

## ГЕОЛОГИЯ И ГЕОФИЗИКА

© Ф.Г.Дадашев, А.Я.Кабулова, А.М.Дадашев, А.В.Полетаев, 2006

## К ВОПРОСУ О ГЕНЕЗИСЕ УГЛЕВОДОРОДНЫХ ГАЗОВ ЮЖНО-КАСПИЙСКОЙ ВПАДИНЫ ПО ИЗОТОПНЫМ ДАННЫМ

Ф.Г.Дадашев, А.Я.Кабулова, А.М.Дадашев, А.В.Полетаев

*Институт геологии НАН Азербайджана  
AZ 1143, Баку, просп. Г.Джавида, 29А*

Базируясь на концептуальных принципах методики интерпретации изотопного состава УВ газов, предложенной М. Шоеллом, был произведен анализ УВ газов грязевых вулканов, нефтяных месторождений, донных осадков, газогидратов ЮКВ.

В результате этих исследований подтвержден вывод о том, что изученные газы образованы в результате биогенного, термокаталитического преобразования органического вещества и ассоциированы с жидкими углеводородами. Установлены различия в изотопном составе углерода и водорода в зависимости от изучаемого объекта.

Изотопный состав различных химических элементов природных газов дает дополнительный материал для суждения об их генетической природе. Интерпретация результатов изотопных анализов осуществляется различными методами, которые можно объединить в две группы: геологическую и геохимическую. Геологическая интерпретация предусматривает изучение изменения изотопного состава газа по площади нефтегазоносных районов в зависимости от стратиграфического возраста, глубины залегания и др. факторов, что было проведено Валяевым Б.М., Гулиевым И.С., Дадашевым Ф.Г., Дадашевым А.А., Зорькиным Л.М., Кабуловой А.А. и др. Геохимические методы предусматривают изучение процессов фракционирования изотопов и их соотношения с химическим составом природных газов (Галимов, 1973; Алексеев и др., 1978; Clayton, 1991; Schoell, 1983 и др.).

Анализ различных геохимических методик позволил отдать предпочтение методике, разработанной М. Шоеллом (1983, рис. 1, стр. 2226 - 2227). Ниже дадим ее краткое описание (рис. 1). Методика предусматривает сопоставление изменения величины изотопа углерода метана  $\delta^{13}\text{C}_{\text{CH}_4}$  в зависимости от изме-

нения содержания суммы тяжелых углеводородов  $\text{C}_{2+}$ , изотопа водорода  $\delta\text{D}_{\text{CH}_4}$ , изотопа углерода этана  $\delta^{13}\text{C}_{\text{C}_2\text{H}_6}$  и коэффициента отражательной способности витринита ( $R_0$ ). Используя перечисленные параметры, исходя из теоретических представлений о генезисе и результатов анализов газа (более 500) различных регионов мира, были построены диаграммы (рис. 1 а, б, в, г), на которых выделены поля, характеризующие различные генетические особенности природных газов.

На диаграмме 1 а показаны главные фазы газо- и нефтеобразования в зависимости от изотопной величины  $\delta^{13}\text{C}_{\text{CH}_4}$  и отражательной способности витринита. На последующих диаграммах соответствующими условными обозначениями указано расположение полей с различной генетической и изотопной характеристикой газов.

На диаграммах (рис. 1 б, в) указано поле биогенных газов с выделением подзон, морских и континентальных источников. Состав изотопов углерода биогенных газов во всех нефтегазоносных районах мира однороден. Он характеризуется интервалом  $-60 \div -75$  ppt и ниже по изотопу углерода  $\text{CH}_4$ , а также в интервале  $-250 \div -150$  ppt по изотопу водорода. В зависимости от содержания

$\delta D_{Cn4}$  выделяются поля морских и континентальных углеводородных газов. Термины «ранняя», «поздняя» используются для указания на последовательное изменение стадии диагенеза в газах. В термокаталитической области формирования газов выделены три стадии: первая (Т), протекающая в течение и частично после генерации нефти. Газы этой стадии характеризуются изотопом углерода метана от -60 ppt до -40 ppt. Вторая стадия, верхняя главная фаза газообразования ТТ(м) с содержанием изотопа углерода метана от -45 до -30 ppt, начинается после главной фазы нефтегазообразования. Источники и процессы образования газов в пределах указанных стадий изучены недостаточно. Наиболее просто предположить, что нефтяной газ генерируется в основном из превращения нефтей, а сухой газ верхней газовой фазы образуется из органического вещества пород. Сказанное не исключает возможности образования газов из обоих источников. Ранее образование газов из нефтей характеризовалось истощением тяжелых изотопов. Это позволило определить область  $T_0$  как область первичных нефтяных газов ранней стадии формирования. Следует отметить, что содержание гомологов метана чувствительно ко многим вторичным процессам. Использование ( $C_{2+}$ ) как генетически зависимого свойства базируется на факте, что содержание  $C_{2+}$  в газах является высоким на пиковых нефтяных уровнях формирования и уменьшается с увеличением зрелости газов.

Сопоставление связанных и несвязанных с нефтью газов показано на диаграмме (рис. 1 с) с учетом изотопов водорода. Образование метана в период формирования жидких углеводородов характеризуется величиной  $\delta D_{Cn4}$ , равной  $\approx -180 \div -300$  ppt. Эта зависимость хорошо прослеживается для всех исследованных нефтеносных территорий. В метановых сухих газах величина изотопа водорода увеличивается с увеличением зрелости органического вещества.

На диаграммах выделена нижняя главная фаза газообразования - ТТ(н). М. Шоелл считает, что в этой фазе газообразования в формировании газов существенную роль играют угольные пласты нефтегазоносного бассейна.

На диаграммах, кроме полей газов различной генетической природы, указаны зоны смешанных и миграционных газов. Смешивание первичных газов - важный и общий процесс. Процесс смешивания газов с различным содержанием  $\delta^{13}C_{n4}$  происходит пропорционально их содержанию и кончается линейным изменением в их изотопном составе. На диаграммах эти зоны отмечены тонкими линиями и буквой М. Они отмечаются между полями биогенных и термокаталитических газов, между первой и второй зонами генерации газов.

Миграционные газовые поля предусматривают изменение химического состава, в частности этана, при незначительных изменениях изотопии метана. В этой ситуации миграция заканчивается параллельным изменением содержания тяжелых углеводородных газов, указанным на диаграмме стрелкой (Ms). При глубинной миграции метана (стрелка Md) могут иметь место два эффекта: глубинный сухой метан, который был сформирован ниже зоны нефтяного окна, может мигрировать и стать как бы «транспортом» для гомологов метана. Поверхностная миграция заканчивается наличием сухих газов с изотопным составом метана около  $-50 \div -40$  ppt, тогда как глубинная миграция может привести к увеличению содержания жирных газов с относительно повышенным изотопным составом метана  $-40 \div -35$  ppt.

В Институте Геологии Национальной Академии Наук Азербайджана совместно с фирмами Бритиш Петролеум, Статойл, Амоко за последние 10 лет проведены работы по изучению изотопии углеводородных газов Южно-Каспийской впадины. Были получены новые данные об изотопии углерода метана, этана, пропана, бутана, водорода метана, углерода и кислорода углекислого газа. Вместе с литературными данными в настоящей статье использованы 163 анализа изотопного состава углеводородных газов, в том числе нефтяных, газоконденсатных, газовых залежей, грязевых вулканов, донных отложений и газогидратов. Эти данные были нанесены на вышеописанные диаграммы М. Шоелла, что позволило обсудить генетическую характеристику исследуемых газов.



Распределение изотопных данных на диаграммах показывает, что они сконцентрированы в пределах различных полей. Так газы донных отложений Каспийского моря характеризуются низкими концентрациями углеводородных газов, в особенности гомологов метана. В пробах были определены содержания метана от  $0,82 \times 10^{-3} \%$  до  $11944 \times 10^{-3} \%$  и этана от 0 до  $0,448 \times 10^{-3} \%$ . В пересчете на углеводородный состав эти величины соответственно изменяются в пределах 76,82 – 100 % и 0 – 23,18 %. Изотопный состав углерода метана  $\delta^{13}\text{C}_{\text{CH}_4}$  характеризуется преимущественно легким углеводородом и изменяется в широких пределах от -109,1 ppt до -71,1 ppt. Из 29 образцов изученных газов в 7 пробах  $\delta^{13}\text{C}_{\text{CH}_4}$  изменяется в пределах  $-86 \div -109,1$  ppt и в 22 пробах - в пределах  $-76,7 \div -71,7$  ppt. На диаграмме 1 b приведены данные по газам, характеризующимся величиной  $\delta^{13}\text{C}_{\text{CH}_4}$  более -75 ppt, которые располагаются в пределах поля биогенных газов. Донные осадки, в которых были отобраны использованные газы, характеризуются одинаковыми литолого-геохимическими параметрами, поэтому утяжеление изотопного состава по углероду и увеличение содержания этана можно объяснить поступлением части углеводородных газов из нижезалегающих коренных пород.

Газы нефтяных, газоконденсатных, газовых месторождений охарактеризованы 45 пробами, отобранными на 30 месторождениях. Состав газов в основном представлен углеводородными компонентами: метаном 73,5 – 99,8 % и суммой его гомологов – 0,11 – 20,01 %. Кроме углеводородов присутствуют углекислый газ, азот, аргон, гелий, сероводород и др. Закономерности изменения химического состава газа в зависимости от геологического строения подробно изложены в работе (Дадашев, 1965). Изотопный состав углерода метана изменяется в пределах  $-60,3 \div -37,2$  ppt, этана – в пределах  $-40,3 \div -26,0$  ppt, дейтерия метана в пределах  $-267 \div -154$  ppt. Результаты анализов проб газа были нанесены на диаграммы (рис. 1 b, c, d). Из диаграммы (1 b) следует, что пробы газов нефтегазовых залежей преимущественно распространяются в зонах, соответствующих главной фазе нефте- и газообразования. По мере облегчения изотопного состава углерода ме-

тана пробы газа располагаются в зоне, где газы образуются параллельно генерации жидких углеводородов и в меньшем количестве располагаются в зоне миграции газов. Аналогичная картина отмечается на диаграмме 1 c, где дана зависимость между изотопами углерода и водорода метана. На диаграмме 1 d газы залежей в основном попадают в миграционную зону и в меньшем количестве в зону ТТ(м).

Следует обратить внимание и на некоторые особенности расположения газов отдельных залежей в пределах различных газовых полей. Так, газы чисто газового месторождения Дуванный и газоконденсатных месторождений Бахар, Булла-дениз, Калмас и Зыря на диаграммах располагаются в зонах распространения газов нефтяных месторождений. Это говорит об их едином источнике образования. Подавляющее число проб газа стратиграфически приурочено к коллекторам продуктивной толщи. Небольшое число проб газа относится к отложениям чокракского горизонта, майкопской серии и коунской свиты. Газы коунской свиты относятся к газам, генерируемым в главной фазе газообразования. Газы майкопских отложений приурочиваются на диаграммах 1 b, c к миграционным газам и на диаграмме 1 d к газам, образовавшимся на ранней стадии генерации газов и в результате крекинга нефти и органического вещества. Несколько обособленно на диаграммах располагаются точки, соответствующие газам чокракского горизонта Умбакинского, Сиязаньского месторождений и миоценовых пород Гарадага. Перечисленные газы отличаются значительным облегчением изотопа углерода метана и располагаются вблизи зоны биогенных газов в зоне диагенеза и миграционных газов. Этим они значительно отличаются от газов продуктивной толщи и газов майкопских отложений.

Газы грязевых вулканов были изучены в 45 пробах 42 вулканов. По химическому составу эти газы характеризуются высоким содержанием метана – до 100 % и низким содержанием его гомологов от 0 до 1,0 %, и только в 6 пробах их содержание составляет 1,1 – 6,5 %. Изотоп углерода метана изменяется от -59,3 до -36,6 ppt, а изотоп углерода этана - от -29,6 до -23,3 ppt. Величина изото-

па водорода метана изменяется от -236 до -159 ppt. На диаграммах М. Шоелла газы грязевых вулканов занимают примерно те же поля, что и газы залежей углеводородов. Заметное отличие заключается в том, что газы грязевых вулканов на диаграмме 1 b резко смещены к оси «у» в связи с низким содержанием суммы тяжелых углеводородов. Основная часть проб приурочивается к термокаталитической зоне образования углеводородов и миграционной зоне. Меньшее количество попадает в диагенетическое поле и одна проба - в биогенное.

Кроме перечисленных, были исследованы 4 пробы газогидратов, отобранных на подводных грязевых вулканах Буздаг и Элм. По химическому составу газы газогидратов в основном представлены метаном 77,1 – 95,3 % и суммой его гомологов 3,81 – 22,43 %. Величина изотопа углерода метана изменяется в пределах  $-55,7 \div -44,8$  ppt и этана  $-28,4 \div -25,7$  ppt. Приведенные на диаграммах данные позволяют считать, что газы изученных газогидратов по изотопному составу близки к газам нефтяных месторождений и характеризуются как миграционные.

Изложенные выше данные об изотопном составе углеводородных газов Азербайджана позволяют в зависимости от генезиса отнести их к газам биогенным и термокаталитическим, причем последние связаны с главной фазой газообразования и формирования вместе с генезисом жидких углеводородов в главной фазе нефтеобразования. Кроме того, после своего образования газы участвовали в миграционных процессах и перемешивании их состава. Как уже отмечалось, газы чокракского горизонта и миоценовых отложений попадают в зону диагенеза, что говорит о формировании их состава на небольших глубинах. Не исключено, что их обособленное положение на диаграммах, возможно, связано с особенностями исходного материала, но это мало вероятно.

Таким образом, на примере газов Южно-Каспийской впадины еще раз подтвердились представления о зональности нефтегазообразования. На существование зональности и генетической модели нефтегазообразования в земной коре указывалось неодно-

кратно. Большинство геологов придерживается схемы, впервые предложенной В.А. Соколовым в 1948 году. Им выделяются биохимическая, переходная, термокаталитические нефтяная и газовая зоны, а также глубинная газовая зона 12 – 15 км и более (Соколов, 1971). Согласно этой гипотезе, основная масса УВ образуется в зоне катагенеза в результате преобразования ОВ пород. Термокаталитическая зона охватывает разрез осадочной толщи ниже 1-2 км. В.А. Соколов в ней выделяет две подзоны: верхнюю или нефтегазовую и нижнюю или метановую. Указанные зоны постепенно переходят одна в другую, а глубина их расположения зависит от геотермического градиента. Основным фактором преобразования органического вещества в жидкие и газообразные углеводороды является температура. В.А. Соколов, исходя из экспериментальных данных, считает, что эти преобразования могут происходить при температурах 30 – 100 °С и выше. Придерживаясь гипотезы В.А. Соколова, Н.Б. Вассоевич внес в нее уточнения. По его мнению, основная масса нефти генерируется в главную фазу нефтегазообразования (ГФН) в интервале глубин 2 – 4 км при температуре 70 – 150 °С. Этот же интервал активной генерации нефти в осадочных породах отмечен в работах А.М. Акрамходжаева, Е.Н. Рогозина, Л.И. Капченко и др. Вместе с тем существует представление об универсальности или более широких возможностях газообразования по сравнению с нефтегазообразованием. Н.В. Вассоевич (1974) отмечает, что газообразование предшествует нефтегазообразованию, сопутствует ему и продолжается после его завершения.

В конце 60-х годов и начале 70-х в литературе появились статьи, посвященные изучению изотопов углерода УВ газов (Алексеев, 1974). Было установлено, что в зависимости от условий генерации углеводородные газы характеризуются строго определенным изотопным составом (таблица), что является одним из диагностических признаков их генезиса, позволяющим дополнить существующие мнения о зональности и характере нефтегазообразования в земной коре.

## Изотопный состав углеводородных газов различных зон нефтегазообразования

<b>Наименование зон преобразования ОБ</b>	<b><math>\delta^{13}\text{C}</math>, ppt</b>
Биохимическая	от -55,0 до -95,0
Переходная	от -55,0 до -65,0
Термокаталитическая	от -36,0 до -58,0

Изучение изотопного состава УВ газов Южно-Каспийской впадины подтвердило ранее высказанные представления и дало дополнительные сведения о генезисе углеводородных газов. В разрезе мезокайнозойской осадочной толщи выделены газы биохимического, диагенетического и термокаталитического генезиса. В частности, из приведенных данных следует, что газы газовых, газоконденсатных, нефтяных залежей, грязевых вулканов и газогидратов на диаграммах располагаются в пределах одних и тех же полей, что говорит об образовании их из единого источника. Углеводородные газы нефтегазовых свит в основном сингенетичны вмещающим породам, образованы в результате термокаталитического преобразования органического вещества (Т, ТТm) и ассоциированы с жидкими углеводородами (Дадашев и др., 2000). Углеводородными газами, образовавшимися в зоне термокаталитического преобразования органического вещества пород, сформированы газовые, газоконденсатные и нефтяные залежи Азербайджана, а также газы грязевых вулканов и газогидратов.

Полученные изотопные данные углеводородов в залежах свидетельствуют о том, что в основной нефтегазовой свите Азербайджана – продуктивной толще, в погруженных зонах Южно-Каспийской впадины происходит генерация в больших количествах жидких и газообразных углеводородов. Эти процессы начинаются с момента погружения пород на глубины 1500 – 2000 м и продолжают в нарастающем темпе по мере дальнейшего пригибания впадины на глубины 7 – 10 км. Эти процессы продолжают и в современном периоде. Образовавшиеся жидкие и газообразные углеводороды, находящиеся на соответствующих глубинах (> 4 км), в газообразном состоянии с ростом давления выжимаются из глин в коллектора, и начина-

ется их латеральная миграция вверх по восстановлению пород к бортовым частям Южно-Каспийской впадины. В результате латеральной и вертикальной миграции происходит распределение по площади и разрезу газоконденсатных, нефтяных и газовых месторождений. Последующая миграция (Ms, Md) смеси жидких и газообразных углеводородов приводит в соответствии с термодинамическими условиями и условиями миграции к распределению зон преимущественного нефтенакпления и преимущественного газонакопления.

Изученный химический и изотопный состав углеводородных газов позволил охарактеризовать их зональное распространение до первой газовой фазы. Однако, учитывая, что мощность осадочной толщи Южно-Каспийской впадины оценивается в 25 – 30 км, не вызывает сомнения, что ниже первой газовой фазы должна существовать на соответствующих глубинах вторая главная фаза газообразования. Эта фаза газообразования будет обеспечивать глубоко погруженные ловушки, в которых возможно скопление углеводородов с крупными и гигантскими запасами.

## ЛИТЕРАТУРА

- АЛЕКСЕЕВ, Ф.А., ВОЙТОВ, Г.И., ЛЕБЕДЕВ, В.С., НЕСМЕЛОВА, З. Н. 1978. Метан. Недра, Москва.  
 АЛЕКСЕЕВ, Ф.А. 1974. О зональности нефтегазообразования в земной коре по данным изотопных исследований. *Геология нефти и газа*, 4, 62 – 67.  
 ВАССОЕВИЧ, Н.Б. 1974. Принципиальная схема вертикальной зональности и генерации углеводородных газов и нефти. *Изв. АН СССР, Сер. геол.*, 5, 123 – 135.  
 ГАЛИМОВ, Э. М. 1973. Изотопы углерода в нефтегазовой геологии. Недра, Москва, 384.  
 ВАЛЯЕВ, Б.М., ГРИНЧЕНКО, Ю.И., ЕРОХИН, В.Е., ПРОХОРОВ, В.С., ТИТКОВ, Г.А. 1985. *Литология и полезные ископаемые*, 1, 72 – 85.  
 ДАДАШЕВ, Ф.Г., РАССЕЛ, И.К., КАБУЛОВА, А.Я., ДАДАШЕВ, А.М. 2000. Изотопы углерода и водорода

- да в углеводородных газах Азербайджана. *Труды Ин-та геологии*, 28, 43 – 56.
- ДАДАШЕВ, Ф.Г. 1965. Углеводородные газы третичных отложений Восточного Азербайджана, Изд. АН Азерб. СССР, Баку, 125.
- СОКОЛОВ, В.А. 1971. Геохимия природных газов, Недра, Москва.
- CLAYTON, C. 1991. Carbon isotope fractionation during natural gas generation from kerogen. *Marine and Petroleum Geology*, 8.
- SCHOELL, M. 1983. Genetic characterization of natural gases. *AAPG, Bulletin*, 8.

**Рецензент: д.г.-м.н. А.А.Фейзуллаев**