

Л. Д. КНОРИНГ

К ВОПРОСУ О ФОРМИРОВАНИИ ПОРИСТОСТИ ПЕСЧАНЫХ ПОРОД

(Представлено академиком Н. М. Страховым 20 IX 1971)

Известно, что пористость цементированных песчаных пород отличается от пористости исходных песков в основном вследствие проявления следующих процессов: 1) уплотнение под действием вышележащих отложений; 2) взаимное проникновение зерен на контактах в результате растворения их под давлением и последующее переотложение материала в свободных полостях; 3) заполнение порового пространства цементирующим веществом ⁽⁹⁾. При этом относительная степень воздействия этих процессов на пористость до конца не выяснена. Имеется, к примеру, указание, что уплотнение очень мало влияет на величину пористости, в то время как цементация является основным воздействующим фактором ⁽²⁾.

Многочисленные данные показывают, что эти процессы могут протекать по-разному, в зависимости от определенных условий. Так, они ускоряются при высоких давлениях и температуре ⁽⁷⁾. Конечный результат их воздействия (реализация процессов) будет зависеть не только от внешних условий, но и от внутренних отношений между составными частями породы. Влияние последних на реализацию процессов исследовано еще мало. Однако определенные, хотя порой и противоречивые, сведения имеются. Они касаются влияния глинистого карбонатного материала на процессы растворения, которое одними исследователями оценивается как ускоряющее их течение ^(4, 6), а другими — как замедляющее ⁽⁸⁾, или кварцевого регенерационного цемента, раннее образование которого, по мысли К. Р. Чепикова и др. ⁽³⁾, препятствует уплотнению пород под давлением.

С другой стороны, не только внутренняя структура породы влияет на ход этих процессов, но и сами процессы изменяют ее. Так, по данным работы ⁽¹⁾, исследование одного слоя песчаника одной и той же степени метаморфизма угля показало, что с глубиной он становится более крупнозернистым, определенным образом за счет вторичных превращений меняется состав песчаника, уменьшается количество цемента, а также направленно меняется его состав и тип.

Таким образом, различные характеристики песчаной породы оказываются между собой связанными, и эта связь отражает индивидуальные особенности реализации рассматриваемых процессов, которая в конечном итоге зависит от внешних условий и внутренней структуры. В связи с тем, что те или иные составные элементы породы неоднозначно воздействуют на ход процессов и определяют различные изменения в структуре породы, пористость в конечном итоге будет зависеть не от каждого отдельно взятого фактора, а от всей системы взаимодействия факторов. В настоящей статье в качестве первого опыта предпринята попытка изучить систему взаимоотношений между такими элементами песчаных пород, как размер обломочных зерен, степень их сортировки, количество и состав цемента, и оценить зависимость пористости от различного характера взаимодействия этих элементов.

Исследования проводились на примере отложений нижнемотской подсвиты нижнего кембрия Приленского района Иркутского амфитеатра. В рассматриваемом районе нижнемотская подсвита складывается песчаниками, алевролитами, аргиллитами и доломитами. При этом в различных участках

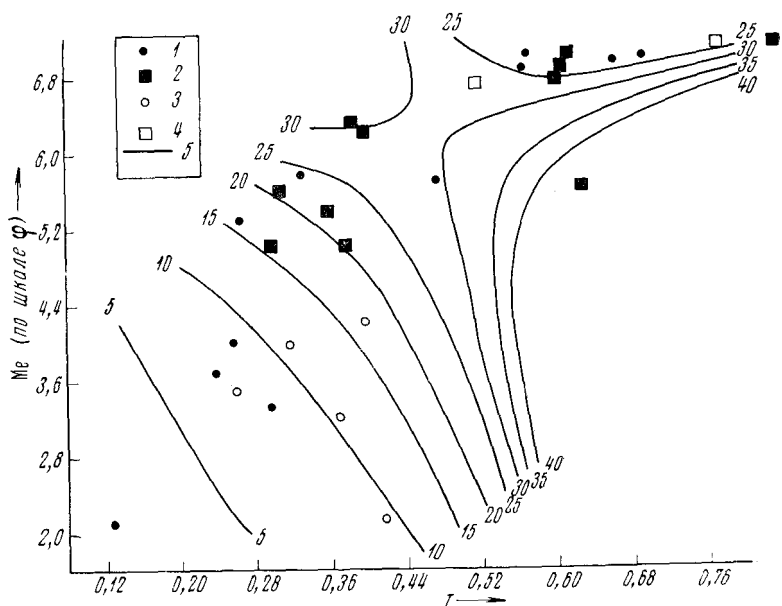


Рис. 1. Тренд-поверхность общего содержания цемента в системе координат (I , Me). Состав преобладающего цементирующего вещества: 1 — глинистое, 2 — карбонатное, 3 — глинисто-органическое, 4 — глинисто-органическое и карбонатное; 5 — изолинии равного содержания цемента

района роль тех или иных пород в разрезе различна. Но все же в основном доломиты слагают верхнюю часть подсыты, аргиллиты, как правило, преобладают в разрезах, а песчаники образуют несколько прослоев в нижней, средней и верхней части, слагая безымянный, марковский и парфеновский горизонты.

Песчаники безымянного горизонта иногда переходят в гравеллиты, по составу кварц-полевошпатовые, сцементированы глинисто-карбонатным веществом. Песчаники марковского горизонта средние и крупнозернистые, слагаются полуокатанными и угловатыми слабосцементированными зернами кварца (60—90%) и полевого шпата (3—10%), пластинками слюды и обломками кремнистых пород. В верхней части цемент глинисто-карбонатный, в нижней — карбонатно-глинистый. Содержание карбонатного цементирующего материала составляет соответственно 20—30% и 5—10%, а глинистого до 5% и до 20%. По своему типу цемент поровый, базальный, иногда регенерационный. Песчаники парфеновского горизонта на 60—98% слагаются полуокатанными и угловатыми среднего размера зернами кварца. Содержание полевого шпата колеблется в пределах 1—8%. В виде включений присутствуют зерна ширита, турмалина и обломки кремнистых пород. Песчаники сцементированы глинистым цементом, который местами сменяется карбонатно-глинистым и глинисто-карбонатным. По типу цемент поровый и регенерационный.

Для исследования в фондах Восточно-Сибирского геологического управления по поискам нефти и газа были отобраны сведения по 29 образцам песчаных пород, в каждом из которых были проведены количественные измерения гранулометрии, общего содержания цемента, содержаний цементов соответствующего минерального состава и величины пористости. По данным гранулометрического анализа были вычислены медианный размер зерен (медиана) и информационный коэффициент (избыточность Шенона), который служил мерой отсортированности зерен. Для удобства работы медиана вычислялась после предварительного логарифмирования граничных значений фракций (шкала Φ). По этой шкале большим значениям медианы соответствует более мелкий размер зерен.

По составу среди них выделяются чисто кварцевые разности с содержанием кварца 90—98%; глинисто-кварцевые, где доля кварца сокращается до 70—85% за счет появления глинисто-органического вещества (до 15%); и глинисто-доломитовые разности, содержащие кварца 55—75% (в ряде случаев даже менее 40%), доломита 8—20%, анкерита порядка 4%, глинисто-органического вещества около 15%. Песчаники отличаются пониженным содержанием полевых шпатов, доля которых составляет 1—3%, редко 4—7%. Из аксессуарных минералов обычно присутствуют в малых количествах турмалин, циркон, титанистые минералы, пирит, лейкоксен, мусковит, обломки кремнистых и метаморфических пород. Песчаники в основном мелкозернистые и тонкозернистые. Медиана (Me) колеблется в пределах от 2,108 до 7,098 (по шкале ϕ), а информационный коэффициент (I) от 0,1285 до 0,8394. Общее содержание цемента варьирует от 2 до 45%. По минеральному составу цементлагунитов в основном глинистый, глинисто-органический и карбонатный цементующий материал. Характерно проявление в одном и том же образце различных типов цемента. Но в общем преобладает контактово-поровый тип цемента. В меньшей степени, но также достаточно широко развиты цементы уплотнения, вдавливания, соприкосновения и поровый. Пористость образцов колеблется в пределах от 0,66 до 10%.

В работе был принят следующий метод исследования. В плоскости (I , Me) фиксировалось положение каждого образца, а затем проводились изолинии пористости и общего содержания цемента. Для выделения диагностической составляющей и подавления «шума» изолинии проводились расчетным путем, после аппроксимации наблюдений поверхностью тренда вида $z(I, Me) = \exp[f(I, Me)]$, где в качестве $f(I, Me)$ был выбран полином четвертой степени. Расчеты проводились на ЭВМ БЭСМ-2М по программе, составленной М. Д. Белониным. С целью учета влияния состава цемента последний изображался на диаграмме соответствующим значком. В случае неоднородного состава цемента отображалось только то цементующее вещество, доля которого заметно выше других в данном образце.

Полученные результаты представлены на рис. 1 и 2. Их совместный анализ позволяет оценить взаимоотношение всех изучаемых факторов. Из анализа рис. 1 видно, что доля цемента в породе не является независимой, а заметно связана с ее структурой. С ростом Me и улучшением степени отсортированности наблюдается в общем увеличение содержания цемента. Однако оно происходит не беспредельно. При определенном соотношении величины зерен и степени их сортировки наступает такой момент, когда влияние размера зерен становится ничтожным. При этом количество цемента контролируется практически только степенью отсортированности зерен так, что повышенным содержанием цемента характеризуются тонкозернистые либо очень плохо, либо очень хорошо отсортированные разности. Характерно, что с изменением рассматриваемых показателей целенаправленно меняется и состав цемента. Исключение составляет только глинистый цемент, встречающийся в заметных количествах при любых соотношениях гранулометрии зерен и содержания цемента. Зато образцы с остальными видами цемента образуют на диаграмме четко выраженную зональность, указывая, что тот или иной состав цемента характерен для определенных сочетаний рассматриваемых показателей. Так, к примеру, карбонатный цемент характерен для тонкозернистых разностей с экстремальными степенями сортировок и с повышенным общим содержанием цемента (очень часто не только за счет карбонатного, но и глинистого вещества). Глинисто-органическое вещество, наоборот, получает заметное развитие в породах умеренной степени сортировки и более крупной величины зерен, характеризующихся общим пониженным содержанием цемента.

Различное сочетание изучаемых компонентов определяет различие в величине пористости анализируемых образцов (рис. 2). При этом воздействие каждого отдельно взятого фактора на пористость не является одно-

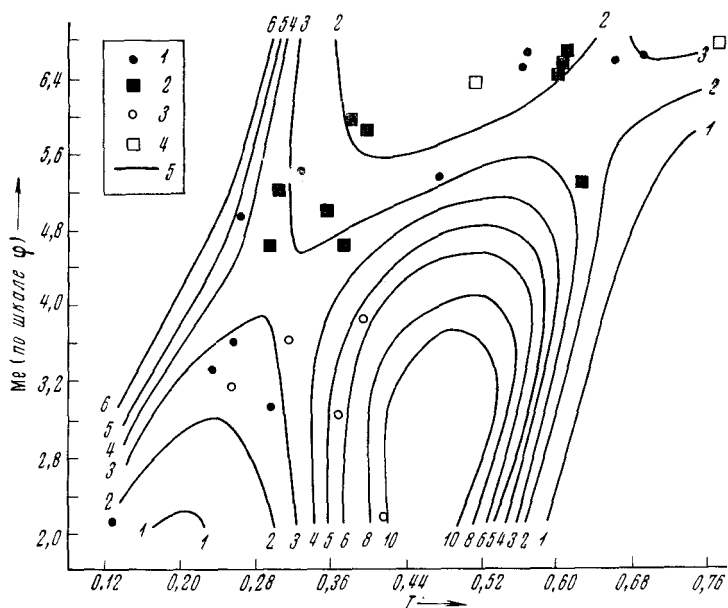


Рис. 2. Тренд-поверхность величины пористости в системе координат (I , Me). Обозначения 1—4 — аналогичны рис. 1; 5 — изолинии равной величины пористости

значным, а меняется в зависимости от изменения взаимоотношений его с другими компонентами системы. Так, в области повышенных значений информационного коэффициента пористость в общих чертах увеличивается с уменьшением медианного размера и величины информационного коэффициента, что сопровождается и уменьшением общего содержания цемента и изменением его состава (карбонатный цемент утрачивает свою ведущую роль).

В плохо же отсортированных песчаниках наблюдаются совсем иные взаимоотношения. Здесь изменения пористости практически не связаны ни с медианным размером зерен, ни с изменением общего содержания цемента и его состава. Практически пористость увеличивается только с ухудшением степени отсортированности зерен. Таким образом, степень воздействия тех или иных факторов на пористость регулируется в значительной мере их взаимоотношением с отсортированностью зерен.

Приведенные данные позволяют рассматривать песчаную породу как сложную природную систему, структура которой зависит не только от внешних воздействий, но и от внутренних отношений между слагающими ее элементами. Последние (внутренние отношения) избирательно влияют на реализацию в тех или иных условиях определенных возможностей к изменениям из множества присущих системе и элементам, чем в конечном итоге и определяются свойства системы, в частности такое, как величина пористости.

Всесоюзный нефтяной научно-исследовательский
геологоразведочный институт
Ленинград

Поступило
11 V 1970

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ Б. А. Лысков, Ю. П. Зубарев, В. И. Николин, Изв. высш. учебн. завед., геология и разведка, № 1 (1968).
- ² А. А. Ханин, Тр. Всесоюз. н.-и. инст. природн. газа, 1951.
- ³ К. Р. Чепиков и др., Тр. Инст. геол. и разработки горючих ископ., 1 (1960).
- ⁴ Ch. Gilbert, J. Geol., 57, № 1 (1949).
- ⁵ J. Griffiths, Bull. Am. Assoc. Petr. Geol., 36, № 2 (1952).
- ⁶ J. Lembecko, R. Platt, J. Sedim. Petrol., 32, № 3 (1962).
- ⁷ J. Maxwell, Bull. Am. Assoc. Petr. Geol., 48, № 5 (1964).
- ⁸ A. Thomson, Sympos. Silica in Sediment. Soc. Econ Sediment Petrol., 43, № 2 (1962).
- ⁹ W. Waldschmidt, Bull. Am. Assoc. Petr. Geol., 25, № 10 (1941).