рудных месторождений является продуктом преобразования больших объемов земной коры из одного корового резервуара (верхняя кора, нижняя кора) в другой. Физическим механизмом отделения рудных компонент может быть процесс отделения относительно менее совместимых компонент в процессах метаморфических превращений и подплавления горных пород [14]. Некий подобный механизм можно предположить и для УВ месторождений.

Итоги

Показано, что наибольшее обогащение МЭ состава нефтей относительно вмещающих и прилегающих георезервуаров приходится на элементы, полагаемые высококомобильными в условиях земной коры. Этот вывод подкрепляет ранее сделанное заключение о важности активного, в том числе глубинного корового, флюидного режима при формировании месторождений нефти. Вторую группу МЭ со значительным обогащением относительно вмещающих толщ земной коры формируют так называемые биогенные элементы, что отвечает определяющей роли органического вещества в формировании месторождений нефти.

Выводы

Данные по МЭ составу нефтей и статистике объемов запасов УВ месторождений

сравниваются с более полными и более доступными статистическими данными по рудным месторождениям. Подобие величин концентрирования МЭ в золе нефтей и в рудных месторождениях и общность степенного характера распределения числа месторождений от объемов запасов для УВ и рудных месторождений указывают на единообразный динамический характер процессов их формирования. Существенно неравновесный характер формирования рудных месторождений весомо подкрепляется представленными эмпирическими корреляциями между величинами запасов и концентрациями рудного вещества в месторождениях и корреляцией характерного объема запасов месторождений разного типа со значением разницы концентраций соответствующего элемента в верхней и нижней коре. Единообразию процессов формирования УВ и рудных месторождений подкрепляется также определяющая роль активного флюидного режима в их формировании. Применительно к рудным месторождениям важность вклада флюидного режима была убедительно продемонстрирована недавно изотопными исследованиями горных пород и руд Норильского бассейна [15].

Учет определенного единообразия процессов формирования УВ и рудных месторождений представляется полезным методическим приемом, позволяющим продвинуться в понимании процессов формирования и рудных и УВ месторождений. Подчеркнем в заключении, что получающаяся на основании вышесказанного дополнительные подтверждения модель формирования УВ месторождений по схеме проточного неравновесного реактора [3] фактически является развитием и конкретизацией широко известной флюидодинамической модели нефтегазообразования Б.А. Соколова [16].

Работа выполнена в рамках выполнения государственного задания по теме "Фундаментальный базис инновационных технологий нефтяной и газовой промышленности (фундаментальные, поисковые и прикладные исследования)". Рег. номер: АА-АА-А19-119013190038-2. Раздел IX: «Науки о Земле». ПФНИ № 132.

Литература

1. Родкин М.В., Рундквист Д.В., Пуланова С.А. Об относительной роли нижнекоровых верхнекоровых процессов в формировании микроэлементного состава нефтей // Геохимия. 2016. № 11. 1025–1031.
2. Пуланова С.А., Родкин М.В. Соотношение биогенных и глубинных процессов по данным анализа микроэлементного состава нефтей // Экспозиция Нефть газ. 2018. №6. С. 38–42.
3. Родкин М.В., Рукавишников Т.А. Очаг нефтеобразования как неравновесная динамическая система — модель и сопоставление с эмпирическими данными // Геология нефти и газа. 2015. №3. С. 63–68.
4. Пуланова С.А. Сопоставительная оценка рудных элементов сланцевых формаций. Международная конференция «Проблемы региональной геологии запада Восточно-Европейской платформы и смежных территорий». Минск, 2019.
5. Шпирт М.Я., Пуланова С.А. Микроэлементы каустобиолитов. Проблемы генезиса и промышленного

- использования. Саарбрюккен: Lambert Academic Publishing, 2012. 367 с.
6. Тейлор С.Р., Мак-Леннан С.М. Континентальная кора, ее состав и эволюция. М.: Мир, 1988. 383 с.
 7. Маракушев А.А. Миграционная способность и геохимическая систематика металлов // Вестник Академии наук СССР. 1972. №6. С. 46–51.
 8. Родкин М.В., Зотов И.А., Граева Е.М., Лабунцова Л.М., Шатахян А.Р. Степенные распределения в рудо- и нефтегенезе — интерпретация и порождающие механизмы // Российский журнал наук о Земле. 2010. Т.11. №3. doi:10.2205/2009ES000408.
 9. Родкин М.В. Шатахян А.Р. Исследование рудных месторождений методами анализа

- динамических систем. II. Кластеризация рудных месторождений и ее интерпретация // Физика Земли. 2015. №3. С. 112–121.
10. Захаров В.С., Вадковский В.Н. Аккреционная тектоника и фрактальные характеристики террейнов // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2013. №1. Вып. 21. С. 122–131.
 11. Конторович А.Э., Демин В.И. Прогноз количества и распределения по запасам месторождений нефти и газа // Геология и геофизика. 1979. № 3. С. 37–46.
 12. Rundqvist D., Cassard D., Cherkasov S., Tkachev A., Gatinsky, Yu. and others. Largest mineral deposits of the world, CD-ROM. NavigaSIG Large and Superlarge Deposits v.1.0, Russian French Metallogenic Laboratory, Moscow, 2006.
 13. Рундквист Д.В. и др. Крупные и

- суперкрупные месторождения рудных полезных ископаемых. Т.1: Глобальные закономерности размещения. М: ИГЕМ РАН, 2006. 390 с.
14. Frank S., Stiller H., Seifert W. Effects of high temperature phase transitions on chemical differentiation. High Pressure Investigations in Geosciences, 1989, pp. 195–203.
 15. Прасолов Э.М., Сергеев С.А., Беляцкий Б.В., Богомолов Е.С., Груздов К.А. и др. Исследования изотопов He, Ar, S, Cu, Ni, Re, Os, Pb, U, Sm, Nd, Rb, Sr, Lu и Hf в породах и рудах норильских месторождений // Геохимия. 2018. №1. С. 50–69.
 16. Соколов Б.А. Флюидодинамическая модель нефтегазообразования // Вестник Московского университета, серия Геология. 1996. №4. 28–36.

ENGLISH

GEOLOGY

UDC 553.98

Some statistical patterns in concentrations of metals in hydrocarbon and ore deposits

Author

Mikhail V. Rodkin — Sc.D., chief researcher^{1,2}; rodkin@mitp.ru

¹Institute of the earthquake prediction theory and mathematical geophysics RAS, Moscow, Russian Federation

²Institute of Oil and Gas Problems RAS, Moscow, Russian Federation

Abstract

The statistics of the enrichment of the trace elements (TE) composition of oil in relation to the neighboring georeservoirs is considered. It is shown that the greatest enrichment falls on the elements most mobile in the conditions of the Earth's crust. The second group of enriched elements is formed by the so-called biogenic elements, which indicates the close connection of oils with organic matter. The statistics of TE composition and reserves of hydrocarbon deposits is compared with statistical patterns for ore deposits, based on more available statistical data. A significant commonality of statistical patterns of characteristics of hydrocarbons and ore deposits is demonstrated.

Materials and methods

The statistical data from different authors are used for the comparison of the TE composition of oils and the average chemical content of the main georeservoirs of the Earth's crust, as well as the results of the statistical analysis of the world database of large and super-large ore deposits previously carried out by the

author. Classical statistical methods are used in the examination.

Keywords

trace element composition of oils, statistics of hydrocarbons and ore deposits, similarity of the processes of formation of hydrocarbons and ore deposits

Results

The analysis of enrichments in TE elements' content of oils in relation to the main georeservoirs of the Earth's crust is performed. It is shown that the greatest enrichments are peculiar to the group of mobile and biogenic elements. The results of the analysis are compared with data for ore deposits. For both types of deposits, the substantially nonequilibrium nature of the formation of deposits, the power law of distribution of reserves, and the connection of the processes of formation of deposits with the deep processes in the Earth's crust are revealed.

Conclusions

The data on the TE composition of oils are compared with the more complete statistical data available for the ore deposits. First, there is a uniformity of the concentration values of TEs

in the oil ash and in ore deposits, as well as the uniformity of the power law distribution valid both for hydrocarbon fields' reserves and for ore deposits' reserves. The non-equilibrium nature of the formation of hydrocarbon fields is assumed within the framework of the previously proposed model of oil formation according to the scheme of a non-equilibrium flow reactor. The particularly non-equilibrium nature of the formation of ore deposits is supported by the identification of a positive correlation between the volume of reserves of ore deposits and the concentrations of the useful ore substance in them. The assumption of the formation of ore deposits as a side effect of the transformation of large masses of the Earth's crust from one georeservoir to another (for example, from the upper crust to the lower crust) is supported by the revealed correlation of the characteristic reserves of different types of ores and the difference in the concentration of the given element in the average composition of the upper and the lower crust. In the case of hydrocarbon deposits, the role of the deep crust fluid flows in the formation of hydrocarbon deposits is supported by an enrichment of TEs of oils by more mobile and typically deep crust elements. Taken together, the new data suggest a significant analogy in the formation of hydrocarbons and ore deposits.

References

1. Rodkin M.V., Rundqvist D.V., Punanova S.A. *Ob otnositel'noy roli nizhnekorovykh verkhnekorovykh protsessov v formirovaniy mikroelementnogo sostava neftey*. [The Relative Role of Lower and Upper Crustal Processes in the Formation of Trace Element Compositions of Oils]. Geochemistry International, 2016, issue 11, pp. 989–995.
2. Punanova S.A., Rodkin M.V. *Sootnoshenie biogennykh i glubinykh protsessov po dannym analiza mikroelementnogo sostava neftey* [The ratio of biogenic and deep-seated processes according to the analysis of the trace element composition of oils]. Exposition Oil Gas, 2018, issue 6, pp. 38–42.
3. Rodkin M.V., Rukavishnikova T.A. *Ochag nefteobrazovaniya kak neravnovesnaya dinamicheskaya sistema — model' i sopostavlenie s empiricheskimi dannymi* [The center of oil formation as

a nonequilibrium dynamic system is a model and comparison with empirical data]. *Geology of oil and gas*, 2015, issue 3, 63–68.

4. Punanova S.A. *Sopostavitel'naya otsenka rudnykh elementov slantsevnykh formatsiy. Mezhdunarodnaya konferentsiya «Problemy regional'noy geologii zapada Vostochno-Evropeyskoy platformy i smezhnykh territoriy»* [Comparative assessment of ore elements of shale formations. Report at the international conference "Problems of regional geology of the West of the East European Platform and adjacent territories"]. Minsk, 2019.
5. Shpirt M.Ya., Punanova S.A. *Mikroelementy kaustobiolitov. Problemy genezisa i promyshlennogo ispol'zovaniya* [Trace elements caustobioliths. Problems of genesis and industrial use]. Saarbruchen: Lambert Academic Publishing, 2012, 367 p.
6. Taylor S.R., Mak-Lennan S.M. *Kontinental'naya kora, ee sostav i evolyutsiya* [The Continental Crust: its Composition and Evolution, Blackwell], Moscow: Mir, 1988, 383 p.
7. Marakushev A.A. *Migratsionnaya sposobnost' i geokhimicheskaya sistematika metallov* [Migration ability and geochemical systematics of metals]. Herald of Academy of Sciences of USSR, 1972, issue 6, pp. 46–51.

8. Rodkin M.V., Zotov I.A., Graeva E.M., Labuntsova L.M., Shatakhtsyan A.R. *Stepennyye raspredeleniya v rudo- i neftegezeze — interpretatsiya i porozhdayushchie mekhanizmy* [Power distribution in ore and oil and gas — interpretation and generating mechanisms]. *Russian Journal of Earth Sciences*, 2010, V.11, issue 3. doi:10.2205 / 2009ES000408.
9. Rodkin M.V. *Shatakhtsyan A.R. Issledovanie rudnykh mestorozhdeniy metodami analiza dinamicheskikh sistem. II. Klasterizatsiya rudnykh mestorozhdeniy i ee interpretatsiya* [The study of ore deposits by the analysis of dynamic systems. II. Clustering of ore deposits and its interpretation]. *Earth Physics*, 2015, issue 3, pp. 112–121.
10. Zakharov V.S., Vadkovskiy V.N. *Akkretionnaya tektonika i fraktal'nye kharakteristiki terreynov* [Accretionary tectonics and fractal characteristics of terranes]. *Herald KRAUNZ, Earth Sciences*, 2013, issue 1, part 21, pp. 122–131.
11. Kontorovich A.E., Demin V.I. *Prognoz kolichestva i raspredeleniya po zapasam mestorozhdeniy nefiti i gaza* [Prognosing the number and distribution of the reserves in oil and gas deposits]. *Geologiya i Geofizika*, 1979, issue 3, pp. 37–46.

12. Rundqvist D., Cassard D., Cherkasov S., Tkachev A., Gatinsky, Yu. and others. *Largest mineral deposits of the world, CD-ROM. NavigaSIG Large and Superlarge Deposits v.1.0*, Russian French Metallogenetic Laboratory, Moscow, 2006.
13. Rundqvist D.V. and others. *Krupnye i superkrupnye mestorozhdeniya rudnykh poleznykh iskopaemykh* [Large and superlarge deposits of ore minerals]. T.1. Moscow: IGEM RAS, 2006, 390 p.
14. Frank S., Stiller H., Seifert W. *Effects of high temperature phase transitions on chemical differentiation. High Pressure Investigations in Geosciences*, 1989, pp. 195–203.
15. Prasolov E.M., Sergeev S.A., Belyatskiy B.V., Bogomolov E.S., Gruzov K.A. and others. *Issledovaniya izotopov He, Ar, S, Cu, Ni, Re, Os, Pb, U, Sm, Nd, Rb, Sr, Lu i Hf v porodakh i rudakh noril'skikh mestorozhdeniy* [Isotopic Systematics of He, Ar, S, Cu, Ni, Re, Os, Pb, U, Sm, Nd, Rb, Sr, Lu, and Hf in the Rocks and Ores of the Norilsk Deposits]. *Geochemistry International*, 2018, issue 1, pp. 50–69.
16. Sokolov B.A. *Flyuidodinamicheskaya model' neftegazooobrazovaniya* [Fluid-dynamic model of the oil-and-gas formation]. *Moscow State University Reporter, series Geology*, 1996, issue 4, pp. 28–36.



КАЧЕСТВО. НАДЕЖНОСТЬ. ПРОФЕССИОНАЛИЗМ

Ведущее научно-производственное предприятие в области разработки и производства полиуретановых и силиконовых эластомеров

ПОЛИУРЕТАНЫ

- Преполимеры (форполимеры) на основе простых и сложных полиэфиров для изготовления эластомеров твердостью по Шору А от 35 до 95, по Шору D – до 60
- Преполимеры (форполимеры) для производства пластиков серии СУРЭЛ-ПЛАСТ твердостью по Шору D: 70,75,80
- Преполимеры (форполимеры) на основе поликапролактона для производства эластомеров с твердостью по Шору А от 60 до 90
- Радиационно-термо-морозо-агрессивостойкие фторуретаны
- Полиуретановые композиции горячего и холодного отверждения
- Защитные полиуретановые покрытия (АИП)
- Универсальное связующее для резиновой крошки
- Литьевые изделия (листы, пластины, стержни и другие изделия нестандартной формы)

СИЛОКСАНЫ (СИЛИКОНЫ)

- силиконовые композиции, герметики для электроники, электротехнической промышленности и других областей

ООО «СУРЭЛ»
190020, г. Санкт-Петербург,
Старо-Петергофский пр., д.18,
лит. Е, пом. 7Н
Телефон/факс: (812) 786-50-39, 747-29-62, 747-29-72
e-mail: surel@sp.ru
www.surel.ru

