

Б.М. Осовецкий

Пермский государственный национальный
исследовательский университет, Пермь

МИКРОСТРУКТУРНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ПЕСЧАНЫХ КОЛЛЕКТОРОВ

Рассмотрены особенности микроструктуры обломочного каркаса и каолинового цемента нефтеносных песчаников на основе данных сканирующей электронной микроскопии. Указаны критерии, обуславливающие повышенную их нефтеносность. Даны рекомендации по их использованию с целью прогнозирования нефтеносности коллекторов.

Ключевые слова: нефтеносность, микроструктура, электронная микроскопия, песчаник, обломочный каркас, каолинит.

DOI: 10.17072/chirvinsky.2026.146

Введение. В последние годы существенно возросло количество работ, выполненных литологами по тематике изучения вещественного состава и структурных особенностей нефтеносных песчаников.

Основой этих исследований является широкое применение возможностей и методов современной сканирующей электронной микроскопии. В частности, последние активно используются при изучении гранулометрического состава зёрен обломочного каркаса песчаных коллекторов с применением дробной гранулометрической шкалы. Объектами детальных исследований являются также микро- и наноструктуры глинистого цементирующего вещества песчаников (Гальянова и др., 1987; Окнова, Рожков, 1978; Шванов, 1969).

Автором статьи предлагаются определённые приёмы обработки и анализа данных сканирующей электронной микроскопии, получаемых при изучении песчаных коллекторов а аншлифах, которые могут быть использованы в процессе прогнозно-поисковых работ на ранних этапах освоения нефтяных ресурсов на новых территориях (Осовецкий, и др., 2024; Осовецкий, 1993, 2020).

Микроструктура обломочного каркаса песчаника. Дробная гранулометрическая шкала при изучении зёрен обломочного каркаса нефтеносных песчаников используется уже около ста лет. С целью замера поперечников большого количества зёрен в шлифах и аншлифах под электронным микроскопом предложено большое количество методик,

включая автоматизированные системы и компьютерные программы обработки результатов. Имеются многочисленные приёмы обработки получаемой информации.

Однако, затрудняющими обстоятельствами являются высокая трудоёмкость этих исследований. Кроме того, особенности технологии изготовления шлифов и аншлифов с получением случайных срезов зёрен песчаника приводят к необходимости корректировки результатов с применением разного рода поправок. Результатом является сравнительно небольшое количество публикаций с данными дробной гранулометрии песчаников.

Предлагаемый нами подход заключается в применении на первом этапе разбраковки песчаных коллекторов на две группы по результатам дробного гранулометрического анализа зёрен обломочного каркаса; соответственно с одно- и бимодальными распределениями частиц по крупности. Исходной предпосылкой является установленная многими исследователями особая роль коллекторов с одномодальным распределением зёрен обломочного каркаса по крупности как наиболее нефтеносных. Причиной является повышенный объём межзернового пустотного пространства в таких песчаниках, что обуславливает благоприятные условия для миграции нефти. Наоборот, в песчаниках с бимодальными распределениями обломочных зёрен межзерновые пустоты заполнены частицами заполнителя, и объём их пустотного пространства существенно сокращается.

На следующем этапе устанавливается соответствующая модальная узкоразмерная фракция зёрен обломочного каркаса. Это позволит использовать следующий прогнозный критерий: чем крупнее мода, тем выше нефтеносность песчаника. Причиной является соответствующее увеличение объёма межзернового пустотного пространства и соответственно каналов миграции нефти.

Теоретически может быть 10 разностей песчаников с одномодальным распределением обломочных зёрен (соответственно, с модальными классами: 1,0-0,8 мм, 0,8-0,63 мм и т.д. по шкале гамма-Батурина). Для упрощения процедуры рекомендуется не проводить замер каждого зерна, а только определять принадлежность его к определённому узкоразмерному классу.

Примером является гистограмма распределения зёрен одномодального песчаника с модой в узкоразмерном классе 0,4-0,315 мм (рис. 1).

Другие особенности микроструктуры обломочного каркаса песчаников выявляются при детальных электронномикроскопических описаниях аншлифов (рис. 2). В первую очередь, они основаны на данных

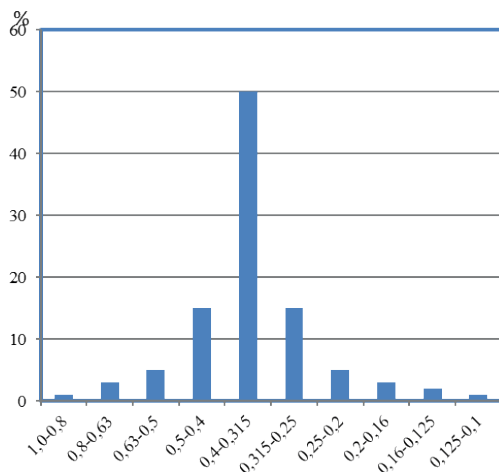


Рис. 1. Гистограмма распределения обломочных частиц хорошо сортированного одномодального среднезернистого песка (по горизонтальной оси – классы дробной шкалы в мм)

замера длины и ширины каждого зерна, оценке плотности их упаковки, особенностях формы зёрен, степени их окатанности, характера поверхности, трещиноватости и др.

Большое значение имеют характеристики межзернового пустотного пространства. В частности, характеризуются типы межзерновых пустот (щелевидные, треугольные, прямоугольные и т.д.), их размеры, сочленение (сообщающиеся или несообщающиеся), распространённость, заполнение цементирующим новообразованным веществом и т.д.

Отдельным направлением изучения микропустотного пространства является оценка микротрещиноватости песка. Основными характеристиками этого типа пустотного пространства являются распространённость и параметры микротрещин, заполненность их цементирующим или новообразованным веществом и др.

Микроструктура цементирующего вещества песка. Опыт работы многочисленных научных коллективов показывает, что наиболее перспективными в отношении промышленной нефтеносности являются песчаники с каолиновым цементом или с его существенным участием. Это обусловлено особыми процессами изменения экзогенного каолинового вещества в песчаниках на стадии катагенеза, благодаря которым оно преобразуется в микроструктуры особого типа, получившие название «карточный домик» или «книжный домик». Особенности этих

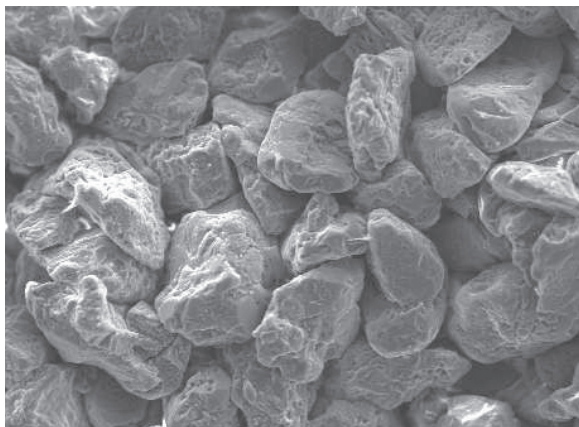


Рис. 2. Микроструктура мелкозернистого песчаника с одномодальным (мода 0,2-0,16 мм) распределением зёрен по крупности

микроструктур являются закономерное расположение кристаллов каолинита в параллельной ориентировке по отношению друг к другу.

В таких микроструктурах появляется принципиально новый тип микропустотного пространства, представляющего собой микро-пустоты между монокристаллами каолинита. Его основными характеристиками являются значительный объём пустотного пространства в виде узких и весьма протяженных каналов, обычно соединяющихся друг с другом. Последние становятся, наряду с межзерновыми пустотами между частицами обломочного каркаса песчаника, основными каналами миграции нефти в коллекторе и, как правило, обуславливают его повышенную нефтеносность (рис.3).

Важными особенностями каолинита в нефтеносных песчаниках являются существенное различие степени кристаллического совершенства их кристаллов и нарушенности микроструктур «книжного домика». Степень кристаллического совершенства каолинита устанавливается на основе данных рентгеноструктурного анализа с определением индекса кристаллического совершенства Хинкли. Значения последнего варьируют обычно в интервале от 1,5 до 0,5.

Степень нарушенности микроструктур каолинита «книжный домик» оценивается по данным сканирующей электронной микроскопии на основе визуальной оценки его морфологических особенностей (см. рис.3). В частности, нами предлагается разделение микроструктур «книжного домика» на 4 класса по степени нарушенности (рис. 3, а – класс 2, б – класс 3).

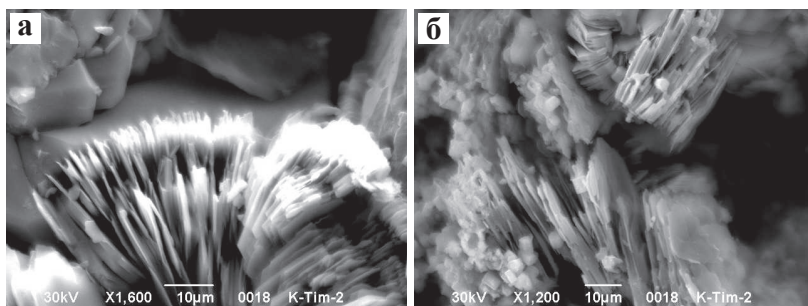


Рис. 3. «Веерообразный» микроагрегат каолинита в межзерновом пустотном пространстве песчаника, на зерне полевого шпата (а) и кварца (б)

Роль особенностей микроструктуры в формировании нефтеносности песчаника. Нами изучены особенности микроструктуры нефтеносных песчаников ряда месторождений Западной Сибири и Соликамского района Пермского края. Выполнялось исследование обломочного каркаса и каолинитового цемента песчаников в аншлифах методами сканирующей электронной микроскопии.

В составе изученных коллекторов присутствовали как высоко-нефтеносные, так и низконефтеносные песчаники с широким диапазоном коллекторских свойств (пористости и проницаемости). Основными признаками микроструктур нефтеносных песчаников являются одномодальный гранулометрический состав зёрен обломочного каркаса и присутствие микроагрегатов «книжного домика» в каолиновом цементе с небольшим количеством дефектов (первая группа по предлагаемой их систематике).

Для слабонефтеносных песчаников характерны наличие моды в мелкоразмерном диапазоне обломочных зёрен и высокий уровень нарушенности микроагрегатов «книжного домика» каолинита.

Песчаники с отсутствием нефти отличаются бимодальными гистограммам распределения обломочных частиц и полным отсутствием микроагрегатов «книжного домика» в составе цементирующего вещества.

При этом существенное значение имеет влияние наложенных процессов. Среди них особенно большую роль играют тектонические процессы, сопровождающиеся уплотнением зёрен обломочного каркаса, соответственно снижением доли пустотного пространства и деформациями микроструктур «книжного домика» каолинита, а также наложенные процессы минералообразования, которые обуславливают заполнение пустотного пространства песчаника разнообразными вторичными минералами (кальцит, ангидрит, пирит и др.).

Выводы. Приведённые в статье данные позволяют использовать некоторые дополнительные литологические признаки при прогнозной оценке нефтеносности коллекторов на начальном этапе изучения кер-на скважин в лаборатории. В частности, при изучении аншлифов под электронным микроскопом рекомендуется воспользоваться следующими критериями.

Во-первых, при изучении микроструктуры обломочного каркаса рекомендуется разделить коллекторы на группы с одномодальными и бимодальными распределениями обломочных частиц. Последние с большой долей вероятности могут быть отнесены к слабонефтеносным.

Во-вторых, для одномодальных коллекторов путём замера представительного количества зёрен в аншлифах необходимо установить модальный узкоразмерный класс. Повышенная нефтеносность характерна для песчаников с наиболее крупными зёрнами обломочного каркаса.

В-третьих, при изучении цементирующего вещества песчаника каолинитового состава необходимо установить присутствие и степень нарушенности микроструктур «книжного домика».

Библиографический список

- Гальянова Т.И., Пименов Ю.Г., Прошляков Б.К. Коллекторские свойства осадочных пород на больших глубинах. М.: Недра, 1987. 200 с.
- Оконова Н.С., Рожков Г.Ф. К вопросу о гранулометрическом анализе в илифах // Докл. АН СССР. 1978. Т. 243, № 3. С. 742-745
- Осовецкий Б.М., Казымов К.П., Галкин С.В. Возможности применения метода электронной микроскопии при изучении литологических особенностей нефтеносных песчаников // Недропользование. 2024. Т. 24, № 4. С. 178-185.
- Осовецкий Б.М. Дробная гранулометрия аллювия. Пермь: Изд-во Перм. ун-та, 1993. 343 с.
- Осовецкий Б.М. Катагенетический каолинит в терригенных коллекторах // Проблемы минералогии, петрографии и металло-генеза. Вып. 23. Пермь: Перм. ун-т, 2020. С. 129-139.
- Шванов В.Н. Песчаные породы и методы их изучения (Распространение, структуры, текстуры). Л.: Недра, 1969. 248 с.

MICROTEXTURE OF SANDSTONE OIL COLLECTORS

B.M. Osovetsky

Perm State National Research University, Perm

opal@psu.ru

The data of scanning electron microscopy give the opportunity for detailed investigation of oil-bearing sandstones textures with analysis of particle sizes in sample framework and forms of kaolinite textures of “book-homes” types in polish samples. The most typical characteristics of oil collectors are unimodal distributions of sandy grains and perfect microtextures of kaolinite.

Keywords: oil content, microstructure, electron microscopy, detrital kaoli sandstone.