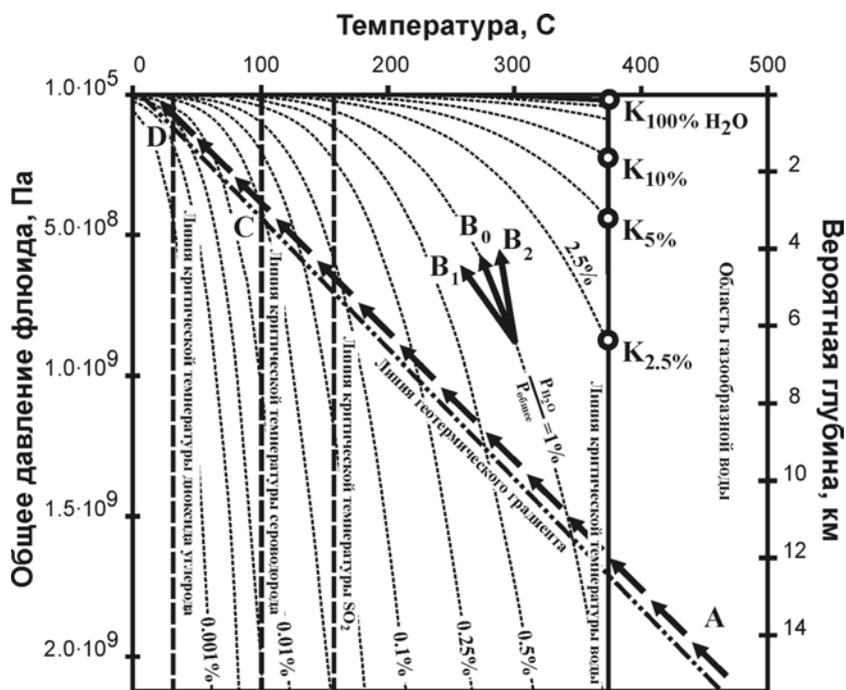


## ФАЗОВЫЕ ПЕРЕХОДЫ «ГАЗ – ЖИДКОСТЬ» В ЭНДОГЕННОМ ОБРАЗОВАНИИ УГЛЕВОДОРОДНОГО СЫРЬЯ

Малышев А.И. (Институт геологии и геохимии УрО РАН)  
 malyshev@igg.uran.ru; факс: (343) 371-52-52; тел: (343) 371-60-03

**Ключевые слова:** эндогенный флюид, фазовый переход, критические параметры, углеводороды

Для перехода от общего флюидного давления к вероятной глубине при построении диаграммы рис. 1. использованы приведенные в работе [0] данные о превышении флюидного давления по сравнению с литостатическим эквивалентом. Исходя из перехода от значений общего флюидного давления к вероятным глубинам и имеющихся данных о среднем геотермическом градиенте в недрах Земли, составляющем  $3^\circ$  на каждые 100 м, на диаграмму нанесена линия вероятного геотермического градиента. Будем считать, что флюидный поток эволюционирует в недрах Земли, находясь в температурном равновесии с вмещающими породами, т.е. после входа в область зон водной отгонки продолжает перемещаться по трассе **A**, и проследим за его химической эволюцией по этой трассе. При входе в область зон водной отгонки по трассе **A** флюид сбрасывает в конденсат основную массу содержащейся в нем воды. В точке входа в газообразном виде остается лишь та часть воды, которая обеспечивает 1.4% общего давления флюидной смеси. Одновременно с образованием водного конденсата начинается его взаимодействие с потенциально кислыми газами. Образующиеся кислоты ( $\text{HCl}$ ,  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) сначала нейтрализуют ранее существовавший щелочной режим, а затем начинают оказывать все более сильное кислотное воздействие на вмещающие породы. В результате протекающих реакций нейтрализации образуются соли кислот, вода, а газовая часть флюида обогащается за счет этих реакций вторичным водородом. При дальнейшем движении вглубь водной отгонки остаточный состав газовой фазы обедняется парами воды, т.е. становится все более сухим. На пути дальнейшей эволюции флюида по трассе **A** находятся несколько важных геохимических барьеров. Наибольшее значение они имеют для газовой составляющей флюида.



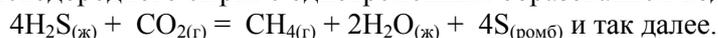
**Рис. 1.** P-T-диаграмма зон водной отгонки. Вероятная глубина — литостатический эквивалент, пятикратно уменьшенный за счет поправки на избыточное флюидное давление. Пояснения см. текст.

Первый геохимический барьер связан с достижением флюидом критической температуры для одного из наиболее распространенных в эндогенных флюидах газов — диоксида серы. При

входе флюида по трассе А в область зон отгонки диоксида серы в точке входа он сбрасывается в конденсат до уровня остаточного парциального давления 1.1% от общего давления газовой смеси. Если исходное содержание SO<sub>2</sub> было существенным (5–15%), то в точке входа образуется слой конденсата диоксида серы, сквозь который вынуждены фильтроваться все остальные газы. В конечном счете, в зоне отгонки диоксида серы происходит вывод из состава газовой составляющей избытка этого газа и дополнительное обогащение газовой смеси вторичным водородом.

Следующий геохимический барьер на пути эндогенных газов связан с критической температурой сероводорода — 100.4° С. В область зон сероводородной отгонки движущийся по линии геотермического градиента (трасса А) флюид входит на вероятной глубине 3.2 км (точка С). В точке входа остаточное парциальное давление паров воды составляет всего 0.024% от общего флюидного давления, паров диоксида серы — 0.63%. Поэтому в составе газовой фазы флюида доминирует двуокись углерода, водород и сероводород. Однако на входе в область зон сероводородной отгонки его содержание в газовой фазе скачкообразно уменьшается до уровня остаточного парциального давления, составляющего 2.06% от общего флюидного давления, тогда как весь избыток сбрасывается в конденсат с образованием на пути газового потока области зон сероводородной отгонки.

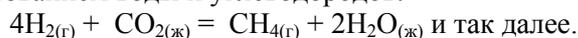
Эта область очень важна не только с теоретической, но и с практической точки зрения, т.к. при фильтрации двуокиси углерода сквозь сероводородный конденсат происходит образование углеводородного сырья с одновременным образованием воды и самородной серы:



Образующиеся в зоне сероводородной отгонки сравнительно тяжелые простейшие углеводороды, начиная с бутана и бутилена, формируют углеводородный конденсат. Так как критические давления этих соединений относительно невелики, то их остаточные парциальные давления имеют очень низкий уровень. Повышенные температура и общее флюидное давление способствуют дальнейшим реакциям полимеризации углеводородов с образованием более тяжелых соединений. Более легкие углеводороды, такие как метан, этан, этилен, пропан и пропилен, имея более низкие критические температуры, полностью остаются в газообразном состоянии. Фильтруясь через конденсат более тяжелых углеводородов, они частично поглощаются в ходе реакций полимеризации. Оставшаяся часть продолжает эволюцию в составе газовой фазы флюида.

Однако два последних из вышеперечисленных легких углеводородных соединений — пропан и пропилен — недалеко уходят по трассе эволюции флюида от места их первичного образования в зоне сероводородной отгонки. Пропан достигает своей критической температуры 96.67° С почти сразу после зоны сероводородной отгонки — на вероятной глубине 3.06 км. Чуть дальше по трассе флюида, на вероятной глубине 2.9 км, расположена зона отгонки пропилена, имеющего чуть более низкую критическую температуру.

Последняя чрезвычайно важная зона на пути эволюции остаточных газов эндогенных флюидов расположена на вероятной глубине около 860 м. Здесь достигается критическая температура 30.85°С для двуокиси углерода. При входе в эту зону остаточные газы эндогенного флюида состоят в основном из CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub> и в меньшей степени из легких летучих углеводородов. Уровень давления остаточных паров воды в точке входа флюида в эту зону (точка D на диаграмме рис.1.) составляет лишь около 0.004% от общего флюидного давления, давление остаточных паров SO<sub>2</sub> — 0.4%, H<sub>2</sub>S — 1.9%. Предельно возможные давления углеводородов, находящихся при температурах ниже критических, приведены в. На входе в зону давление паров CO<sub>2</sub> скачкообразно уменьшается до предельно возможного критического уровня, соответствующего в данной точке 6.2 % от общего флюидного давления. Весь избыток двуокиси углерода сбрасывается в конденсат, сквозь который происходит фильтрация водорода, сопровождающаяся образованием воды и углеводородов:



Образование углеводородов происходит и при фильтрации сквозь конденсат двуокиси углерода остаточного сероводорода. Но поскольку его содержание в остаточных газах не превышает 2%, то общее количество образующейся при этом серы сравнительно невелико. Легкие углеводороды, фильтруясь сквозь углеводородный конденсат, частично поглощаются за счет реакций углеводородной полимеризации. В вышеописанных зонах образования углеводородов конденсируется и поглощается значительная часть остаточных газов эндогенного флюида. В ре-

зультате динамическая активность флюидной системы резко падает и появляется тенденция накопления углеводородного сырья в благоприятных геологических структурах — нефтяных ловушках.

### **Литература**

1. Наумов В. Б., Коваленко В. И., Дорофеева В. А. // Геология рудных месторождений, 1997, том 39, № 6, с. 520-529.

---

*Вестник Отделения наук о Земле РАН - №1(22) 2004*

*Информационный бюллетень Ежегодного семинара по экспериментальной минералогии, петрологии и геохимии 2004 года (ЕСЭМПГ-2004)*

*URL: [http://www.scgis.ru/russian/cp1251/h\\_dgggms/1-2004/informbul-1/hydroterm-24.pdf](http://www.scgis.ru/russian/cp1251/h_dgggms/1-2004/informbul-1/hydroterm-24.pdf)*

*Опубликовано 1 июля 2004 г*

*© Вестник Отделения наук о Земле РАН, 1997 (год основания), 2004*

*При полном или частичном использовании материалов публикаций журнала, ссылка на "Вестник Отделения наук о Земле РАН" обязательна*