

## ПРОИСХОЖДЕНИЕ И СПОСОБЫ ИЗУЧЕНИЯ ВТОРИЧНОЙ ПУСТОТНОСТИ ГРАНИТОИДНЫХ ПОРОД

Формирование коллектора в гранитоидах происходит под действием ряда факторов, которые условно можно разделить на геологические и тектонофизические. Трещинообразование является проявлением тектонофизических процессов в массивах горных пород, обладающих определенными механическими свойствами: хрупкостью или пластичностью, пределами текучести и прочности, коэффициентами Юнга и Пуассона и т.д. Поэтому прогнозирование зон развития трещинных коллекторов в интрузивных породах невозможно без моделирования тектонофизических процессов во времени, начиная с момента формирования магматического тела определенного состава из расплава и до заполнения пустотного пространства флюидами.

В основе такого моделирования лежат исследования напряжений, возникающих в массиве при детальном (в геологическом масштабе времени) деформировании тектоническими и некоторыми другими, носящими локальный характер, процессами. Основные трудности решения этой задачи связаны с анизотропией механических свойств кристаллических пород, в свою очередь обязанной многокомпонентному минеральному составу и генетической микронеоднородности на уровне отдельных минералов или их кристаллических форм. Кроме того, деформационные, особенно прочностные характеристики таких пород, как гранитоиды, зависят от длительности и периодичности действия напряжений, а это не позволяет безоговорочно переносить результаты лабораторных модельных исследований образцов пород на горные массивы.

Другим, не менее важным вопросом тектонофизики является соотношение вертикальной и горизонтальной компонент главного вектора напряжения в земной коре и ее отдельных структурах, а также способы их оценки. Ряд данных (Кольская сверхглубокая, 1984; Муслимов, 1996) свидетельствует о широком распространении горизонтального направления основного сжатия в гранитном и базальтовом слоях коры, в то время как общепринятым считается соотношение давления бокового распора и вертикального литостатического как 1:3 и менее. А ведь именно от этой величины в значительной мере зависит преобладание горизонтальных или вертикальных трещин в массиве плотных пород.

Анализ геолого-геофизических и петрофизических материалов по скважинам сверхглубокого бурения (Кольская СГ-3, КТБ в Верхнем Пфальце, Германия и др.) подтверждает существование гидродинамически изолированных водоносных горизонтов на глубинах 8–9 км, пластовые давления в которых значительно выше гидростатических. Однако убедительных данных о прогрессивном снижении хрупкого поведения пород гранитного слоя на этих глубинах нами не обнаружено. С дру-

гой стороны, результаты исследования глубоких скважин, вскрывших кристаллический фундамент Татарского свода, в частности, Миннибаевской-20000, показали присутствие зон интенсивной трещиноватости и дробления по всей вскрытой мощности фундамента (3215 м), причем число и размеры таких зон возрастали с глубиной (Кристаллический фундамент..., 1996). Аналогичные результаты были получены и в породах кристаллического фундамента нефтяного месторождения «Белый Тигр» (шельф Южного Вьетнама). Здесь, на Северном своде структуры, интенсивность трещиноватости сохраняется практически неизменной до максимально вскрытой скважинами глубины более 5000 м (Кошляк, Куи, 1996).

Таким образом, повсеместное существование зон трещиноватости, дробления и милонитизации, т.е. коллекторских толщ в теле фундамента, во всяком случае до глубин 5–6 км и тем более в пределах положительных элементов рельефа фундамента, сомнений не вызывает.

Анализ имеющихся публикаций показал, что для изученных регионов общими являются следующие положения.

1. Промышленные скопления нефти и газа приурочены главным образом к многократно активизировавшейся системе дизъюнктивных нарушений, заложившейся на ранних этапах консолидации фундамента.

2. Для формирования и сохранения залежей углеводородов в кристаллических породах фундамента основную роль играет не амплитуда разрывных нарушений, а их современная активность. Зоны разуплотнения, с которыми связано формирование трещинных коллекторов и миграция флюидов, образуются только в динамически напряженных массивах. Более древние стабильные разломы, как правило, залечены вторичной минерализацией и играют роль экранов, ограничивающих залежи.

3. Установлена связь флюидодинамики массивов консолидированных трещиноватых пород с распределением в них растягивающих и сжимающих напряжений, оценка которых может быть выполнена на базе тектонофизической интеграции геолого-сейсмических данных.

4. Наилучшие фильтрационно-емкостные свойства (ФЕС) кристаллических пород фундамента связаны с мак-

Интервалы отбора керна из фундамента, м	Число определений	Площадь пустот, %			
		Трещин	Каверн	Пор	Общая
0 – 100	14	$\frac{1,49}{0,38-3,34}$	$\frac{0,62}{0-4,3}$	$\frac{1,45}{0,4,0}$	$\frac{3,56}{0,75-10,1}$
100 – 300	11	$\frac{1,33}{0,1-6,3}$	$\frac{0,11}{0-1,35}$	$\frac{1,05}{0,2-1,08}$	$\frac{2,49}{0,3-6,8}$
300 – 500	9	$\frac{0,58}{0-2,7}$	$\frac{0,37}{0-1,5}$	$\frac{0,97}{0,3-1,3}$	$\frac{1,92}{0,5-4,3}$
500 – 700	2	0,2	$\frac{0,15}{0-0,3}$	$\frac{0,9}{0,8-1,0}$	$\frac{1,25}{1,2-1,3}$
700 – 1000	7	$\frac{0,98}{0-2,6}$	0	$\frac{0,48}{0,3-1,0}$	$\frac{1,46}{0,3-3,2}$

симулами трещиноватости в зоне действия молодых или обновленных разломов, по которым поднимаются глубинные гидротермальные растворы, способствующие образованию зон разуплотнения. Прорыв высокотемпературных агрессивных парогазовых смесей, содержащих в растворе глубинные минералы и углеводороды, приводит к гидроразрыву пород, увеличивая тем самым ее трещиноватость, создавая дополнительную емкость резервуара, а также зоны АВПД.

5. Насыщение зон разуплотнения (трещиноватости) фундамента углеводородами по О.Г. Сорохтину (1979) и В.П. Гаврилову (1997), связано с возгонкой водонефтяного потока на активных окраинах континентов или островных дуг, длительное (в геологическом масштабе) время находившихся в ареале действия субдукционных процессов.

Таким образом, следуя изложенным положениям, поиски и разведка зон возможной трещиноватости и приуроченных к ним скоплений углеводородов должны основываться на тщательном тектонофизическом анализе полей напряжений, возникших в структурах фундамента в результате неотектонических процессов.

Наиболее благоприятными являются деформации растяжения, проявляющиеся в первую очередь при образовании положительных структур (выступов) фундамента и сопровождающиеся разрывными нарушениями типа сбросов. Участки наилучших коллекторских свойств локализуются, как известно, в зонах максимальной трещиноватости.

Региональными диагностическими признаками таких зон в верхней части земной коры служат отрицательные гравиметрические аномалии и пониженные скорости сейсмических волн.

Пустотное пространство в породах фундамента изучается разными методами по керну глубоких скважин. Надо, впрочем, отметить, что трещиноватые или кавернозные породы могут распадаться при отборе, так что объем крупных каверн и открытых трещин не может быть учтен при определении ФЕС. Это сильно снижает достоверность результатов изучения керна. Среди этих методов выделяются следующие: исследование стандартных шлифов под поляризационным микроскопом; описание больших шлифов из образцов пород, пропитанных окрашенными смолами; изучение естественных сколов пород растровой электронной микроскопией, в том числе методом катодolumинисценции; ртутная порометрия и адсорбционные методы; стандартные методы определения пористости и проницаемости.

Среди перечисленных одним из наиболее наглядных является способ, предложенный в Проблемной лаборатории электронной микроскопии кафедры геологии РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина (Р.А. Бочко, В.А. Кузьмин). Пришлифованные сколы образцов пород насыщаются жидким люминофором с мономерным носителем, при фиксированной температуре происходит их полимеризация в порах, а затем выполняется съемка объекта на РЭМ в режиме катодolumинисценции. На черно-белых фотоснимках четко выделяются плотные участки и пустоты. При стандартном увеличении 50-х удается считывать поры с диаметром от 0,1 мкм и трещины с раскрытостью от 0,1 мкм. Специальная программа позволяет проводить автоматическую обработку изображения методом секущих хорд и получить кривые распределения пустот по размерам.

Мы исследовали этим методом пустотное пространство гранитоидов месторождения Белый Тигр. Были установлены следующие его разновидности:

- секущие породу относительно крупные трещины;
- тонкие трещины вдоль межзерновых контактов;
- разобщенные каверны растворения размером свыше 100 мкм;
- участки с многочисленными сообщающимися пустотами размером от 3 до 100 мкм;
- единичные разобщенные мелкие поры размером 3 – 30 мкм.

Из анализа полученных данных сделаны следующие выводы:

1. Поровые коллекторы характерны преимущественно для верхней зоны фундамента, измененной гипергенными процессами; ниже в разном соотношении встречаются трещинные, каверновые или каверново-трещинные коллекторы.

2. Фильтрационные свойства коллектора определяются трещинами, соединяющими зоны повышенной пустотности (дробления).

3. Морфология пустотного пространства и размеры пустот определяются характером и интенсивностью воздействующих на породы вторичных процессов (тектоника, гидротермы, контракционная усадка и др.)

Метод больших шлифов был использован нами при изучении гранитоидов фундамента месторождения Белый Тигр. По результатам этого анализа преобладающие размеры трещин колеблются в пределах 0,1 – 2,25 мм (до 15 мм) по длине и 0,01 – 0,1 мм (до 0,6 мм) по ширине. Преобладающие размеры пор составляют 0,01 – 0,07 мм, а каверн – 0,5 – 1,5 мм. Напомним, что эти исследования дают представление о матричной части породы и не отражают свойства массива в целом. Нами сделана попытка установить зависимость объема пустот различного типа в керне от глубины его отбора относительно положения кровли фундамента (табл.), при этом были изучены лишь гранодиориты и диориты северного блока месторождения.

Как видно, в общем случае объем трещин, пор и каверн в матрице с глубиной уменьшается, хотя результаты ГИС и сейсморазведки ЗД показывают, что в фундаменте в целом на разных глубинах встречаются субгоризонтальные зоны с повышенной пустотностью, разделенные массивами практически непроницаемых пород.

Исследования состава пород из трещиноватых зон фундамента Татарского свода, проведенные Л.М. Ситдиковой и В.Г. Изотовым (1999), показали, что в этих зонах повышены концентрации углеводородного вещества. Оно образует мелкие (2 – 4 мм) выделения битумоидов, прошедших стадию шунтизации, или же связано с вторичными глинистыми минералами (гидрослюда, диоктаэдрические слюды, смешанослойные компоненты, каолинит и др.). При этом в таких зонах увеличивается содержание смолистой составляющей. Таким образом, битуминологический анализ керна и шлама может подтвердить наличие или отсутствие трещиноватых зон.

Битумоиды здесь встречаются по трещинам, что свидетельствует об их миграционной природе.

Н.Н. Христофоровой с соавторами (1999) в скв. Ново-Елоховская-20009 определено, что трещиноватые зоны можно выявлять, изучая поведение теплового поля в фундаменте. С зонами трещиноватости здесь связаны температурные аномалии.