

С. Г. САРКИСЯН, Д. Д. КОТЕЛЬНИКОВ, А. В. ШИЛИН

**ПРИМЕНЕНИЕ РАСТРОВОГО МИКРОСКОПА
ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ПОРОД-КОЛЛЕКТОРОВ ДЕВОНА
ВОЛГОГРАДСКОГО ПРАВОБЕРЕЖЬЯ**

(Представлено академиком В. В. Меннером 3 X 1969)

Как известно (^{1, 2}), коллекторские свойства песчано-алевритовых пород зависят главным образом от глубины их залегания, типа, состава, количества и структуры цемента. Влияние глубины залегания проявляется в сближении обломочных зерен и изменении типов контактов, что легко оценивается при петрографическом излучении пород в шлифах (³). Поэтому с ростом глубины залегания пород пористость и проницаемость их прогрессивно уменьшаются (^{4, 5}). Например, в пределах Волгоградского Правобережья пористость практически лишенных цемента мелкозернистых песчаников ($M_a = 0,15-0,25$ мм) среднедевонского возраста на глубине 500 м и составляет 30—34%, а на глубине 2500 м 20—25%. Соответственно проницаемость изменяется от нескольких тысяч (обычно 1000—2000) до сотен (обычно 500) мдарси.

Гораздо более трудную задачу представляет собой учет влияния на фильтрационные и емкостные свойства пород межзернового глинистого материала. Обычно этот материал играет отрицательную роль, резко уменьшая сечения поровых каналов. Во многих случаях, как указывает А. А. Ханин (²), дисперсность глины исключает возможность присутствия в участках ее развития пор фильтрующего размера ($< 2\mu$). Так, в рассматриваемом районе разности мелкозернистых песчаников, содержащих до 15% глинистого цемента, на глубине 500 метров имеют пористость 28%, а на глубине 2500 метров только 10—15%. Проницаемость изменяется еще более значительно — от десятков (обычно 6—10) до единиц (обычно 1—2) мдарси. В то же время на многих разведочных площадях Волгоградского Правобережья (Хоперской, Мироничевской, Петрушинской, Малоделской и др.) притоки нефти и газа и нефтегазовые выбросы были получены при опробовании нижнефранских, живецких и более древних терригенных коллекторов, содержащих даже до 20% глинистого материала.

Эти данные и многочисленные наблюдения других авторов показывают, что фильтрационные свойства пород и глинистый цемент связаны сложной зависимостью и что надежное прогнозирование распространения и качества коллекторов требует учета не только количества цементирующей массы, но и ряда других факторов, к числу которых относится минеральный состав цемента, природа (аллотигенность или аутигенность), размер и форма частиц глинистых минералов, также характер их взаимного расположения. При этом особенно важно получение этих сведений в районах с резкой фациальной изменчивостью нефтегазоносных отложений, поскольку распространенное в производственной практике определение коллекторских свойств при помощи геофизических методов производится на основе усредненных величин, характеризующих некоторый объем породы. В связи с этим такие определения для неоднородной среды могут явиться источником значительных ошибок (⁶).

Попытки использования для детального изучения глинистого цемента метода реплик (⁷), ввиду малых размеров (максимум 2—3 мм) препаратов исходной породы, которые могут быть исследованы в наиболее широко

распространенных электронных микроскопах просвечивающего типа, оказались малоэффективными. Кроме того, изучение объектов при помощи реплик относится к косвенным методам, поэтому характер пористости материала в ряде случаев однозначно оценить по ним не представляется возможным. К этому следует добавить трудоемкость получения реплик, особенно с зернистых, слабо сцементированных пород.

Новые широкие возможности для прямого изучения зависимости коллекторских свойств от качества и количества глинистого материала открывает применение растровых электронных микроскопов. Особенностью этих микроскопов, обладающих разрешающей способностью 150—200 Å, является возможность непосредственно исследовать образцы горных пород размером до 26 мм в большом диапазоне увеличений (от десятков раз до сотен тысяч). При этом малый размер электронного зонда позволяет получать значительный эффект объемности изображения поверхности исследуемого объекта и просматривать на большую глубину поры, трещины, каналы и т. д. (⁸⁻¹¹). Подготовка образцов к исследованию является при этом очень несложной и заключается лишь в вакуумном напылении на свежую поверхность скола тонкого электропроводящего слоя какого-либо благородного металла (золота, платины и т. д.).

Использование растрового микроскопа для выяснения причин изменения коллекторских свойств нефтегазоносных песчаников Волгоградского Правобережья показало большую его перспективность. В рассматриваемом регионе пласты-коллекторы приурочены к зонам с разной степенью вторичного (катагенетического) преобразования пород. На основании петрографо-минералогических исследований в пределах Волгоградского Правобережья выделяются зоны с каолинитовым, каолинит-хлоритовым и хлоритовым цементом (¹²). Гидрослюда присутствует обычно в количестве 10, редко 20 %, хотя в пашийском горизонте выделяется зона с повышенным ее содержанием (40 %). В указанных зонах в ряде случаев отмечается развитие как первичных (седиментационных), так и вторичных глинистых цементов. Преимущественно обломочный, каолинитовый цемент (рис. 1, I), поступавший из кор выветривания, развитых в обрамленных бассейнах, приурочен к зоне начального катагенеза, с глубинами от 300 до 2000 м. Зона вторичного каолинитового (рис. 1, II) и хлоритового цемента ограничена глубинами от 2000 до 3000 м и относится к среднему катагенезу. Зона преимущественно аутигенного хлоритового цемента (рис. 1, III а — г) соответствует глубинам 3000 м и более.

Обломочный каолинит, как видно на электронных микрофотографиях кварцевого песчаника Сидоринской площади (рис. 2а, б), характеризуется беспорядочным расположением отдельных частиц и их пачек в межзерновом пространстве. Такое расположение глинистых частиц и их плоскопараллельных сростков по (001) обуславливает наличие между ними значительного количества соощающихся микропор диаметром от 0,8 до 3 м, что, несмотря на высокое содержание цемента (около 15 %), обеспечивает, благодаря гидрофобности каолинита, удовлетворительные коллекторские свойства пород (открытая пористость 19,99 %, газопроницаемость 8,85 мдарси). Поскольку коллекторы не представляют промышленного интереса лишь при значениях абсолютной газопроницаемости меньше 1 мдарси (²), следует признать, что при наличии благоприятной тектонической структуры (ловушки) подобные песчаники с высоким содержанием мономинерального каолинитового цемента могут вмещать значительные запасы углеводородов.

В отличие от этого, в кварцевом песчанике Мишинской площади частицы аутигенного каолинита (рис. 2в, г), на что указывает (^{14, 15}) их идиоморфный псевдогексагональный облик (рис. 2д), характеризуются плотной и значительно упорядоченной упаковкой, в связи с чем микропоры в цементе почти отсутствуют. Коллекторские свойства таких песчаников крайне низкие (пористость 10,75 %, проницаемость 0,18 мдарси).

Если каолинит характеризуется относительно большой толщиной отдельных кристаллов, то аутигенный хлорит в цементе песчаников Северо-Дорожжинской площади отличается более крупными, но тонкими частицами разнообразной, часто также псевдогексагональной формы (рис. 2 *е*). Выполняя межзерновое пространство, эти частицы образуют плотно упакованные пластинчаточешуйчатые агрегаты (рис. 2 *ж, з*), между которыми есть лишь небольшие, часто «слепые» каверны, образовавшиеся за счет неодинаковой ориентации кристаллов в процессе роста. Как и следовало ожидать, коллекторские свойства этого песчаника весьма низкие (пористость 9,06 %, проницаемость менее 0,01 мдарси). Однако на глубинах свыше 3000 м, на которых развивается преимущественно хлоритовый цемент, породы за счет сильного уплотнения становятся хрупкими и, особенно в дислоцированных районах, склонны к трещиноватости. В этом случае породы с аутигенным цементом также могут служить коллекторами.

В частности, микротрещины шириной от 0,01 до 0,1 мм наблюдались нами при помощи растрового микроскопа в песчаниках и алевролитах воробьевского горизонта на Коробковской площади (скв. № 6, 69), в пределах которой в гранулярных породах широко развит катагенетический хлоритовый цемент.

Таким образом, применение растрового микроскопа позволило непосредственно наблюдать в большом диапазоне увеличений характер заполнения межзернового пространства в коллекторах, взаимоотношение глинистых частиц между собой и с песчаными зернами, делать выводы о природе глинистого материала и наличии микропор в самом глинистом цементе. Это имеет тем более важное значение, что отсутствие этих данных не позволяет порой сделать правильный прогноз фильтрационных способностей коллекторов

Рис. 1. Дифрактометрические кривые типов глинистых цемента (фракция < 0,001 мм) песчано-алевритовых пород воробьевского горизонта Волгоградского Правобережья. I — аутигенный каолинитовый цемент, II — аутигенный хлоритовый цемент с небольшой примесью каолинита, III — аутигенный хлоритовый цемент с небольшой примесью каолинита. а — исходный образец, б — насыщенный глицирином, в — прокаленный в течение 2 час. при 600°, г — обработанный 10% раствором теплой HCl

с одним и тем же содержанием глинистого цемента. Прямое наблюдение отдельных частиц, составляющих глинистый цемент, дает также возможность выделять последовательность генерации цемента различного состава. Осо-

Рис. 2. Электронные микрофотографии глинистых минералов, цементирующих поровое пространство песчано-алевритовых пород воробьевского горизонта. а, б — Сидоринская площадь, скв. № 5, глубина 1880—1889 м; в—д — Мишинская площадь, скв. № 37, гл. 3061—3062 м; е—з — Северо-Дорожжинская площадь, скв. № 21, гл. 3601—3605 м. а—в, ж, з — растровый электронный микроскоп JSM-2 (а, в — 500×, б, в, ж, з — 1500×); д, е — просвечивающий электронный микроскоп ЭМ-5 (18 000×)

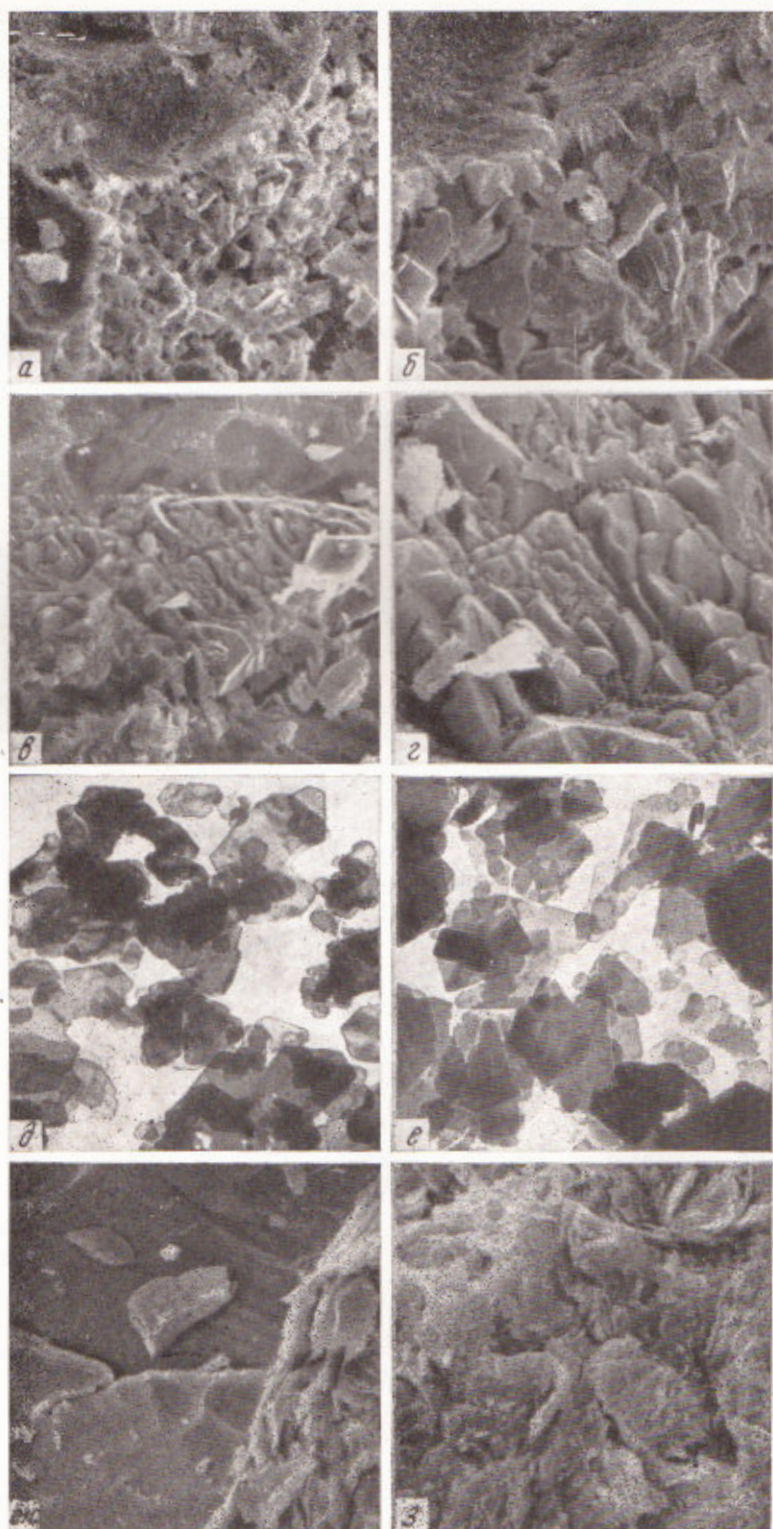


Рис. 2



Рис. 2. *Yakutionautilus kavalerovae* Arkhipov et Barskov gen. et sp. n. Голотип МГУ, № 142/1. *а* — вентральная сторона, *б* — латеральная сторона, *в* — с перегородки (0,7×). Северо-Восток СССР, р. Нельтехе, Верхний триас, зона *Otapiria ussuriensis*

бый эффект в этом случае получается при сочетании электронномикроскопического изучения с химическими исследованиями при помощи либо первичных рентгеновских анализаторов, либо микроанализаторов (в последнем случае для достаточно плотных пород). Использование для изучения коллекторских свойств пород растрового микроскопа позволяет, помимо определения размеров пор, а также микропор в пределах отдельных поровых пространств производить их подсчет на единицу поверхности. Большая производительность этого метода обеспечивает исследование пластов коллекторов самой различной мощности и строения, в том числе тонкопереслаивающихся с непроницаемыми породами. Изучение таких толщ, как известно, представляет в настоящее время наибольшую трудность. Быстрое получение большого числа анализов определяет возможность применения различных статистических методов обработки материалов растровой микроскопии, включая использование электронных вычислительных машин.

Институт геологии и разработки
горючих ископаемых
Москва

Поступило
3 X 1969

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ В. Энгельгардт, Поровое пространство осадочных пород, 1964. ² А. А. Ханий, Породы-коллекторы нефти и газа и их изучение, 1969. ³ I. Taylor, Bull. Am. Assoc. Petrol. Geol., 34, № 4 (1950). ⁴ I. Maxwell, P. Verrall, World Oil, 38, № 5/6 (1954). ⁵ П. А. Карпов, Литол. и полезн. ископ., № 5 (1964). ⁶ С. Г. Комаров, Прикл. геофиз., в. 36 (1963). ⁷ D. Bradley, British. J. Appl. Phys., 5, 65 (1954). ⁸ C. W. Oatley, Science Progress, 54, № 216 (1966). ⁹ The «Stereoscan» Electron Microscope, Electronic Engineering, 38, № 456 (1966). ¹⁰ I. Minkoff, J. Materials Science, 2, № 4 (1967). ¹¹ S. Kimoto, H. Hantsche, Microchimica acta, Suppl., № 2, 188 (1967). ¹² А. В. Шилин, Бюлл. МОИП, 99, № 3 (1969). ¹³ П. А. Карпов и др., Изв. АН СССР, сер. геол., № 8 (1969). ¹⁴ М. Ф. Викулова, Электронномикроскопическое исследование глин, 1952. ¹⁵ Д. Д. Котельников, ДАН, 142, № 5 (1962).