

6. Максимович Г. А., Костарев В. П., Быков В. Н. Полезные ископаемые карстовых полостей и впадин Урала и Приуралья. Сб. «Карст Урала и Приуралья». Пермь, 1968.

7. Перельман А. И. Геохимия эпигенетических процессов. Изд-во «Недра». М., 1965.

8. Смирнов В. И. Геология полезных ископаемых. М., 1965.

Г. А. Максимович, В. Н. Быков

МИГРАЦИЯ ВЕЩЕСТВА В КАРСТОВЫХ КОЛЛЕКТОРАХ НЕФТИ И ГАЗА

Карстовые коллекторы в процессе своего развития оказываются вначале в зоне эпигидрогенеза, а затем гидрогенеза и гидрогалогенеза (2, 3). Преобразование вещества наиболее полно изучено для зоны эпигидрогенеза. Весьма сложна картина развития коллекторов при их переходе из одной гидрогеохимической (и гидродинамической) зоны карстовых вод в другую. Зональность в формировании коллекторов накладывает свой отпечаток на миграцию вещества в карбонатных коллекторах.

В литифицированной породе миграция вещества не зависит от фациального состава отложений. Однако это положение нельзя считать универсальным. В ряде случаев карстовые явления и наложенные на них эпигенетические изменения концентрируются в определенных породах (например, в биоморфных известняках), уже обладавших первичной пористостью.

На миграцию элементов оказывают влияние внутренние и внешние факторы (6). Нами будут рассмотрены лишь внешние факторы, специфичные для карстовых коллекторов нефти и газа.

Основными условиями проявления карста является наличие растворимых в воде горных пород и движущейся воды, способной растворять (4). В наиболее полном виде карст представляет единство растворения, переноса и отложения.

Особенностью миграции вещества в карстовых коллекторах, в отличие от современного карста в зоне эпигидрогенеза, является сочетание с другими формами преобразования вещества в условиях повышенных температур и давлений. Кроме того, миграция вещества при карстообразовании в древних зонах эпи-

гидрогенеза и гидрогенеза, несомненно, отличалась по своим климатическим, почвенным, геоморфологическим, палеобioлогическим и другим условиям.

В карбонатных коллекторах можно выделить физико-химическую, механическую, биологическую миграцию (5).

Физико-химическая миграция является основным видом. В течении миграционных процессов намечаются стадии эпигидрогенеза, гидрогенеза и гидрогалогенеза. В первой древней стадии миграция элементов находится в прямой зависимости от условий соответствующей гидродинамической зоны карстовых вод, насыщенности вод CO_2 , удаленности основной области питания, степени связи с земной поверхностью. Скорость миграции вещества в эту стадию — наибольшая, причем в миграционный цикл вовлекается наибольший объем карстующихся толщ и веществ (элементов) — мигрантов. В породе происходят настолько значительные изменения, что несмотря на последующие палеогеологические преобразования они сохраняются. В первую стадию в результате растворения карстовыми водами породообразующих минералов (кальцита, доломита, а также гипса, ангидрита) мигрируют Ca, Mg, S, C, а также микроэлементы — Sr, Mn, Fe, Ti, P и другие.

Высокая миграционная способность стронция в условиях эпигидрогенеза позволяет считать его индикатором древнего карста. Изменение содержания Sr происходит на общем кларковом фоне или на фоне среднего содержания в данном карстующемся массиве. Кларковое содержание стронция уменьшается в связи с изменением физико-химических условий в Океане. Миграция стронция в некоторых случаях тесно связана с преобразованием арагонита, слагающего скелет раковин. Арагонит содержит повышенное количество стронция. Являясь метастабильным минералом, он претерпевает диагенетические изменения и в результате перестройки кристаллической решетки переходит в кальцит. Одновременно происходит частичное выщелачивание арагонита. Однако основная часть непреобразованного арагонита выщелачивается во вторую стадию. Общее количество стронция в выщелоченных породах резко уменьшается. В качестве индикатора карстового процесса может быть также использовано отношение изотопов углерода $\text{C}_{12}/\text{C}_{13}$.

В первой древней стадии на миграцию элементов существенное влияние оказывает содержание CO_2 в карсто-

ных водах, действие которого ограничено глубиной распространения ненапорных вод. Температурные условия миграции в каждой климатической зоне достаточно стабильны и зависят лишь от колебаний атмосферной температуры, влияние которой может распространяться до 500—800 м.

Вторая стадия физико-химической миграции в зонах гидрогенеза и особенно гидрогалогенеза характеризуется замедленными скоростями, меньшим объемом и количеством элементов мигрантов. Основными факторами миграции являются напорные воды, повышенное давление и температура. В подземных водах преобладают диффузия, катионный обмен, конвекционные движения из-за различий в удельном весе воды, пульсационное проникновение растворов в связи с возобновляющимися тектоническими подвижками, перемещение воды из-за гравитационного уплотнения глинистых пород и т. д. В концентрации и рассеивании мигрирующих веществ велико значение фильтрационного эффекта.

Основные мигранты второй стадии—это элементы, входящие в состав таких минералов, как кальцит, доломит, ангидрит, халцедон, гипс. Характер миграционных процессов при второй стадии наследует основные морфологические черты, сложившиеся в первую стадию, а именно: направление, распределение и основные границы потока подземных вод. В этом отношении большую роль играет тип погребенного карста (4). Новые условия зоны гидрогенеза и особенно гидрогалогенеза вместе с замедлением растворения и переноса способствуют широкому развитию глубинных отложений из растворов. В карстовых полостях происходят кальцитизация, гипсотизация, кремнеобразование и другие процессы.

Механическая миграция в карстовых коллекторах, как и физико-химическая, проявляется в стадии эпигидрогенеза и гидрогалогенеза. Основные мигранты в первую стадию—обломки карстующихся и перекрывающих пород и диспергированные нерастворимые частицы. Миграция происходит под влиянием сил гравитации (обрушения стенок полостей и перекрывающих пород) и путем переноса карстовыми водами. Активность миграции высокая. Она особенно возрастает при развитии полного профиля гидродинамических зон карстовых вод.

Стадия гидрогалогенеза отличается от первой тем, что мигрирующие частицы наиболее дисперсны и расстояния миг-

рации невелики (не превышают нескольких сантиметров, а чаще остаются *in situ*). Основной мигрант—нерастворимые частицы глинистых и рудных минералов. В эту стадию мигрируют преимущественно механические частицы нерастворимого остатка, основная часть которого включена в скелет породы.

Биологический вид миграции развит в карстовых коллекторах меньше, чем физико-химический, но часто по масштабам проявления превосходит механический. Этот вид миграции наблюдается и в аэробных условиях, однако наибольшую роль он играет в анаэробных условиях в подошвенной части нефтяных залежей, где его действие проявляется совместно с физико-химической миграцией. При биологической миграции образуется эпигенетический кальцит, а также CO_2 , который участвует в очень медленном выщелачивании карбонатных минералов.

Миграция вещества в карстовых коллекторах приводит к образованию устойчивых пространственных и парагенетических связей между карстовыми формами и мигрантами.

Институт карстоведения и спелеологии,
Пермский филиал Гипровостокнефти.

ЛИТЕРАТУРА

1. Максимович Г. А. Основы карстоведения, т. I. Пермь, 1963.
2. Максимович Г. А. Гидрогеохимические зоны платформы. Хим. география и гидрогеохимия, вып. 3 (4). Пермь, 1964.
3. Максимович Г. А. Основы учения о гидрохимических фациях. Хим. география и гидрогеохимия, вып. 4 (5). Пермь, 1967.
4. Максимович Г. А., Ендов М. И. Нефтегазоносность карбонатных коллекторов, ч. I. Зарубежные страны. Гидрогеология и карстование, вып. 3. Пермь, 1966.
5. Перельман А. И. Геохимия эпигенетических процессов. Изд-во «Недра», М., 1968.
6. Ферсман А. Е. Геохимия, т. I, ОНТИ, 1934.