

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ**

Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования

**«ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

---

**Н.М. Недоливко**

**ИССЛЕДОВАНИЕ КЕРНА  
НЕФТЕГАЗОВЫХ СКВАЖИН**

Учебное пособие  
**(Глава 6)**

**ИЗДАТЕЛЬСТВО ТПУ  
Томск 2006**

УДК 550.8.023: 550.822.2

Н 42

**Недоливко Н.М.**

Н 42 Исследование керна нефтегазовых скважин: учебное пособие. – Томск: Изд-во ТПУ, 2006. – 170 с.

В учебном пособии изложены методы первичной и камеральной обработки керна нефтегазовых скважин, включая подъем, извлечение, документацию и хранения керна, проведение профильных исследований полноразмерного керна, подготовку образцов керна на различные виды исследований и характеристику лабораторных исследований керна.

Пособие предназначено для студентов вузов нефтегазового профиля, специальностей «Геология нефти и газа», а также для студентов, аспирантов и других специалистов, занимающихся научными исследованиями в области нефтяной геологии.

УДК 550.8.023: 550.822.2

Рекомендовано к печати Редакционно-издательским советом  
Томского политехнического университета

*Рецензенты*

Доктор геолого-минералогических наук, профессор заведующий лабораторией геохимии нефти ОАО «ТомскНИПИнефть ВНК»,  
*И.В. Гончаров*

Доктор геолого-минералогических наук, профессор заведующий кафедрой петрографии Томского государственного университета,  
*А. И. Чернышов*

© Томский политехнический университет, 2006

© Оформление. Издательство ТПУ, 2006

## 6. ИССЛЕДОВАНИЕ ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКОГО СОСТАВА ГОРНЫХ ПОРОД

Гранулометрический (механический) состав – важная характеристика пород, от него зависят многие свойства пористой среды: проницаемость, пористость, удельная поверхность, капиллярные свойства и т.д. Размеры частиц обуславливают общую величину их поверхности, контактирующей с нефтью, от гранулометрического состава пород зависит количество нефти, остающейся в пласте после окончания его эксплуатации в виде пленок, покрывающих поверхность зерен.

Гранулометрический состав песчаных пород важно знать и в нефтепромысловой практике. На основе механического анализа в процессе эксплуатации нефтяных месторождений для предотвращения поступления песка в скважину подбирают фильтры, устанавливаемые на забое.

По механическому (гранулометрическому) составу можно судить о геологических и палеогеографических условиях отложения пород залежи, и поэтому начальным этапом исследований при изучении генезиса осадочных пород должен быть их гранулометрический анализ, заключающийся в выделении в породах фракций разной размерности и определении их процентного содержания.

Гранулометрический анализ применяется для характеристики пластов, отдельных пачек, свит, иногда маркирующих пластов, большое значение он имеет при рассмотрении условий формирования осадков, источников сноса материала и т. п.

Гранулометрический анализ проводят с целью определения типа песчано-алевролитово-глинистой породы, изучения влияния гранулометрического состава на коллекторские и физические свойства пород (проницаемость, пористость, удельную поверхность, капиллярные свойства, естественную радиоактивность, электрическое сопротивление) и выявления минералогического состава пород, изучения фациальной и палеографической обстановки в период осадконакопления.

Для определения гранулометрического состава горных пород существует несколько методик [6, 15, 16]. Гранулометрические методы основаны на ситовом, седиментационном либо комбинированном способах определения фракционного состава слабо- и среднесцементированных горных пород.

Гранулометрический состав терригенных нефтесодержащих пород в основном представлен тремя группами пород с размером частиц в диаметре от 0,5 до 0,01 мм: псаммитами (преобладающий размер частиц

1–0,1 мм), алевритами (преобладающий размер 0,1–0,01 мм) и пелитами (частицы с размером от 0,01 до 0,001 мм).

Для характеристики гранулометрического состава псаммитов применяют ситовой анализ, седиментационный анализ, используют для характеристики алевритов и пелитов. Для средне- и крепкосцементированных песчаных и алевритовых пород гранулометрический анализ проводится в шлифах под микроскопом.

При ситовом методе породу разделяют на фракции путем рассеивания ее на ситах. Выполнение гранулометрического анализа сводится к подготовке пробы к анализу, т.е. разделению ее на составные компоненты, выделению и определению количественного содержания фракций.

Для проведения анализа берут измельченную с неразрушенными зернами, проэкстрагированную, если она содержит нефть или битум, пробу породы. В пробе промывкой водой определяют водорастворимые соли, обработкой раствором соляной кислоты – карбонаты, обработкой 3 %-ным раствором перекиси водорода – органические вещества.

После дезинтеграции пробы путем кипячения ее с аммиаком и последующим растиранием резиновым пестиком в ступке производят разделение частиц исследуемой породы на фракции более 0,01 мм и менее 0,01 мм. Фракцию более 0,01 мм рассеивают и рассчитывают процентное содержание каждой фракции относительно общей навески.

Разность между массой общей навески и массой водорастворимых солей, карбонатов и песчано-алевролитовой фракции принимают за массу отмученной фракции (менее 0,01 мм).

При рассеивании пробы в лабораторных условиях обычно пользуются набором проволочных или шелковых сит с размерами отверстий (размер стороны квадратного отверстия) 0,053–3,36 мм (табл. 6.1).

Таблица 6.1

Характеристика сит для гранулометрического анализа

№ п./п.	№ сита	Сторона квадратного отверстия, мм	№ п./п.	№ сита	Сторона квадратного отверстия, мм
1	6	3,36	7	70	0,210
2	12	1,68	8	100	0,149
3	20	0,89	9	140	0,105
4	30	0,59	10	200	0,074
5	40	0,42	11	270	0,053
6	50	0,30			ЛОТОК

Размер этих сит определяют по числу отверстий, приходящихся на один линейный дюйм. Существуют и другие разнообразные системы сит и всевозможных механических приспособлений для отсева. Сита располагают при отсеве таким образом, чтобы сверху было сито с наиболее крупными размерами отверстий, внизу помещают лоток без отверстий. В верхнее сито насыпают навеску породы (50 г), вручную или на механическом грохоте в течение 15 мин ведут просеивание.

По окончании отсеивания содержимое каждого сита и лотка аккуратно высыпает на глянцевую бумагу, обметая каждое сито кисточкой, и взвешивают с точностью до 0,1 г.

Затем рассчитывается процентное содержание каждой фракции, исходя из того, что навеска 50 г составляет 100 %. Суммарная потеря массы при проведении анализа не должна превышать 1 %.

Результаты гранулометрического анализа представляют в табличном виде (табл. 6.2), в графах указывается номера образцов, глубину их отбора и процентное содержание каждой фракции.

Таблица 6.2

Гранулометрический состав песчаников  
пласта Ю<sub>1</sub><sup>1</sup> Герасимовского месторождения

Пло- щадь, номер пробы	Глу- бина, м	Размер фракций, мм												
		0,8	0,5	0,32	0,25	0,2	0,16	0,125	0,1	0,08	0,05	0,03	0,01	>0,1
		Содержание фракций, %												
Г 5-1	2715,5					6	8	16	17	13	10	4	9	21
Г 5-2	2716					5	7	13	20	15	10	16	6	18
Г 5-3	2716,5						7	14	16	11	10	3	10	29
Г 5-4	2717						7	16	18	22	14	8	5	5
Г 5-5	2717,5							7	12	22	14	6	9	30
Г 5-6	2718				7	12	15	15	11	8	4	2	6	20
Г 5-7	2718,5				6	11	13	16	14	11	5	4	4	16
Г 5-8	2719			5	7	9	14	17	6	10	7	4	3	8
Г 5-9	2719,5		6	8	10	16	19	12	11	5	3	3	2	5
Г 5-10	2720	2	7	10	13	18	10	8	9	7	4	4	3	5

Данные гранулометрического анализа [15] используются также для определения степени отсортированности пород и гранулометрических параметров, таких как значения максимальных и медианных диаметров. Для их определения сначала составляют таблицу кумулятивных данных, в которой для каждого образца в графах слева направо начиная от графы с содержанием самой крупной фракции, последовательно ука-

зывается суммарное процентное содержание предыдущих фракций и той фракции, размер которой указан в заголовке графы (табл. 6.3).

Таблица 6.3

Кумулятивные данные гранулометрического состава песчаников пласта Ю<sub>1</sub><sup>1</sup> Герасимовского месторождения

Площадь, номер пробы	Глубина, м	Размер фракций, мм												
		0,8	0,5	0,32	0,25	0,2	0,16	0,125	0,1	0,08	0,05	0,03	0,01	>0,01
		Содержание фракций, нарастающий процент												
Г 5-1	2715,5					6	14	30	47	60	70	74	79	100
Г 5-2	2716					5	12	25	45	60	70	76	82	100
Г 5-3	2716,5						7	21	37	48	58	61	71	100
Г 5-4	2717						7	23	41	63	77	85	90	100
Г 5-5	2717,5							7	19	41	55	61	70	100
Г 5-6	2718				7	19	34	49	60	68	72	74	80	100
Г 5-7	2718,5				6	17	30	46	60	71	76	80	84	100
Г 5-8	2719			5	12	21	35	52	68	78	85	89	92	100
Г 5-9	2719,5		6	14	24	40	59	71	82	87	90	93	95	100
Г 5-10	2720	2	9	19	32	50	60	68	77	84	88	92	95	100

По ним строятся кумулятивные кривые (рис. 6.1). На графиках по оси *x* откладываются в логарифмическом масштабе размеры фракций, по оси *y* процентное содержание фракций – в обычном масштабе.

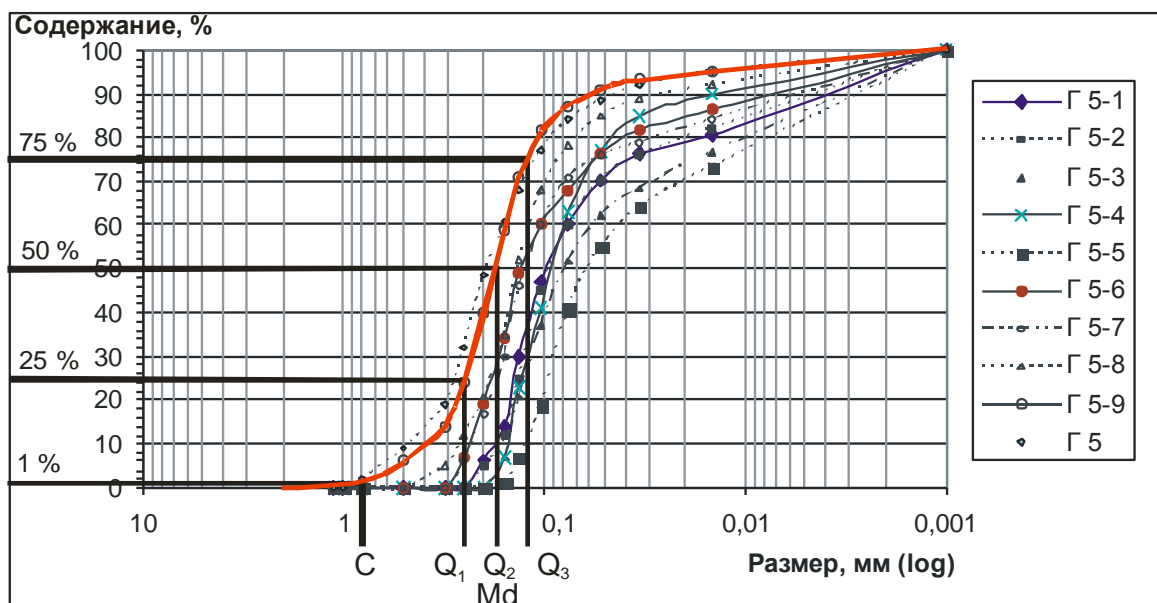
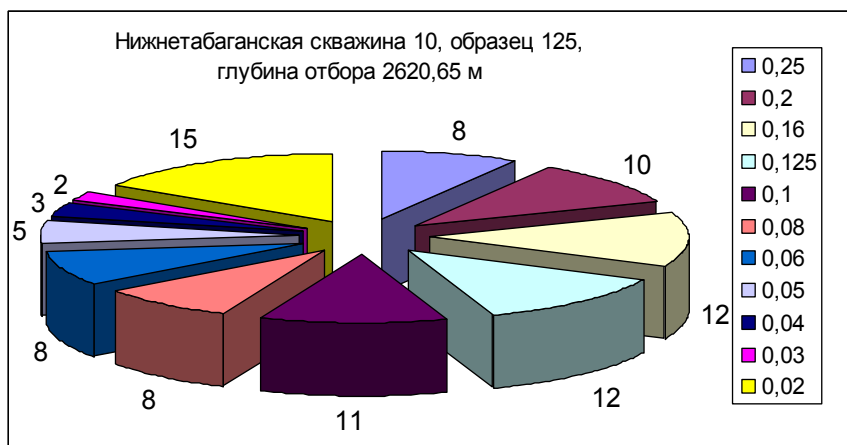


Рис. 6.1. Кумулятивные кривые и пример определения по ним гранулометрических характеристик

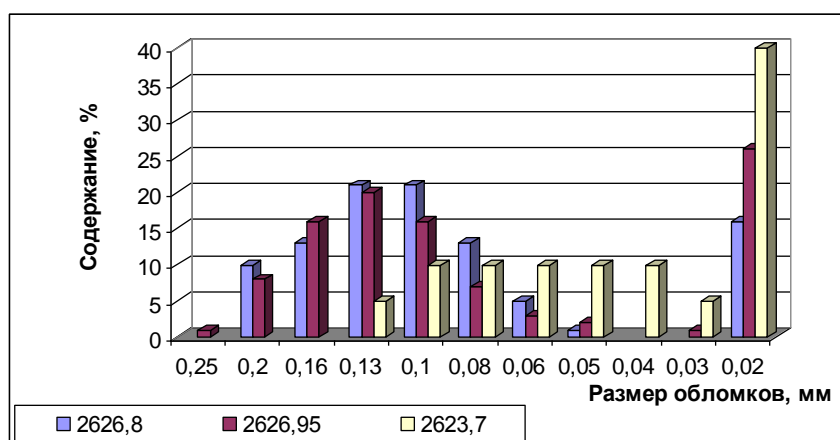
На оси абсцисс снимают значения размерности зерен для первой квантили ( $Q_1$ ) при  $y=25\%$ ; для второй квантили ( $Q_2$ ) при  $y=50\%$  и для третьей квантили ( $Q_3$ ) при  $y=75\%$ , а также значение для 1%-ного фракционного состава. Значения по оси  $x$ , для второй квантили определяет также медианный диаметр зерен в породе; значение для 1%-го содержания – максимальный статистический размер обломков; соотношение значений первой квантили к третьей определяет коэффициент сортировки породы ( $S_o$ ). Согласно классификации П. Траска, выделяются хорошо отсортированные осадки ( $S_o = 1,0-1,58$ ), средне отсортированные ( $S_o = 1,58-2,12$ ) и плохо отсортированные ( $S_o > 2,12$ ).

Полученные фракции изучают под бинокулярным микроскопом для выяснения степени окатанности зерен и преобладания окатанных, полуокатанных и угловатых частиц породы.

Визуализация результатов гранулометрии осуществляется с помощью различных графических построений: круговых диаграмм (рис. 6.2) для отдельных образцов; гистограмм (рис. 6.2, А), по которым удобно проводить сравнение пород с разным гранулометрическим составом.



А



Б

Рис. 6.2. Круговая диаграмма (А) и гистограмма (Б) гранулометрического состава песчаников

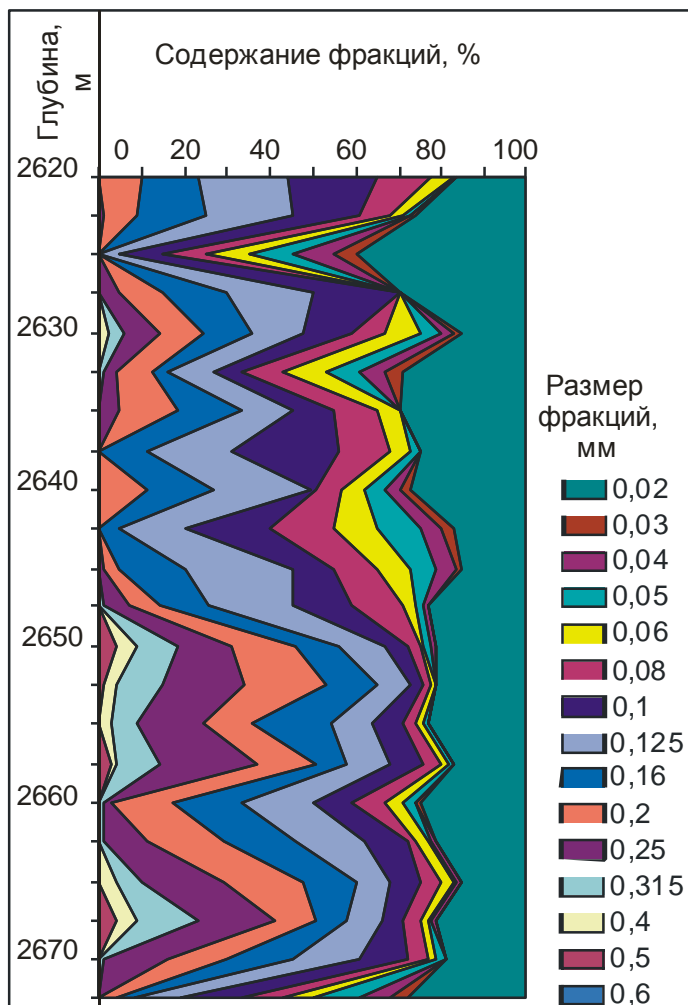


Рис. 6.3. Изменение гранулометрического состава песчаников по разрезу

В целях прослеживания неоднородности и характера изменения отдельных пластов по их толщине, а также для выявления общих закономерностей изменения гранулометрического состава в разрезе скважины строят графики изменения гранулометрического состава пород по разрезу (рис. 6.3).

Они часто дополняют литологические колонки и каротажные диаграммы; на их основе строятся седиментологические колонки.

Данные анализа весьма ценны для литологической характеристики породы, но корреляционное значение их невелико вследствие значительной изменчивости разреза пород, слагающих нефтеносные районы.

При изучении коллекторских свойств терригенных пород особый интерес представляет определение глинистости породы. Большинство исследователей за глинистость породы принимается массовое содержание фракции размером менее 0,01 мм. В песчано-алевролитовых породах глинистая фракция может быть представлена как глинистыми, так и неглинистыми минералами в различном количестве.

Для выделения глинистой фракции и ее разделения используют методы *седиментационного разделения частиц* по фракциям, основанные на различной скорости осаждения частиц различного размера в воде или в вязкой жидкости [6].



Из фракции песка, прошедшей сито отверстиями 0,01 мм, отбирают навеску в 10 г и перемешивают ее в воде в цилиндре емкостью 1 л, помещенном в баню. В цилиндр вставляется пипетка с глубиной спуска ее кончика около  $h=30$  см. По формуле Стокса скорость падения в жидкости частиц сферической формы равна

$$v = \frac{gd^2}{18\nu} \left( \frac{\rho_{\text{п}}}{\rho_{\text{ж}}} - 1 \right),$$

где  $d$  – диаметр частиц в мм;

$v$  – скорость осаждения частиц в м/сек;

$\rho_{\text{ж}}$  – плотность жидкости в кг/м<sup>3</sup>;

$\rho_{\text{п}}$  – плотность вещества частицы в кг/м<sup>3</sup>;

$g$  – ускорение силы тяжести в м/сек<sup>2</sup>;

$\nu$  – кинематическая вязкость в м<sup>2</sup>/сек.

Чтобы избежать влияния концентрации частиц на скорость их падения в дисперсной среде, содержание твердой фазы в суспензии не должно превышать по весу 1 %.

Высчитав по формуле время осаждения частиц с определенным диаметром до глубины спуска пипетки, отбирают пипеткой пробы с глубины  $h$  через высчитанное время. При этом в пипетку попадут только те частицы, диаметр которых меньше заданного, так как к этому времени после начала осаждения частиц все более крупные зерна будут ниже кончика пипетки. Высушив содержимое пипетки, определяют количество всех частиц, исходя из того, что масса всей навески, объем пипетки, вес сухого остатка в ней и объем жидкости в цилиндре известны. Отбирая последующие пробы через другие интервалы времени от начала отстаивания суспензии, точно так же определяют в анализируемой пробе содержание более мелких фракций.

Существует большое разнообразие методов седиментационного анализа. Наибольшее распространение в лабораториях получили методы отмучивания током воды, отмучивания сливанием жидкости (метод Сабанина) и метод взвешивания осадка при помощи весов Фигуровского.

При отмучивании током воды пробу помещают в конический или цилиндрический сосуд, через который создают ток воды, направленный снизу вверх. Регулируя скорость движения воды, добиваются выноса из пределов сосуда частиц определенного диаметра, величина которого также может быть определена при помощи формулы Стокса.

При отмучивании сливанием жидкости частицы разного размера разделяют путем слива после определенного времени отстаивания верх-

ней части столба суспензии с мелкими частицами, не успевшими осесть на дно сосуда.

Наиболее совершенный метод седиментационного анализа – взвешивание осадка. Хорошо перемешанную суспензию вливают в цилиндрический сосуд, в который опускают тонкий стеклянный диск, подвешенный на плечо седиментометрических весов Н.А. Фигуровского. Выпадающие частицы суспензии отлагаются на стеклянном диске. По мере отложения осадка равновесие весов нарушается и для восстановления его требуется дополнительная нагрузка. Регистрируя время и нагрузки, получают данные, которые затем обрабатывают и приводят в обычный для анализа вид: результаты анализа механического состава пород изображаются в виде таблиц или графиков суммарного состава и распределения зерен породы по размерам.

### **КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ**

1. Для каких целей проводится гранулометрический анализ?
2. Какие способы проведения гранулометрического анализа существуют?
3. В чем отличие весового и седиментационного гранулометрических анализов?
4. Как проводится весовой гранулометрический анализ?
5. Какие способы седиментационного анализа вам кажутся наиболее удачными и почему?
6. Как изображаются результаты гранулометрического анализа?
7. Как используются данные гранулометрического анализа в нефтегазовой геологии?