

ОБЩИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ ЭВОЛЮЦИИ ФАЗОВОГО СОСТАВА ФЛЮИДА В ПРОЦЕССАХ НЕФТЕ- И РУДООБРАЗОВАНИЯ

А.М. Кузин
ИПНГ РАН
e-mail: amkouzin@yandex.ru

Накопленные экспериментальные данные свидетельствуют о значительном сходстве процессов образования месторождений углеводородов и руд. В геологии нефти и газа месторождения углеводородов по содержанию газа подразделяются на газовые, нефтегазовые и нефтяные. Критерием наличия газовой залежи в сейсморазведке является аномально низкие значения отношения скорости продольной волны к скорости поперечной волны (V_p/V_s).

С газовой фазой флюида непосредственно связано образование рудных месторождений, перенос рудной минерализации от магматического до гидротермального типа месторождения осуществляется преимущественно с газовой фазой флюида. Вывод о повышенном содержании газообразного флюида в руде находит подтверждение в результатах геохимических и петрологических исследований. Присутствие значительной доли газов установлено для различных типов рудных месторождений. Газовая фаза – это специфический долгоживущий в геологическом времени след рудообразования [Фридман, 1970]. Среди газовых компонентов в рудах ведущую роль играет углекислота, обнаруженная в 90% флюидных включений минералов гидротермального генезиса, далее, по степени убывания, идут метан, азот, H_2S , C_nH_m , H_2 , и CO . Состав и концентрации газов варьируют в широких пределах: концентрация CO_2 может достигать 8 моль/кг раствора, концентрация CH_4 –3 моль/кг раствора [Наумов, Миронова, 2009].

Ведущая роль газообразных флюидов отмечена в образовании месторождений золота. Изучение золоторудных месторождений Дальнего Востока дало основание сделать вывод о том, что формирование золотосульфидных вкрапленных руд могло происходить из существенно газовых металлоносных флюидов. Перенос благородных металлов в газовых флюидах был выявлен на действующем вулкане Кудрявом Курильской гряды [Волков, Сидоров, 2010]. Согласно [Бортников и др., 2010], мезотермальные месторождения золота формировались в условиях относительно высоких давлений (1–3 кбар) и температур (200–400 °C). Золотообразующие флюиды представляли собой смесь $H_2O+CO_2+CH_4+N_2+NaCl$ умеренной до низкой солености.

Пониженные значения Vp/Vs фиксируются в рудных интервалах на месторождениях, даже там, где кремнезем (с ним обычно связываются низкие значения Vp/Vs) присутствует в ограниченном количестве. В работе [Кузин, 2012] был выполнен анализ значений Vs/Vp в рудных интервалах залежей и вмещающей среде по опубликованным данным для месторождений различного типа. Оказалось, что пониженные значения Vp/Vs в рудных интервалах разреза могут быть интерпретированы только повышенным содержанием газообразного флюида [Кузин, 2012].

Одной из причин образования аномалий Vp/Vs в породах консолидированной коры может являться газовая «дистилляция», когда в процессе двухфазной фильтрации происходит закономерное гидродинамическое расщепление фаз с обогащением фронтальных частей флюидных потоков газовой фазой [Кошемчук, 1998]. С газовой «дистилляцией» может быть связано существование газовых струй, обогащенных инертными газовыми компонентами (азотом, гелием и т.п.). В верхних частях гетерофазных флюидных систем должна формироваться «газовая шапка», обогащенная слабо взаимодействующими с водой газами. В относительно закрытых флюидных системах со слабо проницаемыми экранами возможно длительное квазистационарное присутствие «газовой шапки». Для тонкопористых сред в экспериментах наблюдалась пространственная и временная осцилляции газонасыщенности, а также величин потоков флюидных фаз, что, по-видимому, связано с задержкой и накоплением газовой фазы. Это явление – коалесценция газовых пузырей и оттеснение жидкой фазы – позволяет объяснить возможность длительного существования блоков пород с поровым, преимущественно газового заполнения, пространством.

Сопоставление значений параметра Vp/Vs с температурами образования рудной минерализации позволило выделить тенденцию уменьшения значений Vp/Vs с ростом температуры образования руды. Это можно объяснить двумя факторами: при высоких давлениях и температурах рудная минерализация переносится преимущественно в составе газовой фазы, при этом вмещающая порода сохраняет или приобретает более высокую упругость. Такое подобие в поведении параметра Vp/Vs между залежами рудной минерализации и газа может рассматриваться как общая закономерность раннего этапа в процессе образования месторождений флюидного генезиса. Эта закономерность согласуется с данными анализа содержания металлов в современных бассейнах, приведенными в [Петренко и др., 1985]. Оказалось, что в газоконденсатных парогазовых

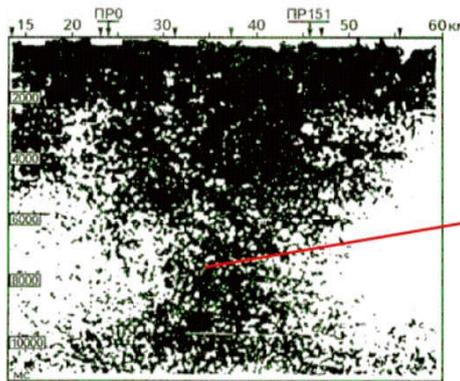
смесях растворено значительно большее количество веществ, чем в нефтях. При сопоставлении суммарного количества одних и тех же элементов (Fe, Na, Mn, V, Cr, Co, Br, J и др.) было установлено, что в парах воды содержится в 16,7 раза больше элементов по сравнению с парами углеводородов. В Южно-Каспийской впадине вверх по разрезу мигрировало от $390 \cdot 10^{12}$ до $2,6 \cdot 10^{15}$ м³ природных газов. При глубине 10 км, давлении 170 МПа, температуре 533 К и влагоемкости газов 89 см³/м³ объем переносимых паров воды составляет 35–230 км³ (в пересчете на жидкую воду). В этом случае даже при низкой растворимости паров воды в 385,9 мг/л было перенесено от 13,5 до 88,8 млн тонн веществ в паровой фазе.

Как показали эксперименты на алмазоносных трубках взрыва, обилие твердых обломков в кимберлитах и лампроитах, а также в дайках со значительной серпентинизацией пород свидетельствует о снижении вязкости среды и о том, что образование алмазов происходило преимущественно за счет газообразно-жидкой фазы флюида, а не расплава [Барышев, 2006]. Сходство в развитии флюидных систем в рудных и газонефтеносных районах находит отображение в параметрах и характеристиках сейсмического поля. На рисунке представлена схожая волновая картина преобразования горных пород под влиянием газа в осадочном разрезе (рис. в) и породах консолидированной коры (рис. а-б). При этом отмечается четкая корреляция между распределением амплитуд отраженных волн на разрезе МОГТ (а) и распределением V_p с морфологией сейсмических границ на разрезе ГСЗ (рис. б) на глубинах 8–10 км.

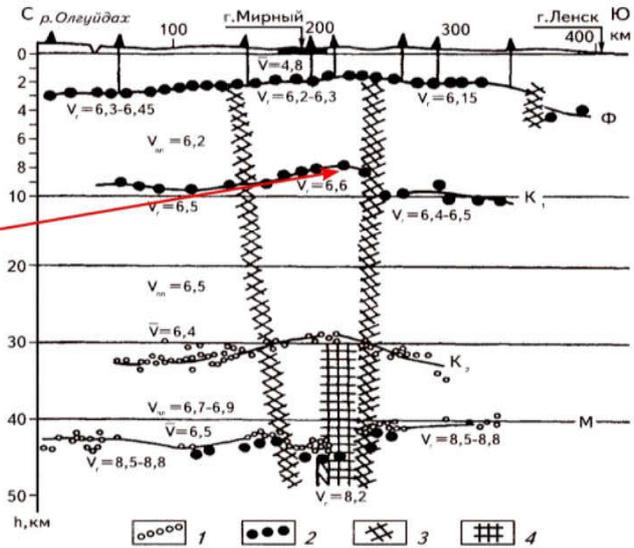
На крупном урановом месторождении в пределах Новокоптяковинского рудного поля на Украинском кристаллическом щите (УКЩ) при проведении горных работ неоднократно фиксировались газопроявления в виде тумана с характерным запахом газоконденсата. Газопроявления сопровождалось возгоранием метана [Лукин, 2011]. К этому нужно добавить, что Кировоградский блок (УКЩ) считается перспективным для поисков месторождений коренных алмазов и золота.

Анализ разрезов V_p/V_s в нефтегазоносных районах по данным ГСЗ позволил выявить другую общую закономерность – относительное преобладание повышенных значений V_p/V_s в верхней части консолидированной коры и уменьшение их к средней части, от районов с преобладающей нефтеносностью к районам с преобладающей газоносностью [Кузин, 2011]. Отличием нефтеносных районов от газоносных, согласно геотермическим исследованиям, является наличие нисходящей фильтрации воды и

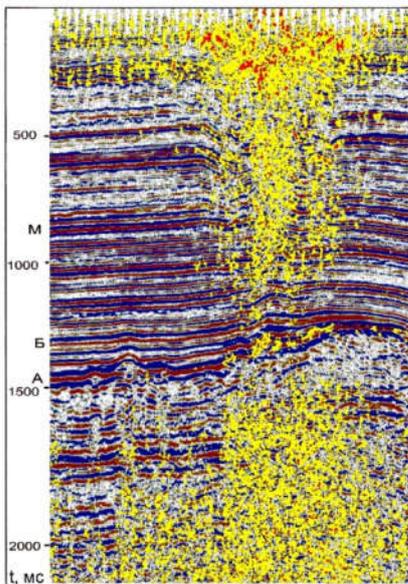
а



б



в



а – мигрированный разрез по региональному широтному профилю 28 через Мирнинское поле трубок (наблюдения проведены с использованием взрывных источников возбуждения) [Караев, Рабинович, 2000]; б – разрез земной коры через Мирнинское поле трубок по данным наблюдений способом дифференциальных зондирований [Суворов, 1993]. 1 – глубины по данным отраженных волн; 2 – глубины по данным преломленных волн; 3 – разломы; 4 – коромантийная неоднородность [Караев, Рабинович, 2000]; в – временной разрез.

Западная Сибирь. Приуральская НГО, Краснотенинский свод, нефтегазоконденсатное месторождение (по С.Р. Бембелю, 2011)

водных растворов [Сардаров, 1989]. Как было показано в работе [Горяинов, Ляховицкий, 1979], высокие значения V_p/V_s соответствуют породам, содержащим в трещинах и порах воду. Это, вместе с результатами изучения геотермического поля в нефтеносных районах, свидетельствует о генетической взаимосвязи нефтеобразования с конвективными гидротермальными системами.

Все типы рудных систем – от магматогенных до гидротермальных – характеризуются конвекцией воды [Синяков, 1987]. В частности, математическое моделирование для крупнейших Стрельцовского и Антея урановых месторождений показало, что к концу рудной стадии в зону рудоотложения поступают флюиды с поверхности Земли, формируются конвективные ячейки [Мальковский и др., 2010]. Следовательно, образование нефти необходимо рассматривать как дальнейшее развитие гидротермальной системы.

Таким образом, в рудных и углеводородных системах прослеживаются закономерности по фазовому составу флюида и развитию конвективного гидротермального процесса независимо от геологического строения и возраста, которые находят отображение в значениях сейсмических параметров.

Статья написана в рамках выполнения Государственного задания в сфере научной деятельности на 2017 г.

ЛИТЕРАТУРА

- Барышев А.Н.* Периодическое размещение алмазоносных систем и смежные проблемы геологии // Отеч. геология. 2006. № 6. С. 20–35.
- Горяинов Н.Н., Ляховицкий Ф.М.* Сейсмические методы в инженерной геологии. М.: Недра, 1979. 143 с.
- Караев Н.А., Рабинович Г.Я.* Рудная сейсморазведка. М.: ЗАО «Геоинформмарк», 2000. 366 с.
- Кошемчук С.К., Магомедов М.А., Алехин Ю.В., Лакишанов Л.З.* Двухфазная фильтрация в системах вода–газ. Экспериментальное и теоретическое исследование // Экспериментальное и теоретическое моделирование процессов минералообразования. М., 1998. С. 279–296.
- Кузин А.М.* О возможной природе относительно низких значений параметра V_p/V_s рудных залежей флюидного генезиса // Геофизика. 2012. № 2. С. 7–15.
- Кузин А.М.* Пространственно-фазовая локализация месторождений углеводородов и отображение конвергентности процессов флюидизации в геологической среде по сейсмическим данным // Дегазация Земли и генезис нефтяных месторождений. К 100-летию со дня рождения П.Н. Кропоткина. М., 2011. С. 276–301.

- Лукин А.Е.* Создание учения о нефтегазоносных кристаллических массивах – насущная проблема геологии XXI века // Там же. С. 405–441.
- Мальковский В.И., Пэк А.А., Алешин А.П.* Моделирование флюидного переноса вещества и энергии в процессе формирования месторождений Стрельцовское и Антей (Восточное Забайкалье) // Новые горизонты в изучении процессов магмо- и рудообразования: материалы науч. конф., Москва, Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии (ИГЕМ РАН), 8–11 ноября 2010 г. М., 2010. С. 275–276.
- Наумов Г.Б., Миронова О.Ф.* Природа газов флюидных включений в минералах // Докл. IX Междунар. конф. «Новые идеи в науках о Земле». М., 2009. Т. 1. 207 с.
- Петренко В.И., Котов В.С., Петухова Н.М., Петренко Н.В.* Роль паров воды в массопереносе на примере парогазовых смесей газоконденсатных месторождений // Подземные воды и эволюция литосферы: материалы Всесоюз. конф. М., 1985. С. 47–49.
- Садаров (мл.) С.С.* Структуры в гидротермальных системах. М.: Наука, 1989. 151 с.
- Синяков В.И.* Основы теории рудогенеза. Л.: Недра, 1987. 192 с.
- Суворов В.Д.* Глубинные сейсмические исследования в Якутской кимберлитовой провинции. Новосибирск: Наука, 1993. 234 с.
- Фридман А.И.* Природные газы рудных месторождений. М.: Недра, 1970. 192 с.