

УДК 550.42.47

## ГЕОХИМИЧЕСКАЯ СПЕЦИФИКА НЕФТИ И ПРОИСХОЖДЕНИЕ ЕЕ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

© 2004 г. Академик А. А. Маракушев, Б. И. Писоцкий, Н. А. Панеях, Р. П. Готтих

Поступило 18.06.2004 г.

Д.С. Коржинским разработана методика физико-химического анализа парагенезисов минералов, направленная на освещение генезиса горных пород и руд. В дальнейшем парагенетический подход был распространен на рудные металлы, совместно концентрирующиеся в процессах петрогенезиса и рудообразования [8, 11].

В настоящем сообщении рассматриваются парагенезисы микроэлементов нефтяных месторождений ряда провинций, представленные в основном следующими металлами: Ni, Cu, Cr, Pt, Pd, Ru, Rh, Ir. Для исследований были отобраны пробы из 46 месторождений, локализованных в разновозрастных отложениях (от рифея до неогена) в интервале глубин 4800–840 м, относящихся к 8 нефтегазоносным провинциям.

Исследовались смолисто-асфальтеновые компоненты, являющиеся основными концентраторами металлов в нефти, которые выделялись из нее традиционными методами. Перед анализом навески проб массой 50–100 мг разлагались смесью очищенных азотной и соляной кислот (4 : 1) в герметичной тефлоновой капсуле с использованием микроволновой печи “MULTIWAVE” фирмы “Anton Paar”. Разложение проводилось в режиме постепенного увеличения мощности электромагнитного излучения от 100 до 1000 Вт в течение 20 мин с последующей 20-минутной выдержкой при 1000 Вт и 30-минутным охлаждением для снижения давления газов в автоклаве. На второй стадии в реакционную смесь добавлялась перекись водорода, а доразложение проб проводилось по той же программе. После полного ох-

лаждения автоклава полученный прозрачный бесцветный раствор разбавлялся водой до 10 мл. Пробоподготовка и анализ содержаний микроэлементов проводились Д.З. Журавлевым масс-спектрометрическим методом с ионизацией проб в индуктивно связанной плазме (ICP-MS) на приборе “ELAN 6100 DRC”.

Полученные результаты сведены на парагенетические диаграммы (рис. 1, 2 и 3), на которых показаны и средние составы микроэлементов в пробах нефти по провинциям, приведенные в табл. 1 в последовательности уменьшения в них рутений-иридиевого отношения.

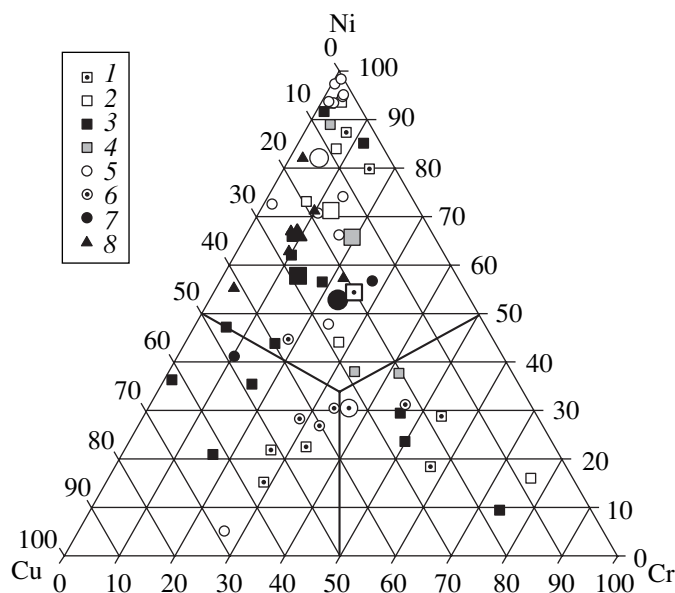
Диаграмма на рис. 1 отражает характеристику месторождений по содержанию в смолисто-асфальтовых фракциях нефти никеля, меди и хрома. На ней отчетливо выражена доминирующая медно-никелевая специфика нефти при общем преобладании никеля (I) над медью и хромом. Менее распространены нефти с преобладанием меди (II) над никелем и хромом и ограниченное распространение имеют нефти с преобладанием хрома (III) над никелем и медью. В пределах одной провинции могут иметь место залежи различных перечисленных типов.

Характеристика нефтей по распределению в них платиновых металлов представлена на диаграммах (рис. 2 и 3). Диаграмма (рис. 2) отражает практическое отсутствие нефтей собственно платиновой специализации. Во всех случаях преобладающим является палладий. Обычно он доминирует над суммой платиноидов Ru + Ir + Rh, соотношениями которых и определяется геохимическая систематика нефтяных месторождений по платинометальности (рис. 3). Рутений-иридиевое отношение играет главную классификационную роль. Различаются иридиевый, промежуточный и рутениевый типы нефтяных месторождений. Можно выделить нефти преимущественно иридиевой специализации, относящиеся к древним Сибирской и Восточно-Европейской платформам; рутениевую и рутений-родиевую, месторождения которых приурочены к геологическим разрезам молодых плит – Туранской и Западно-Сибирской. Промежуточное по своим геохимическим характеристикам (Ir–Ru) положение занимают скопления угле-

*Институт экспериментальной минералогии  
Российской Академии наук,  
Черноголовка Московской обл.*

*Институт проблем нефти и газа, Москва  
Институт геологии рудных месторождений,  
петрографии, минералогии и геохимии  
Российской Академии наук, Москва*

*Всероссийский научно-исследовательский институт  
геологических, геофизических и геохимических  
систем, Москва*



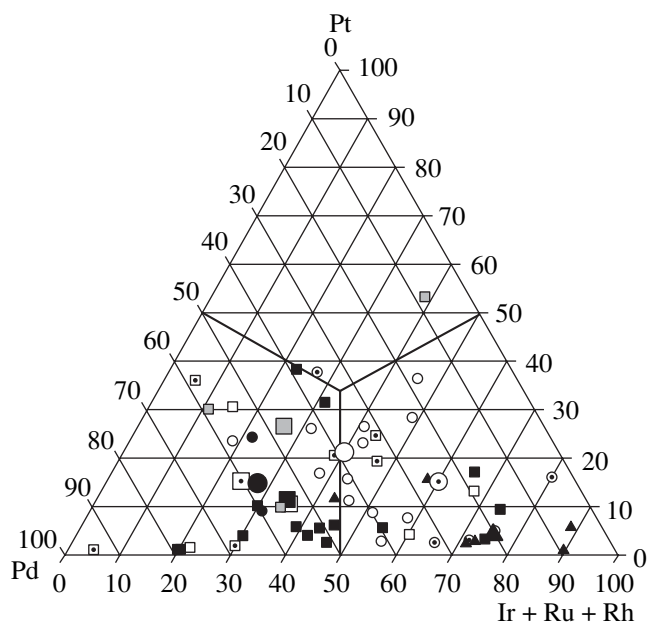
**Рис. 1.** Систематика нефтяных месторождений по содержанию никеля, меди и хрома в их смолисто-асфальтеновых фракциях. Здесь и на рис. 2 и 3: 1 – Туранская, 2 – Днепровско-Припятская, 3 – Западно-Сибирская, 4 – Сахалинская, 5 – Тимано-Печорская, 6 – Лено-Тунгусская, 7 – Зондского шельфа, 8 – Волго-Уральская провинция. Крупными знаками выделены средние составы по провинциям (см. табл. 1).

водородов в пределах Тимано-Печорской провинции, в строении которой наряду со складчатым байкальским основанием принимают участие древние (архейские) блоки фундамента, разделенные

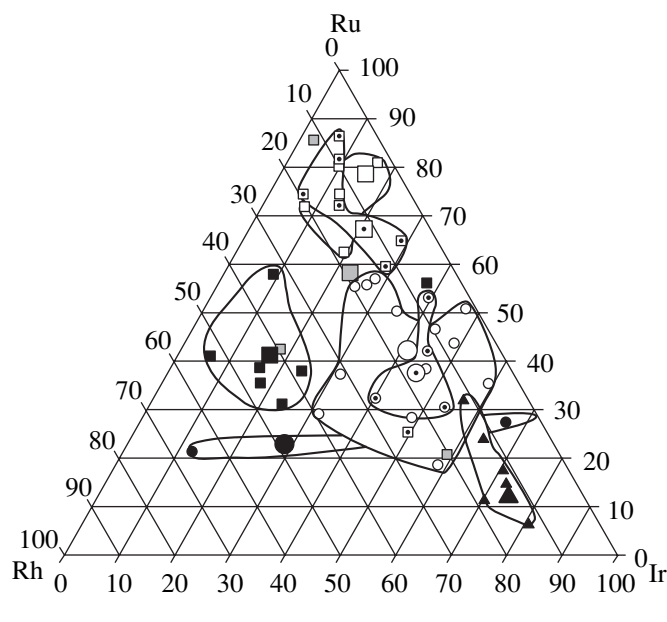
рифтовыми зонами. Нефти Припятско-Днепровского грабена (авлакогена) существенно отличаются по соотношению платиноидов от нефтей Волго-Уральской провинции, что судя по всему обусловлено различиями в тектоническом строении регионов (мощность земной коры, осадочного чехла) и характере магматизма. К наиболее контрастным по платинометальной специализации относятся нефти западной части Тихоокеанского подвижного пояса с позднеюрско-раннемеловым фундаментом и мощным кайнозойским осадочным чехлом, сложенным терригенными и вулканогенно-терригенными формациями.

Рассмотренные металлы, несмотря на их низкую распространенность, являются виртуальными, определяющими геохимические типы нефтей. В какой-то мере они отображают геохимико-металлогеническую особенность платформенных гипербазитов, характеризующихся сходной медно-никелевой палладиносной специализацией [11]. Решение проблемы их взаимоотношений возможно лишь на основе петрологического анализа формирования прогибов континентальной коры, с которыми связаны как нефтяные месторождения, так и проявления основного–ультраосновного магматизма.

Как показано в работе [1], крупные депрессии внутри континентов образовывались без существенного растяжения коры. Они формировались в результате ее погружения – медленного (десятки метров за миллион лет) или быстрого (километры за миллион лет). К числу медленно погружавшихся относится Вилуйская впадина на юго-вос-



**Рис. 2.** Диаграмма платиноидной специализации нефтей с учетом суммарного содержания Ir + Ru + Rh в их смолисто-асфальтеновых фракциях.



**Рис. 3.** Диаграмма подразделения нефтяных месторождений на рутениевый, иридиевый и родиевый типы.

**Таблица 1.** Средние составы по провинциям смолисто-асфальтеновых веществ нефтяных месторождений

№ п.п.	Провинции	Ru	Rh	Ir	Pt	Pd	Cr	Ni	Cu	Ru/Ir
1	Туранская (5)	2.89	0.22	0.57	1.09	5.62	7.59	42.50	9.55	5.07
2	Днепровско-Припятская (7)	1.15	0.21	0.36	1.08	4.25	7.99	17.23	6.46	3.19
3	Западно-Сибирская (7)	0.68	0.69	0.27	0.53	2.55	9.57	40.50	20.24	2.50
4	Сахалинская (3)	0.30	0.10	0.12	0.52	0.92	5.97	20.27	4.63	2.50
5	Тимано-Печорская (12)	1.11	0.44	1.08	1.41	2.53	11.94	186.40	28.98	1.03
6	Лено-Тунгусская (5)	0.80	0.37	0.95	0.54	0.87	17.20	14.53	15.79	0.84
7	Зондского шельфа (2)	0.61	1.30	0.75	1.43	5.51	8.36	18.99	8.66	0.81
8	Волго-Уральская (6)	1.05	1.20	6.44	0.49	2.34	11.40	82.95	30.65	0.16

Примечание. Порядковый номер обозначает провинции по рис. 1 (в скобках – число нефтяных месторождений). Платиновые металлы – мг/г; Cr, Ni и Cu – г/г.

токе Сибирской платформы, мощность осадков в которой достигает 14 км. Она формировалась на протяжении всего фанерозоя (500 млн. лет), причем “в раннем кембрии в ней имело место быстрое погружение небольшой амплитуды, сопровождавшееся накоплением черных сланцев” [1]. В девоне и раннем карбоне в состав отложений входили базальты, также связанные с отклонением от режима медленного погружения. Формирование депрессии сопровождалось встречным воздыманием мантийного субстрата, что в совокупности привело к сокращению мощности кристаллической коры под прогибом почти вдвое.

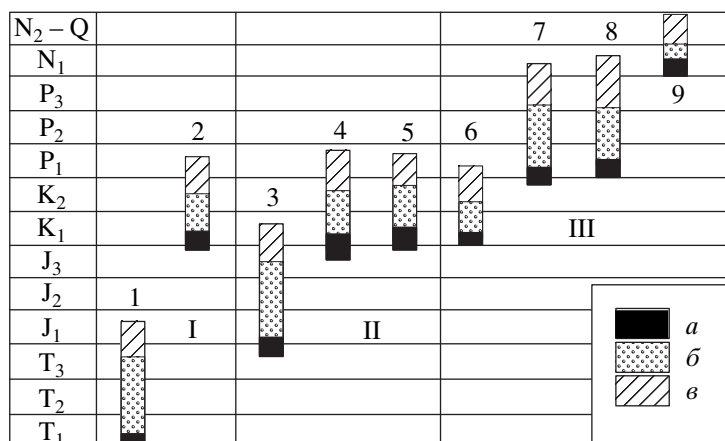
В отличие от Вилуйской Черноморская впадина глубиной до 14 км заполнена мезо-кайнозойскими, в основном глубоководными, отложениями, что отражает ее быстрое погружение, сопряженное с встречным воздыманием мантийного субстрата более чем на 20 км, заместившего нижнюю половину базитового слоя коры. В результате почти полного вытеснения гранитного слоя осадочными породами и замещения нижней половины базитового слоя гипербазитами мощность кристаллической коры под Черноморской впадиной сократилась с 40 до 10–15 км [1].

В рассмотренных примерах наглядно выражена главная особенность образования депрессий континентальной коры, обусловленная сопряженностью погружения заполняющих прогибы осадков, вытесняющих ее гранитный слой, со встречным воздыманием мантийного субстрата. В этом проявляется связь процессов формирования прогибов с развитием глубинного магматизма, создающего внедрения мантийных магм в основание коры с одновременным выщелачиванием ее гранитного слоя восходящими из гипербазитовых магм трансмагматическими флюидами, агрессивными по отношению к сиалическим породам [10]. В результате кристаллическая кора может полностью вытесняться внедряющимися мантийны-

ми гипербазитами и осадочными породами, как, например, во впадине юга Каспийского моря, в которой мощность осадочных отложений достигает 24 км [4].

Мантийный магматизм, сопряженный с образованием поверхностных депрессий, проявляется не только в универсальном воздымании под ними мантийного субстрата, но и в излиниях базальтов, отчасти вытесняющих в некоторых впадинах осадочные породы с переходом к трапповым формациям, а также во внедрениях базит-гипербазитовых интрузивов, развивающихся в депрессиях большей частью с замещением осадочных пород. Так, например, в Печенгской кольцевой структуре на Кольском полуострове внедрилось более 300 базит-гипербазитовых интрузивов, в том числе с медно-никелевым платинометалльным сульфидным оруденением, причем исключительно в маломощную (около 1.5 км) ждановскую свиту терригенных пород, разделяющую нижний комплекс толеитовых базальтов и верхний комплекс субщелочных базальтов. Сейсмически под Печенгской структурой устанавливается 4-километровое воздымание мантийного субстрата [5].

Обрисованная специфика образования впадин универсальна, свойственна не только преобразованию земной коры. Аналогичная особенность строения депрессий прослеживается и на других планетах (Марсе, Меркурии, Луне, планете Ио – спутнике Юпитера), отличающихся примитивным типом первичной эвкритовой коры. Базальтовые депрессии на этой коре сопряжены с воздыманием мантийного субстрата, обусловленным внедрением ультраосновных пород, фиксируемых аномалиями силы тяжести – масконами [12]. Сходные эффекты устанавливаются и в земных структурах, например в Прикаспийской впадине, где “наблюдаются локальные положительные аномалии силы тяжести очень высокой интенсивности” [1].



**Рис. 4.** Возраст и строение траптовых депрессий (1 – Аппалачская, 2 – Зеленого Мыса, 3 – Кару, 4 – Паранская, 5 – Каоковельд, 6 – Лабрадорская, 7 – Гренландская, 8 – Брито-Арктическая, 9 – Исландская) на пассивных континентальных окраинах центральной (I), южной (II) и северной (III) Атлантики (по [7]). *a* – толеитовые базальты; *b* – осадочные породы и избирательно внедрившиеся в них базит-гипербазитовые интрузивы; *v* – щелочные породы.

Депрессии с широким развитием в них базальтового вулканизма (траптовые формации, рис. 4) отражают базит-гипербазитовое расщепление первичных мантийных магм с последующим изменением возникающих базальтовых расплавов и внедрением гипербазитов в основание коры.

Развитие траптовых формаций начинается с образования широких площадей пирокластики (нижних туфов), обусловленных взрывным поступлением в формирующиеся впадины воды и углекислоты. Такой состав флюидов обусловлен интенсивной миграцией из них водорода с соответствующим повышением роли окисленных компонентов:  $H_2 + 3CO = H_2O + CO_2 + 2C$ . Подобный флюидный режим сохраняется и в процессе формирования нижних покровов толеитовых базальтов, за которыми следует длительный перерыв в вулканизме и образовании осадочных отложений. В депрессиях быстрого погружения в их состав входят обогащенные углеродом черные сланцы ( $H_2 + CO = C + H_2O$ ). Рудоносность черных сланцев, сопровождаемых золотым и платиновым оруденением (Мурунтау в Узбекистане, Сухой Лог в Забайкалье), подчеркивает связь их с глубинным гипербазитовым магматизмом. Осадочные комплексы пород континентальной коры разделяют нижние формации толеитовых базальтов и верхние формации щелочных пород. Они фиксируют, таким образом, установление режима, затрудняющего дегазацию магматических очагов (потерю флюидами водорода). Это реализуется возрастанием флюидного давления, стимулирующего магматическое замещение мантийного субстрата с развитием щелочного уклона магматизма. Щелочной уклон служит, таким образом, индикатором структурной эволюции депрессий, препятствующей миграции водорода их флюидов и тем самым способствующей усилению их водородной

составляющей. Кроме того, щелочные магмы сами по себе выступают в роли своеобразных концентраторов кислорода, из которых в последующем кристаллизуются минералы с высокой степенью окисления элементов (эгирин, магнетит и др.), а фильтрующиеся через расплавы трансмагматические флюиды соответственно обедняются кислородсодержащими соединениями при возрастающей химической активности водорода в них. В результате возникает парадоксальная специфика щелочных пород, выражающаяся в сочетании высокой степени окисления в них металлов с высокой восстановленностью их водородных и углеводородных флюидов, образующих микровключения в минералах на позднемагматической стадии развития процесса [13]. В совокупности это приводит к радикальному изменению реакции трансформации флюидных компонентов с образованием воды и углеводородов:  $3H_2 + CO = CH_4 + H_2O$ .

Щелочные расплавы, развивавшиеся в мантии в ходе формирования депрессий быстрого погружения континентальной коры, с одной стороны, являются индикаторами структурных преобразований, благоприятных для нефтеобразования, с другой – играют роль своеобразного кислородного фильтра для трансмагматических флюидов, исходящих из жидкого земного ядра [9]. При прохождении через него во флюидах радикально возрастало отношение водорода к кислородным соединениям и они приобретали способность к формированию восстановленных нефтеобразующих систем, приводящих к образованию месторождений нефти и газа, в том числе гигантских.

Обрисованная модель формирования месторождений определяет геохимическую специфику нефти, в смолисто-асфальтеновых компонентах которой накапливаются металлы гипербазитово-

го профиля, рассмотренные выше, в сочетании с металлами, свойственными щелочным породам (лантаниды, скандий, уран, торий, цирконий и др.). На обогащенный источник зарождения флюидов, участвующих в нефтеобразовании, указывают как данные по микроэлементной специализации битуминозной фазы включений, законсервированных в мельчайших трещинках пород фундамента и осадочного чехла нефтегазоносных провинций [2], так и результаты изучения в нефтях радиогенных изотопов в Sm–Nd- и Rb–Sr-системах [3].

Нефтегазоносные структуры представлены складчатыми миогеосинклинальными поясами, впадинами окраинных морей, пассивных континентальных окраин и платформ. Миогеосинклинальные складчатые пояса [1] подразделяются на терригенные и вулканогенно-терригенные и обрамляются с океанической стороны эвгеосинклинальными (офиолитовыми) складчатыми поясами с дунит-гарцбургитовыми хромитоносными интрузивами. Отсутствие нефтегазоносности этих внешних складчатых поясов связывается с доминированием при их формировании режима растяжения, способствовавшего миграции водорода из восходящих флюидных потоков, и соответственно неразвитостью щелочного уклона магматизма, который нарастает в последовательности смещения депрессионных структур в сторону континента. В этом направлении возникает нефтегазоносность осадочных комплексов, усиливается щелочной уклон магматизма и формируется медно-никелево-палладиеносная геохимико-металлогеническая специализация гипербазитов [11], что сближает ее со спецификой нефтяных месторождений. Развитие депрессий может завершаться взбросами кристаллического фундамента платформ в виде центральных куполов или валообразных протяженных поднятий, границы которых контролируют размещение нефтяных месторождений.

Рассмотренные геохимические корреляции свидетельствуют в пользу происхождения нефтяных месторождений, закономерно вписывающихся в эндогенную активность Земли, стимулируемую импульсами дегазации ее флюидного жидкого ядра [9]. Дискретность проявления этой активности в

геологической истории прослеживается по трапповым формациям (рис. 4), ледниковым периодам, биотическим кризисам, периодам диастрофизма и др. Образование нефтяных месторождений не является исключением в этом отношении.

Таким образом, формирование и геохимические особенности нефтеобразующих флюидов непосредственно связаны со строением нефтегазоносных провинций, возрастом их фундаментов, мощностью консолидированной коры и осадочного чехла, типом и степенью проявления магматизма, т.е. с характером геодинамического развития и эволюции литосферы.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Артюшков Е.Е.* Физическая тектоника. М.: Наука, 1993. 507 с.
2. *Готтих Р.П., Писоцкий Б.И.* // ДАН. 1996. Т. 348. № 4. С. 520–523.
3. *Готтих Р.П., Писоцкий Б.И., Журавлев Д.З.* // ДАН. 2000. Т. 375. № 1. С. 85–88.
4. *Иванкин П.Ф., Назарова Н.И.* Глубинная флюидизация земной коры и ее роль в петрогенезе и нефтеобразовании. М.: ЦНИГРИ, 2001. 206 с.
5. *Казанский В.И., Исанина Э.В., Лобанов К.В. и др.* // Геология рудн. месторождений. 2002. Т. 44. № 4. С. 276–286.
6. *Макаренко Г.Ф.* // Вестн. МГУ. Сер. 4. Геология. 1976. № 2. С. 17–38.
7. *Макаренко Г.Ф.* Периодичность базальтов, биокризисы, структурная симметрия Земли. М.: Геоинформмарк, 1997. 97 с.
8. *Маракушев А.А.* Петрогенезис и рудообразование (геохимические аспекты). М.: Наука, 1979. 262 с.
9. *Маракушев А.А.* Происхождение Земли и природа ее эндогенной активности. М.: Наука, 1999. 254 с.
10. *Маракушев А.А.* В сб.: Проблемы глобальной геодинамики. М.: ОГГГН РАН, 2003. С. 214–228.
11. *Маракушев А.А., Панях Н.А., Зотов И.А.* // Петрология. 2003. Т. 11. № 5. С. 524–544.
12. *Маракушев А.А., Грановский Л.Б., Зиновьева Н.Г. и др.* Космическая петрология. М.: Наука, 2003. 387 с.
13. *Петерсилье И.А.* // Изв. АН СССР. Сер. геол. 1959. № 1. С. 3–18.