

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

---

**Н.М. Недоливко, А.В. Ежова**

# **ПЕТРОГРАФИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕРРИГЕННЫХ И КАРБОНАТНЫХ ПОРОД-КОЛЛЕКТОРОВ**

ЧАСТЬ 3  
ИЗУЧЕНИЕ ТЕРРИГЕННЫХ ПОРОД-КОЛЛЕКТОРОВ

*Допущено Учебно-методическим объединением вузов Российской Федерации по высшему образованию в области прикладной геологии в качестве учебного пособия по вариативной дисциплине «Исследование кернового материала нефтегазовых скважин» для студентов высших учебных заведений, обучающихся по специализации 130101.3 Геология нефти и газа» специальности 130101 «Прикладная геология»*

Издательство  
Томского политехнического университета  
2012

УДК 550.8.023: 550.822.2

ББК 26:31я73

Н42

Е-35

**Недоливко Н.М., Ежова А.В.**

Н42

Е-35

Петрографические исследования терригенных и карбонатных пород-коллекторов: учебное пособие / Н.М. Недоливко, А.В. Ежова; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2012. – 172 с.

В учебном пособии приведены данные об устройстве поляризационного микроскопа и способах изготовления шлифов; охарактеризованы диагностические признаки, оптические свойства и особенности минералов обломочной части, цемента и аутигенных включений; дана классификация терригенных и карбонатных пород; рассмотрены вопросы морфологии пустотного пространства и факторов, способствующих формированию коллекторских свойств пород; приведены примеры петрографических исследований пород-коллекторов в шлифах с указанием признаков нефтенасыщения.

Пособие предназначено для студентов, обучающихся по специальности 130304 «Геологии нефти и газа» направления «Прикладная геология», а также для студентов, аспирантов и других специалистов, занимающихся научными исследованиями в области нефтяной геологии

УДК 550.8.023:550.822.2

ББК 26:31я73

### *Рецензенты*

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

Доктор геолого-минералогических наук,  
профессор, зав лабораторией геохимии и пластовых нефтей  
ОАО «ТомскНИПИнефть ВНК»  
*И.В. Гончаров*

© ГОУ ВПО НИ ТПУ, 2011

© Недоливко Н.М, Ежова А.В., 2011

© Обложка. Издательство Томского  
политехнического университета, 2011

## 5. ИЗУЧЕНИЕ ТЕРРИГЕННЫХ ПОРОД-КОЛЛЕКТОРОВ

Методика изучения терригенных пород-коллекторов, их условия образования и классификации изложены с позиций [1, 6, 15, 16, 17, 19, 22, 23, 26–29, 31, 32, 34, 37, 39, 40–42, 46, 49, 53, 54, 56, 59, 60, 62].

### 5.1. Классификация и составные части терригенных пород

К терригенным (обломочным) относятся породы, образованные в результате разрушения различных по происхождению горных пород, переноса исходного материала, осаждения и накопления его в седиментационном бассейне. Классификация терригенных пород (табл. 34) проводится с учетом цементации, размера и окатанности обломков.

По степени цементации выделяют рыхлые (алевролит и др.) и сцементированные (алевролит и др.) разности; согласно размеру частиц слагающих породу – глинистые (менее 0,01 мм), мелкообломочные (от 0,1 до 1,0 мм) и крупнообломочные (более 1,0 мм) породы. Степень окатанности обломков учитывается при классификации крупнообломочных пород.

Подавляющее большинство терригенных коллекторов относятся к мелкообломочным породам: алевролитам (алевролитам) и песчаникам (пескам). Они состоят из обломочного (продукты механического разрушения горных пород и минералов), хемогенного (продукты химических реакций, протекающих в водной, реже воздушной среде) и биогенного (фрагменты животных и растительных организмов в виде окаменелостей, растительных тканей, скелетных остатков и т.д.) материала, реже в них присутствует вулканогенная, коллоидная и космическая составляющие.

Обломочный материал представлен *обломками или обломочными зернами*, они имеют замкнутую форму и хорошо выраженные ограничения. В алевролитах и песчаных породах содержание обломочного материала варьирует, но всегда более 50 %, в противном случае, породы не являются песчаниками и алевролитами. Обломки могут быть представлены минералами (кварц, полевые шпаты, слюды и др.) и горными породами магматического, метаморфического и осадочного происхождения; они отличаются формой, окатанностью и размерами.

Хемогенный материал в основном слагает *цементы* – вещество, заполняющее промежутки между обломками и приспособляющееся к межобломочному пространству. Цемент может быть сложен одним или несколькими минералами. Наиболее часто цементы имеют глинистый и карбонатный состав.

Хемогенный материал слагает также *прожилки* и *включения*: минеральные – конкреционные (стяжения, желваки), оолитовые и сферолитовые образования и органические – ископаемые остатки (в виде первичного – в раковинах, или вторичного – псевдоморфозы материала).

Кроме того, породы-коллекторы имеют *пустотно-поровое пространство* – совокупность пустот, встречающихся в породе. По особенностям строения пустот терригенные коллекторы относятся преимущественно к гранулярным (поровым) коллекторам, пустотное пространство в которых представлено промежутками между обломочными зернами (гранулами).

В породах, насыщенных нефтью, часто наблюдаются в обломках и цементе пленки, примазки и другие ее проявления.

Основные компоненты осадочных пород приведены на рис. 54.

Таблица 34

Название обломочных пород и их структура по размеру, окатанности и степени цементации обломков (по Н.В. Логвиненко [16])

Размеры (мм)	Название				Структура	
	Рыхлые	Цементированные				
Крупнообломочные породы						
1000-500	Валун крупный	Валунный конгломерат крупный	Окатанные обломки	Валунная брекчия крупная	Угловатые обломки	Псефитовая (крупнообломочная)
500-250	Валун средний	Валунный конгломерат средний		Валунная брекчия средняя		Псефитовая (крупнообломочная)
250-100	Валун мелкий	Валунный конгломерат мелкий		Валунная брекчия мелкая		Псефитовая (крупнообломочная)
100–50	Галька крупная	Конгломерат (галечник) крупный		Брекчия крупная		Псефитовая (крупнообломочная)
50–25	Галька средняя	Конгломерат (галечник) средний		Брекчия средняя		Псефитовая (крупнообломочная)
25–10	Галька мелкая	Конгломерат (галечник) мелкий		Брекчия мелкая		Псефитовая (крупнообломочная)
10–5	Гравий крупный	Гравелит крупный				Псефитовая (крупнообломочная)
5,0–2,5	Гравий средний	Гравелит средний				Псефитовая (крупнообломочная)
2,5–1,0	Гравий мелкий	Гравелит мелкий				Псефитовая (крупнообломочная)
Мелкообломочные породы						
1,0-0,5	Песок крупный	Песчаник крупнозернистый			Крупносаммитовая	
0,5–0,25	Песок средний	Песчаник среднезернистый			Среднесаммитовая	
0,25–0,1	Песок мелкий	Песчаник мелкозернистый			Мелкосаммитовая	
0,1-0,05	Алеврит крупный	Алевролит крупнозернистый			Крупноалевритовая	
0,05-0,01	Алеврит мелкий	Алевролит мелкозернистый			Мелкоалевритовая	
Глинистые породы						
< 0,01	Пелит	Глина, аргиллит			Пелитовая	

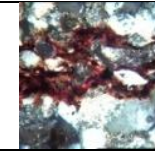
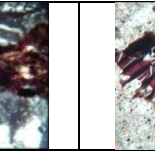
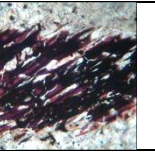

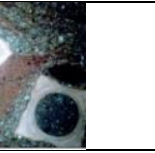
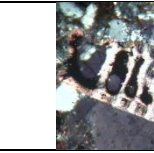
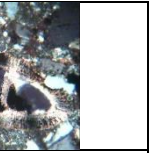
## 1. Обломки

<i>Породообразующие</i>						
						
Кварц	Полевые шпаты		Обломки пород разного генезиса			
<i>Второстепенные</i>						
						
Слюды		Кальцит	Глауконит	Хлорит		
<i>Акцессорные</i>						
						
Циркон	Эпидот	Цоизит	Монацит	Сфен	Турмалин	Гранаты

## 2. Цемент

						
Глинистый	Каолини- товый	Гидрослю- дистый	Кальцито- вый	Сидерито- вый	Хлорито- вый	Пиритовый

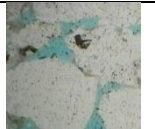
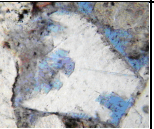
## 3. Органические включения

						
Растительная органика			Фаунистические остатки			

## 4. Минеральные включения

		
Конкреции	Оолиты	Сферолиты

## 5. Пористость

	
Межзерновые и внутри- зерновые поры	

## 6. Нефтяное вещество

	
Нефть в цементе и об- ломках	

Рис. 54. Основные компоненты терригенных пород-коллекторов

## 5.2. Схема изучения и описания терригенных пород-коллекторов

Схема изучения и описания терригенных пород-коллекторов включает в себя их название, текстурно-структурную характеристику, вещественный состав, особенности пустотно-порового пространства и нефтенасыщения (рис. 55).

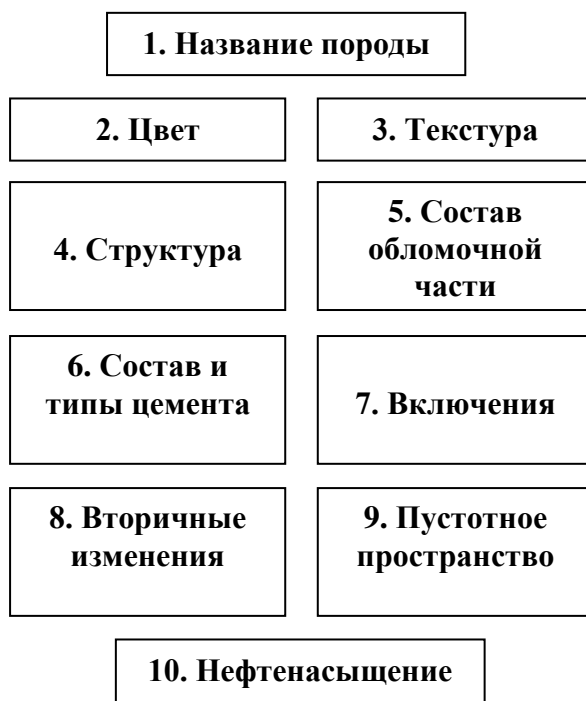


Рис. 55. Схема изучения пород-коллекторов под микроскопом

### 5.2.1. Название и цвет породы

**Название породы** вписывается после микроскопического изучения, оно должно отражать наиболее характерные признаки породы: тип породы, окраску, текстурные и структурные особенности, минералогический состав, состав цемента, пористость, нефте- или водонасыщенность. Например: *песчаник светло-серый однородный мелкозернистый алевроитовый аркозовый с каолиновым цементом, пористый, нефтенасыщенный*.

**Цвет породы** определяется при ее макроскопическом изучении. Он зависит от окраски обломков, включений и цемента, и может распределяться равномерно и неравномерно (пятнисто, полосчато и т.д.).

Под микроскопом цвет часто отличается от цвета в образце, так как тонкие срезы окрашенных минералов могут быть слабо окрашенными или даже бесцветными. Тем не менее, изучение цвета под микроскопом позволяет установить причину окраски (например, черный цвет породы может быть обусловлен рядом причин: тонкой примесью графита, глинисто-органического вещества, гидроксидов марганца и др., установить которые можно под микроскопом).

Окраска может быть первичной и вторичной (например, при выветривании, химическом замещении и т.д.).

### 5.2.2. Текстура пород

Текстурой называется взаимное расположение фрагментов породы, их ориентировка относительно друг друга, поверхности напластования и породы в целом. Текстура может быть первичной (седиментационной и сингенетичной) – образуется во время осадконакопления – и вторичной (диагенетической и катагенетической) – образуется на этапах стадийного литогенеза.

К *первичным седиментогенным текстурам* относятся все явления слоистости, выраженной в чередовании разных типов пород, которые отчетливо обособляются друг от друга.

В шлифах из-за их малых размеров в большинстве случаев фиксируется не слоистость, а слойчатость, т.е. микроскопические (толщиной менее 1 мм) выдержанные (слойки протягиваются через весь шлиф) и не выдержанные (прерывистые) слои, или слойчатость фиксируется в одинаковой ориентировке слагающих породу частиц (рис. 56).

В зависимости от типа слоев текстуры могут быть:

- параллельнослоистые (горизонтальнослоистые) – чередование слоев с параллельными плоскостями наложения;
- косослоистые (часто в шлифах они ошибочно принимаются за горизонтальнослоистые) с прямолинейными и изогнутыми границами слоев;
- волнистослоистые – с чередованием слоев с криволинейной выпукловогнутой формой.

Реже в шлифах проявляются разновидности текстур (например, одно- и разнонаправленная косослоистая, волнисто-линзовидная) и сложные слоистые текстуры, представляющие сочетания нескольких типов слоев.

Более отчетливо слойчатость проявляется в алевритовых породах, благодаря послонному обогащению слюдами и растительным детритом.

Также в шлифах наблюдаются неслоистые (массивные и беспорядочные) и деформационные текстуры: нагрузки и оседания, оползания, разрыва и обрушения, биотурбационные текстуры (связанные со следами жизнедеятельности донных животных и корневыми остатками).

К *вторичным или постседиментационным текстурам* относятся текстуры конкреционные, растворения и трещинные.

### 5.2.3. Структура породы

Структура пород является одним из основных факторов, от которых зависят коллекторские свойства пород. Структурные особенности песчаных и алевритовых пород-коллекторов формируются главным образом в седиментогенезе и определяются размером, формой, степенью окатанности обломочных зерен, их взаимоотношением и расположением в породе.

*По размеру обломочных зерен* в терригенных коллекторах различают 2 типа основных структур (см. табл. 34, рис. 57):

- алевритовую (мелко- и крупноалевритовую) с размером частиц в пределах 0,01–0,1 мм;
- псаммитовую (мелко-, средне- и крупнопсаммитовую) с размером частиц 0,1–1,0 мм.

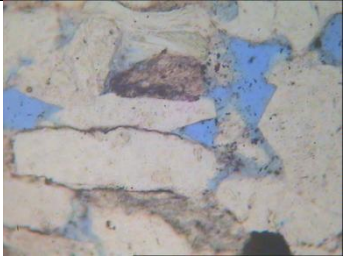

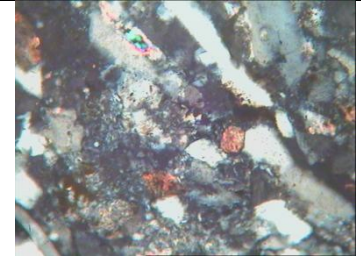
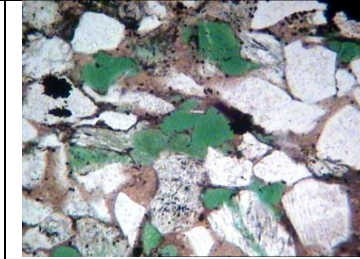
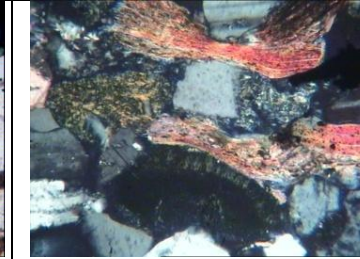
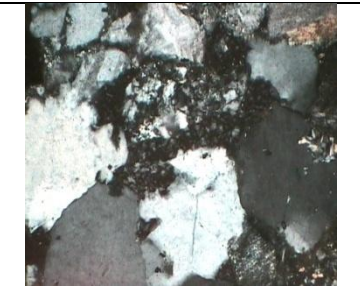

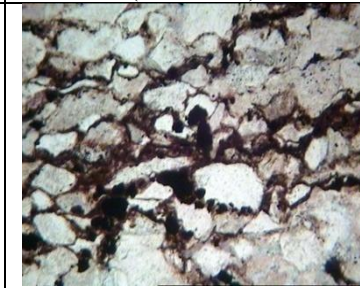
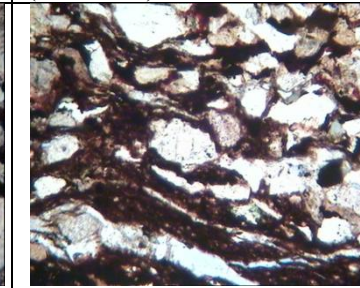
				
Ориентированное расположение обломков (1 и 2 николя)			Ориентированное расположение глауконита (1 николь)	Ориентированное расположение слюд (2 николя)
				
Послойные скопления сидерита (2 николя)	Массивная текстура (2 николя)		Прослойки органики в алевролите (1 николь)	

Рис. 56. Текстуры песчаных и алевролитовых пород под микроскопом



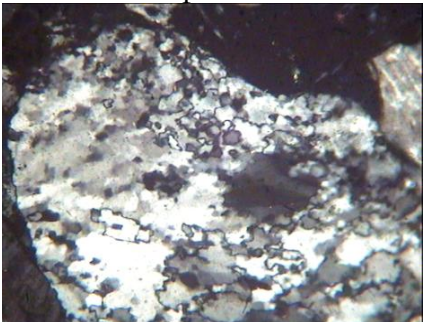


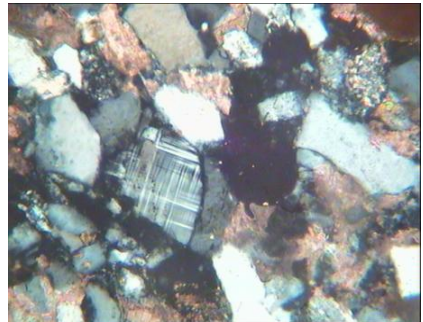
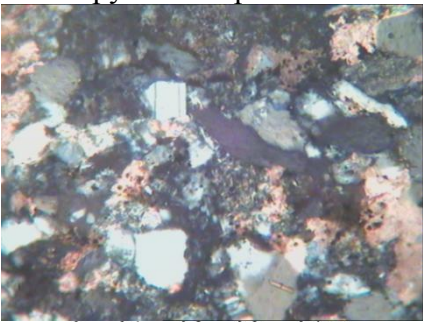
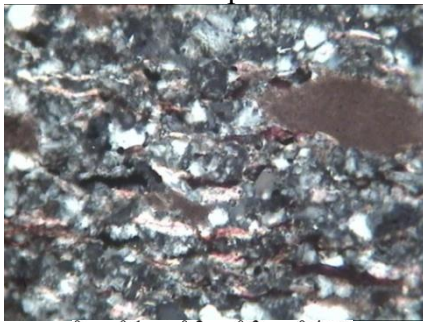
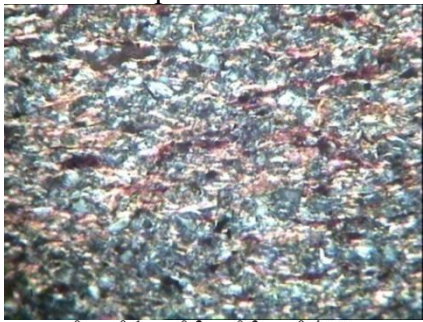
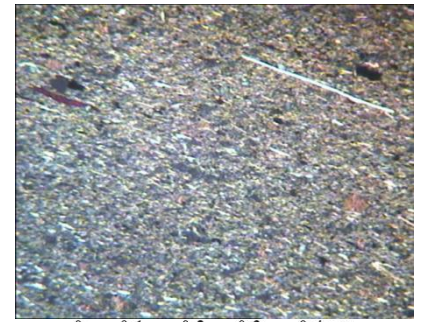
<i>Гравий, галька</i>	<i>Песок (песчаник)</i>		
	крупнозернистый	среднезернистый	мелкозернистый
>1,0 мм	1,0–0,5 мм	0,5–0,25 мм	0,25–0,1 мм
псефитовая	крупнопсаммитовая	среднепсаммитовая	мелкопсаммитовая
			
0 0,1 0,2 0,3 0,4 мм	0 0,1 0,2 0,3 0,4 мм	0 0,1 0,2 0,3 0,4 мм	0 0,1 0,2 0,3 0,4 мм
<i>Алеврит (алевролит)</i>		<i>Алеврито-глинистая порода</i>	<i>Глина, пелит, аргиллит</i>
0,1–0,05 мм	0,05–0,01 мм	< 50 % до 0,1 мм	< 0,01 мм
крупноалевритовая	мелкоалевритовая	алевропелитовая	пелитовая
			
0 0,1 0,2 0,3 0,4 мм	0 0,1 0,2 0,3 0,4 мм	0 0,1 0,2 0,3 0,4 мм	0 0,1 0,2 0,3 0,4 мм

Рис. 57. Особенности под микроскопом, структура и название терригенных пород

Песчаные и алевритовые породы связаны постепенными переходами: т.е. в песчаниках часто в заметных количествах присутствует алевритовый материал, а в алевролитах – псаммитовый. Структура таких смешанных пород определяется как алевро-псаммитовая (преобладают обломки песчаной фракции) или псаммо-алеvритовая (преобладают обломки алевритовой фракции). Кроме того, алевролиты и песчаники содержат также глинистые частицы (размером менее 0,01 мм). При заметном их количестве (содержание глинистых частиц не должно превышать 50 %) выделяется пелито-алеvритовая (в алевролитах) и пелито-псаммитовая (в песчаниках) структуры. Содержание обломков приблизительно определяется с помощью трафаретов (рис. 58), точно – при проведении гранулометрического анализа.

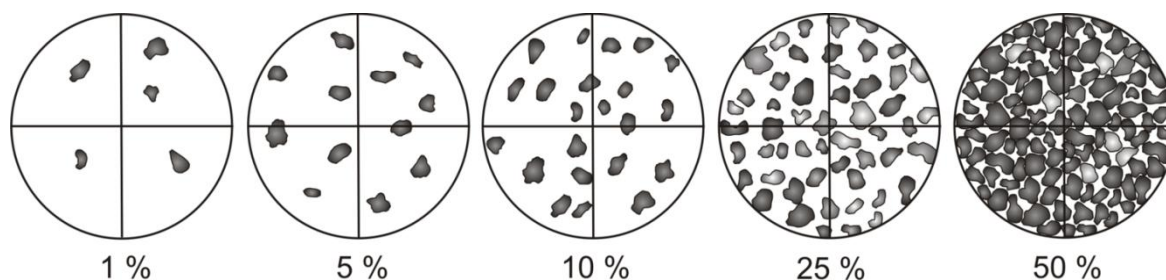


Рис. 58. Трафареты для визуальной оценки содержания обломков в породе

В случаях, когда в породах присутствуют обломки размером более 1 мм (не более 50 %) структура пород называется или псефито-псаммитовой или псефито-алеvритовой (встречается редко). При отсутствии цемента или при его малом содержании размеры обломков определяют размеры межзерновых пор: чем крупнее обломочные зерна, тем крупнее поры, заключенные между обломками.

Структура пород определяется также степенью гранулометрической однородности обломочных зерен или их отсортированностью. Визуально степень отсортированности обломков определяется следующим образом: если порода содержит обломки, сильно отличающиеся по размерам, и пространство между крупными обломками заполнено мелкими, сортировка плохая; при средней отсортированности размеры обломков близки; при хорошей – все обломки имеют примерно одинаковые размеры (рис. 59). Степени отсортированности обломков определяется точно по значению коэффициента сортировки. Он рассчитывается при проведении гранулометрического анализа. Методика гранулометрического анализа пород в шлифах будет изложена позднее.



Рис. 59. Различная степень отсортированности обломков в песчаниках

По форме различают изометричные и удлиненные зерна. Более крупные седиментогенные поры образуются между изометричными обломками. Это обусловлено тем, что при переносе и укладке изометричные обломки соприкасаются лишь выступающими частями, в то время как удлиненные зерна примыкают друг к другу по поверхности длинной стороны и соприкасаются в нескольких точках по ее поверхности.

Окатанность обломков определяется износоустойчивостью минералов и горных пород и длительностью их переноса. Степень окатанности обломочных зерен определяют по 6-балльной шкале – от 0 до 5 баллов (рис. 60).

По степени окатанности выделяют обломки:

- остроугольные – обломки имеют хорошо выраженные, часто острые углы (балл 0);
- угловатые – углы обломков сглажены истиранием (балл 1);
- слабо окатанные – углов нет, поверхность обломков ровная и выпукло-вогнутая (балл 2);
- полуокатанные – углов нет, поверхность обломков слабо выраженная вогнуто-выпуклая (балл 3);
- окатанные – углов нет, поверхность обломков выпуклая (балл 4);
- хорошо окатанные – форма обломков близкая к шаровидной, если изначально обломки были изометричны, или овальной, если изначально обломки имели удлиненную форму (балл 5).


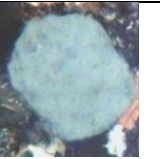



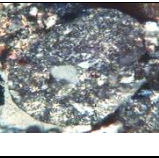
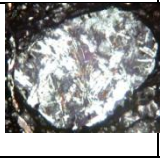
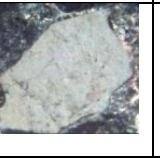

Балл	5	4	3	2	1	0
Изометричные						
Удлиненные						
Окатанность	Хорошо окатанные	Окатанные	Полуокатанные	Слабо окатанные	Угловатые	Неокатанные (остроугольные)

Рис. 60. Оценка степени окатанности обломков

Определение степени окатанности обломочных зерен имеет важное значение при оценке пористости и проницаемости пород, так как увеличение окатанности обломков (в случаях невысокого содержания цемента) способствует формированию пор с гладкими стенками, что в свою очередь облегчает миграцию углеводородов.

Взаимоотношение зерен определяется в участках их бесцементного соединения (контактирования). По морфологии выделяются контакты: точечные, линейные, неровные (выпукло-вогнутые и зубчатые); по способу взаимодействия – конформные и инкорпорационные (рис. 61–62).


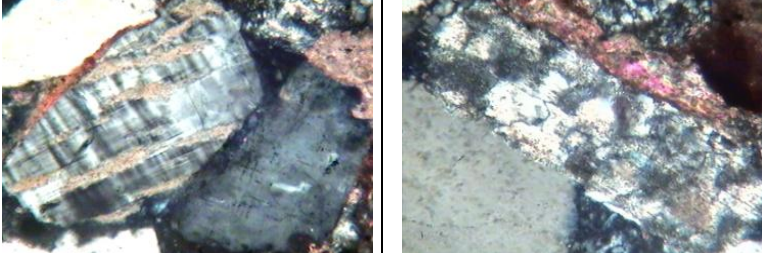
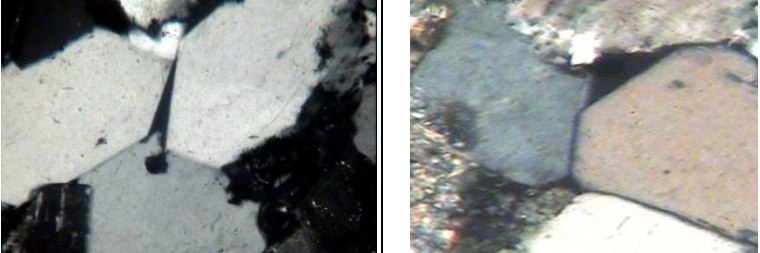
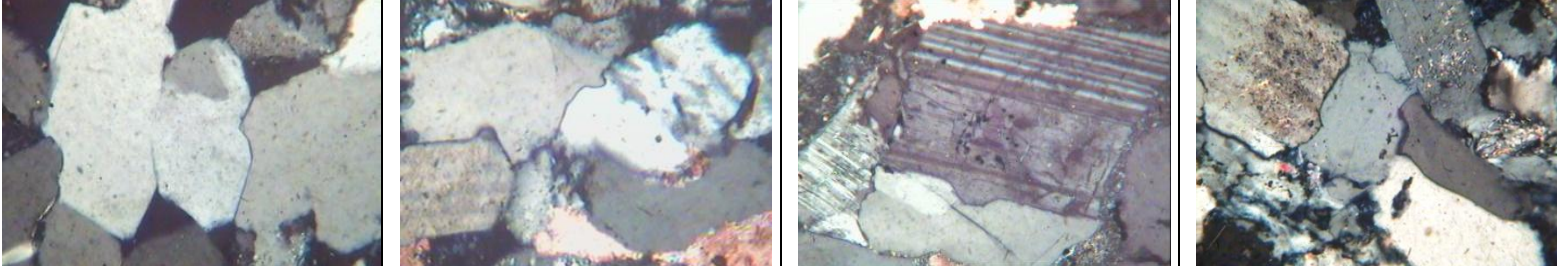
Тип контактов	Вид в микроскопе			
Точечные	 <p data-bbox="472 549 1951 580">Точечные контакты при соприкосновении округлых, угловатых, остроугольных и регенированных зерен (2 николя)</p>			
Линейные	 <p data-bbox="488 877 1137 941">Первичные линейные контакты за счет прилегания призматических зерен (2 николя)</p>		 <p data-bbox="1279 877 1935 941">Вторичные линейные контакты за счет регенерации (2 николя)</p>	
Выпукло-вогнутые	 <p data-bbox="860 1219 1559 1248">Зерна соприкасаются с образованием волнистых линий</p>			

Рис. 61. Морфологические типы контактов

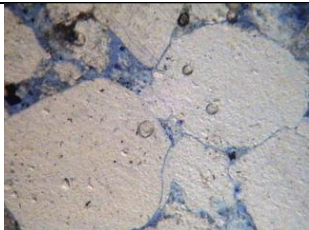
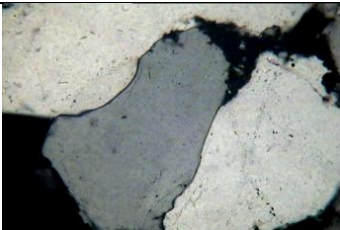


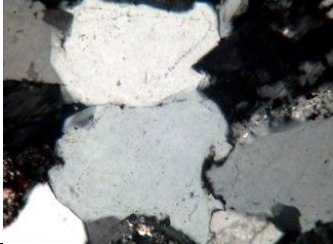
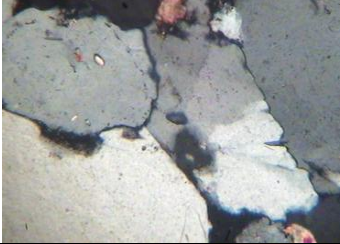



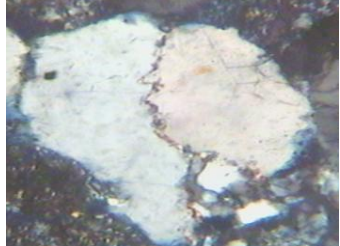

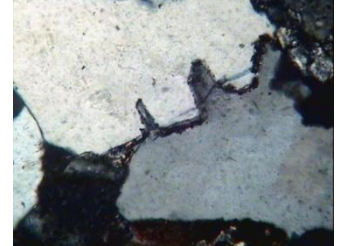
Тип контактов	Вид в микроскопе			
Конформные				
	Волнистые контакты (1 и 2 николя)			Линейные контакты (2 николя)
Инкорпорационные				
	Волнистые контакты (2 николя)		Линейные контакты (2 николя)	
Сутуровидные и микростилолитовые				
	Сутуровидные контакты (1 и 2 николя)		Микростилолитовые контакты (1 и 2 николя)	

Рис. 62. Типы контактов по способу взаимодействия

При *точечных контактах* зерна соприкасаются лишь в отдельных точках; при *линейных* – соприкасаются равными поверхностями с образованием линий; при *неровных* – зерна соприкасаются с образованием волнистых и зубчатых линий.

*Конформные контакты* образуются при прилегании (взаимоприспособлении) зерен друг к другу и имеют различную конфигурацию.

*Инкорпорационные контакты* образуются при взаимопроникновении зерен друг в друга, образование их обусловлено как свойствами обломков (проникновение плотных обломков в более мягкие), так и их взаиморастворением (сутуровидные и микростилолитовые контакты).

*Расположение обломков* в породе – равномерное или неравномерное (послойное, пятнистое и т.д.) – определяет распределение пустотно-порового пространства, а также в ряде случаев размеры пустот и степень их сообщаемости.

#### 5.2.4. Состав обломочной части

Состав обломочной части пород-коллекторов определяется количественным и вещественным соотношением аллотигенных компонентов, т.е. кластогенного материала, привнесенного в бассейн седиментации.

В составе обломочных компонентов выделяют:

- породообразующие, слагающие основную часть обломков пород: кварц, полевые шпаты и обломки пород разного состава и генезиса;
- второстепенные, содержащиеся в небольших количествах (несколько процентов): слюды, глауконит, хлорит;
- аксессуарные (обычно их содержание от единичных зерен до 1–2 %): циркон, сфен, турмалин, минералы группы эпидота и другие тяжелые минералы.

Если породы более чем на 90 % сложены одним аллотигенным компонентом, их называют *мономиктовыми* или *мономинеральными* (кварцевыми, полевошпатовыми и др.). Они образуются либо при размыве пород однородного состава (например, кварцевых песчаников), либо при длительной транспортировке и механическом разрушении неустойчивого обломочного материала.

В группе мономиктовых (мономинеральных) кварцевых песков и песчаников различают:

- кварцевые пески и песчаники, сложенные более чем на 95 % обломочными зернами кварца; цемент их чаще также кварцевый регенерационный, реже представлен другими минералами;
- кварцитовидные песчаники, регенерированные зерна в которых отделяются цементом другого состава;
- осадочные кварциты, регенерированные зерна в которых заполняют всю породу.

Если породы состоят из нескольких аллотигенных компонентов, их называют *полимиктовыми* (*полиминеральными*). К промежуточным между мономиктовыми и полимиктовыми разновидностями относятся *олигомиктовые* песчаники; они сложены двумя компонентами (например, кварцем и обломками пород).

По процентному соотношению кварца, полевых шпатов и обломков пород песчаники могут быть разделены по составу на более дробные группы.

Классификацию трехкомпонентных пород обычно приводят в виде треугольных диаграмм (рис. 63), на которых согласно процентному содержанию компонентов располагаются поля, отвечающие песчаникам определенного состава.

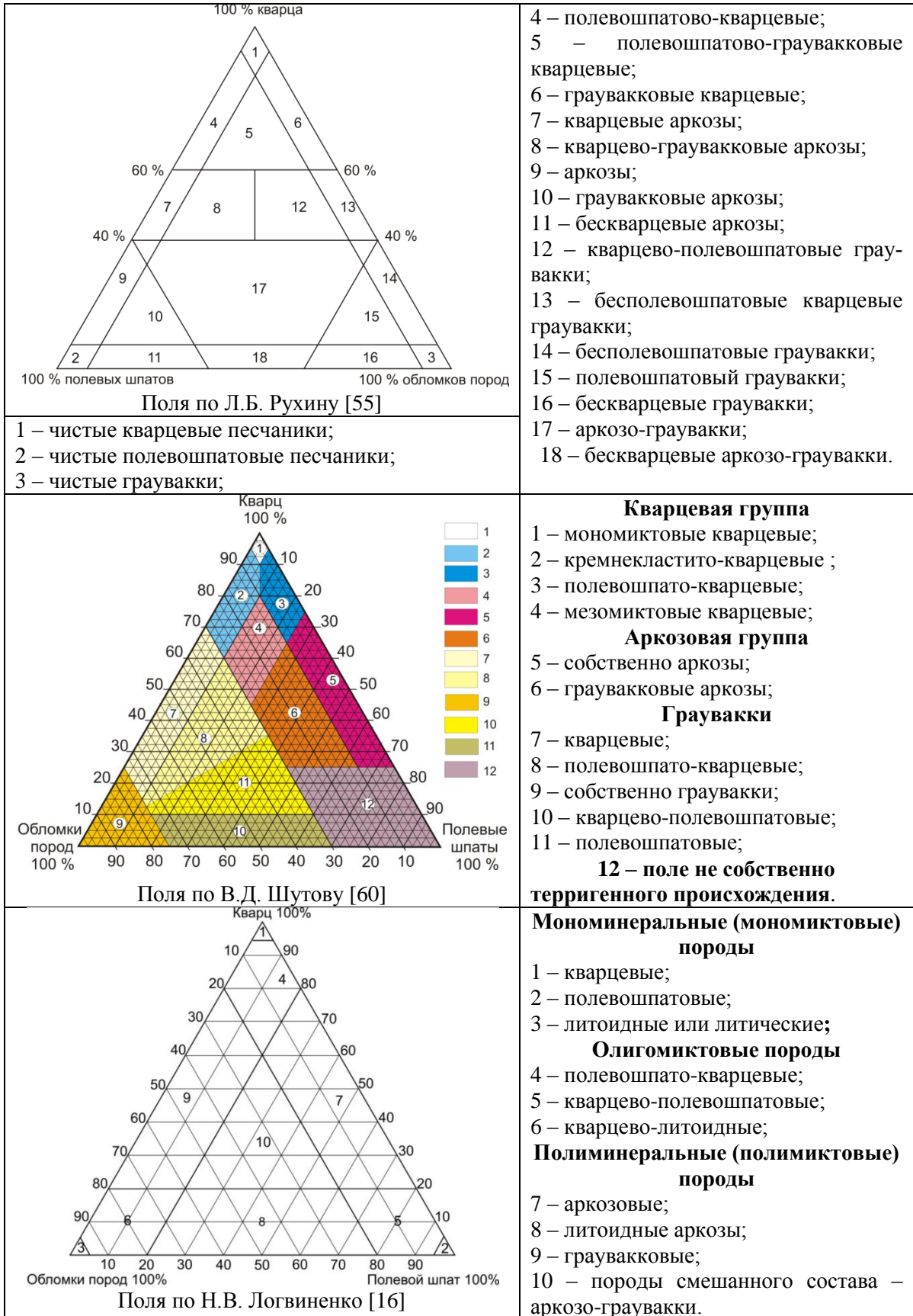


Рис. 63. Классификации песчаников по составу обломочной части

В различных классификациях границы классификационных полей не совпадают, поэтому при названии породы обязательно указывается автор классификации.

При содержании кластических зерен полевых шпатов не менее 30 %, породы называют *аркозы*. Образуются аркозы за счет отложения продуктов разрушения кислых изверженных пород.

Если содержание кластических зерен пород составляет не менее 30 %, песчаники называются *граувакки*. Они образуются преимущественно в складчатых областях (редко в платформенных условиях) вблизи источников сноса.

Аутигенные минералы представлены гидроксидами железа, глауконитом, сульфидами (пирит, марказит и др.), карбонатами (сидерит, доломит и др.), каолинитом и др.

### 5.2.5. Цементы в песчаных и алевритовых породах

*По времени образования* различают первичные и вторичные цементы.

Первичный цемент представлен тонким глинистым веществом – смесью неразличимых под микроскопом глинистых минералов: каолинита, хлорита, монтмориллонита и др. Он образуется в седиментогенезе одновременно с осаждением обломочных зерен. Часто первичные цементы содержатся в значительных количествах, и обломки не соприкасаются между собой, а разобщены цементом.

Вторичные цементы сложены аутигенными минералами и формируются при диагенезе и катагенезе за счет синтеза минералов из растворов; при перекристаллизации первичного цемента; при замещении одних минералов другими. В отличие от первичных, вторичные цементы (за исключением пелитоморфных разностей) раскристаллизованы лучше, и часто их состав можно определить под микроскопом при малых (объективы 3,5×–4×), средних (объективы 9×–10×) или при больших (с объективы 20× и 40×) увеличениях. Состав вторичных цемента: кальцит, сидерит, каолинит и другие минералы.

*По особенностям заполнения пространства* выделяют следующие типы цемента (табл. 35): контактовый (соприкосновения или точечный), поровый (открытый, закрытый, неполный), базальный, контурный (пленочный, регенерационный), сгустковый.

*Контактный (соприкосновения) или точечный.* Цемент присутствует в местах соприкосновения зерен. Содержание его – 1–2 %.

*Поровый (заполнения пор)* – зерна соприкасаются друг с другом, а пространство между ними заполнено цементом.

*Открытый поровый* – зерна соприкасаются друг с другом частично, а цемент заполняет промежутки (поры) между ними. Содержание цемента высокое: 30–40 %.

*Закрытый поровый* – зерна повсеместно соприкасаются друг с другом. Количество цемента не более 25–30 %.

*Неполный поровый* – поры заполнены цементом не полностью.

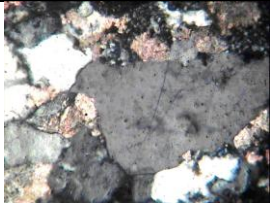
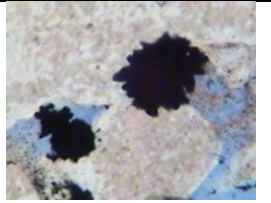

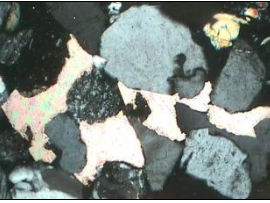
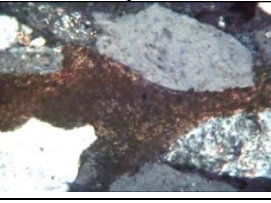

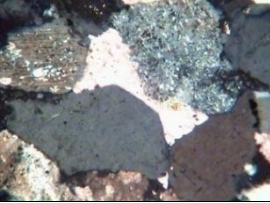
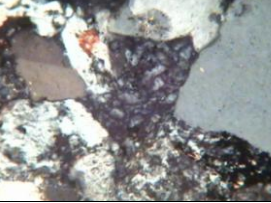
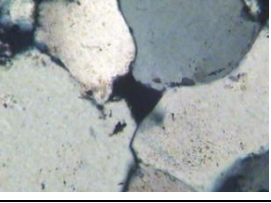

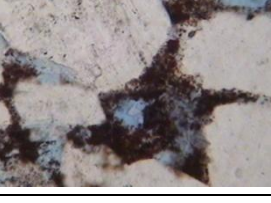
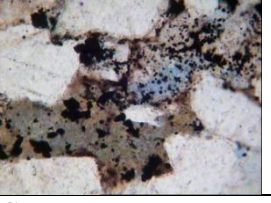
*Контурный* – развит вдоль контура зерен, может быть полным контурным или сплошным (развит по всему контуру) и прерывистым или не сплошным (развит не по всему контуру). Глинистые, железистые цементы преимущественно седиментационные; фосфатные и глауконитовые – седиментационно-диагенетические; карбонатные и кремнистые – диа-, ката- и эпигенетические.

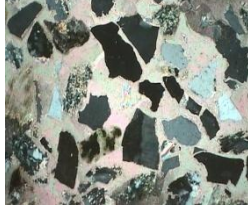
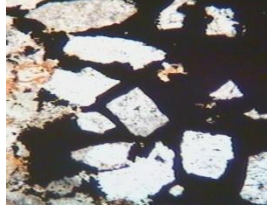
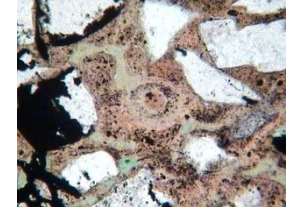
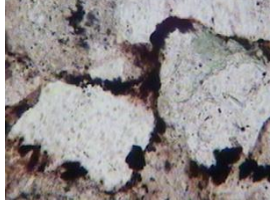
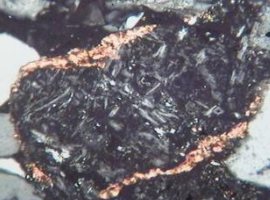

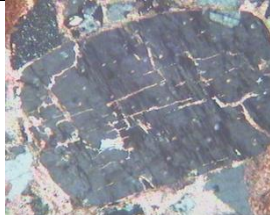

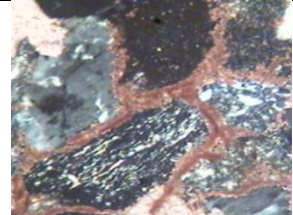
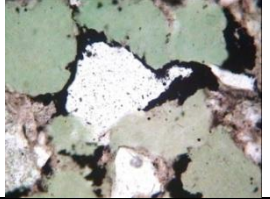

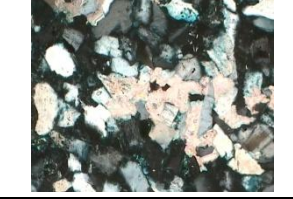
*Контурный (пленочный)* – развит вдоль контура зерен, покрывает зерна пленкой. Содержание цемента менее 5–8 %.



Таблица 35

## Состав и типы цементов песчано-алевритовых пород по особенностям заполнения пространства

Тип	Заполнение пространства	Состав	Примеры цементов		
Контактовый или точечный (соприкосновения)	Цемент в местах соприкосновения зерен	Пиритовый, сидеритовый, кварцевый и др.			
			Кальцит	Пирит	Кальцит и пирит
Открытый поровый	Зерна частично соприкасаются	Карбонатный, глинистый, кварцевый, реже железистый или фосфатный			
			Кальцит	Сидерит	Фосфатный
Закрытый поровый	Зерна повсеместно соприкасаются	Карбонатный, глинистый, кварцевый, реже железистый или фосфатный			
			Кальцитовый	Каолинитовый	Пиритовый
Неполный поровый	Заполняет поры не полностью	Карбонатный, глинистый, кварцевый, реже железистый или фосфатный			
			Сидеритовый	Пиритовый	Смешанного состава

Тип	Заполнение пространства	Состав	Примеры цементов		
Базальный	Зерна не соприкасаются друг с другом	Кальцитовый, сидеритовый, пиритовый, фосфатный, кремнистый, глинистый и др.			
			Кальцит	Пирит	Хлорит-фосфатный
Контурный неполный	Развит вдоль контура зерен, но выполняет его не полностью	Глинистый, железистый, карбонатный, кремнистый, пиритовые и др.			
			Пиритовый	Сидеритовый	Кварцевый
Контурный полный	Цемент развит вдоль всего контура зерен	Гидрослюдистый, хлоритовый, кальцитовый			
			Кальцитовый	Гидрослюдистый	Сидеритовый
Сгустковый	Цемент распределен неравномерно, в одних участках его много, в других – очень мало	При любом составе цемента			
			Пиритовый	Сидеритовый	Кальцитовый

**По равномерности распределения** цементы заполняют пространство равномерно и неравномерно – сгустками (*сгустковый цемент*): в одних участках его много, в других – очень мало.

**По взаимоотношению зерен и цементирующего материала** выделяют цементы коррозионные, обрастания, нарастания и прорастания (табл. 36).

*Коррозионные цементы* внедряются в обломочные зерна, замещают их частично или вплоть до полного исчезновения, в результате чего зерна приобретают извилистые изъеденные очертания.

*Цементы обрастания (крустификации)* окружают обломки в виде кристаллов (кристаллических щеток – крустификатов), перпендикулярно ориентированных к их поверхности.

*Цементы нарастания (регенерации)* образуются в виде неполных и сплошных каемок, иногда кристаллографически оформленных. Они имеют тот же состав, что и обломок, и оптическую ориентировку, одинаковую с зерном, т.е. при повороте столика гаснут и просветляются одновременно с зерном.

Раздел между обломком и регенерационной каймой отсутствует или фиксируется пылеватыми глинистыми, карбонатными и другими частицами или пленками гидроксидов железа.

*Цементы прорастания (пойкилитовые)* представлены кристаллическим цементом, крупные кристаллы цемента включают обломочные зерна и при повороте столика гаснут одновременно.

**По степени раскристаллизации** выделяют цементы (рис. 64):

- *некристаллические*:

- аморфные (опаловый, фосфатный),

- пелитовые (глинистые с размером зерен менее 0,01 мм);

- пелитоморфные (карбонатные с размером зерен менее 0,01 мм: кальцитовые, сидеритовые и др.);

- *кристаллические или кристаллически-зернистые* – состоящие из кристаллических зерен размером более 0,01 мм (кальцитовый, доломитовый, сульфатный, кремнистый и др.).

**По составу** цементы могут быть простые – мономинеральные (мономиктовые): сложены одним минералом (например, кальцитом) и сложные (смешанного состава) – полиминеральные (полимиктовые): сложены несколькими минералами (табл. 37).

Минеральные компоненты, составляющие полимиктовые цементы, могут быть различимы и не различимы под микроскопом.

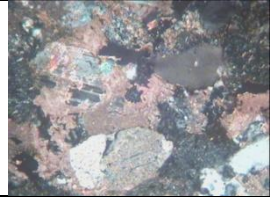
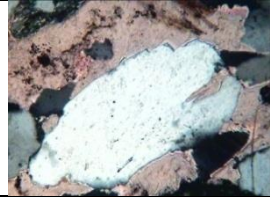
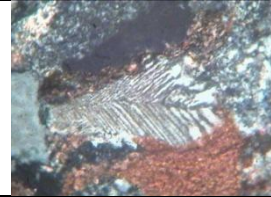

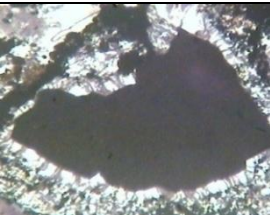

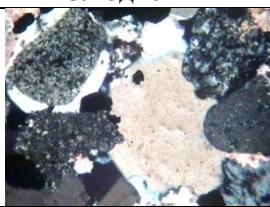

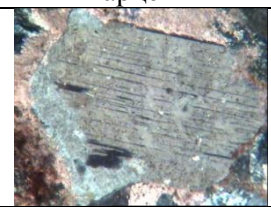
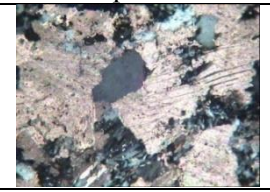
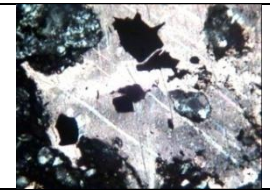
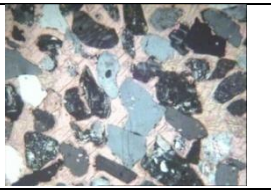
Если состав цемента можно установить под микроскопом, то отдельно изучается каждый компонент цемента и устанавливается его процентное содержание.

В названии цементов сложного типа указываются его основные компоненты (два–три компонента), причем на последнее место ставится название того минерала, содержание которого наибольшее (например, в сидерит-кальцитовом цементе преобладает кальцитовая составляющая; в хлорит-гидрослюдисто-каолинитовом – хлорита меньше, чем гидрослюд, а гидрослюд меньше, чем каолинита и т.д.).

Не различимые под микроскопом цементы представлены чаще всего тонкодисперсной смесью различных глинистых минералов и описываются как неразделенный глинистый цемент. В нем, кроме глинистых минералов, могут присутствовать различные неглинистые минеральные виды (например, пирит), размер зерен которых менее 0,01 мм.

Таблица 36

## Состав и типы цементов песчано-алевритовых пород по взаимоотношению зерен и цемента

Тип	Взаимоотношение зерен и цемента	Состав	Примеры цементов		
Коррозионный	Обломочные зерна «разъедаются» цементом	Карбонатный			
			Кальцитовый		Сидеритовый
Обрастания (крустификационный)	Кристаллы нарастают на поверхности обломков	Халцедоновый, кальцитовый, сульфатный, хлоритовый			
			Слюдистый	Кварцевый	Кварцевый
Нарастания (регенерационный)	Каемки того же состава, что и зерно	Кварцевый, полевошпатовый			
			Кварцевый	Полевошпатовый	
Прорастания (пойкилитный)	Кристаллы цемента включают обломочные зерна	Кальцитовый, гипсовый, баритовый			
			Кальцитовый		

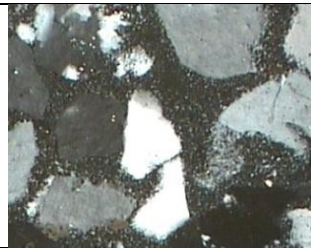



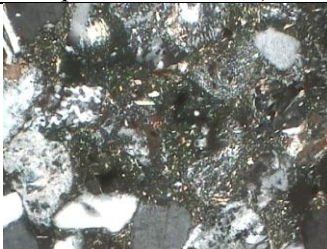



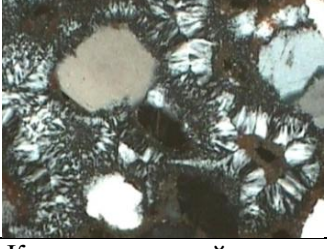



<i>Некристаллические цементы</i>		
		
Слабо раскристаллизованный опаловый	Аморфный железистый (гидроксида железа)	Аморфный фосфатный (николи под углом 45°)
		
Пелитовый гидрослюди-сто-глинистый	Пелитовый хлорит-глинистый	Пелитоморфный сидеритовый
<i>Кристаллические цементы</i>		
		
Тонкочешуйчатый гидросерицитовый	Чешуйчатый каолинитовый	Кристаллический халцедоновый
		
Мелкокристаллический кальцитовый	Крупнокристаллический (пойкилитовый) кальцитовый	Среднекристаллический сидеритовый

Рис. 64. Типы цементов по степени кристалличности

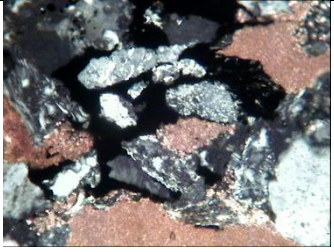
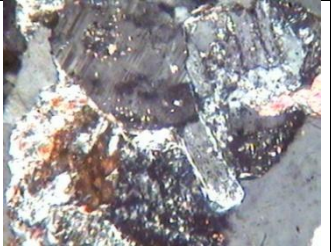
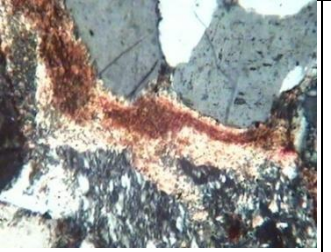

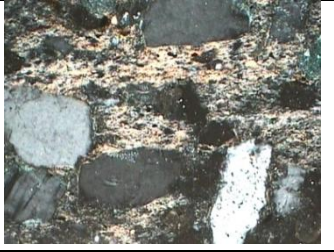
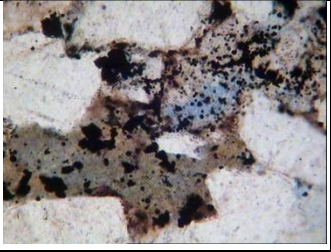
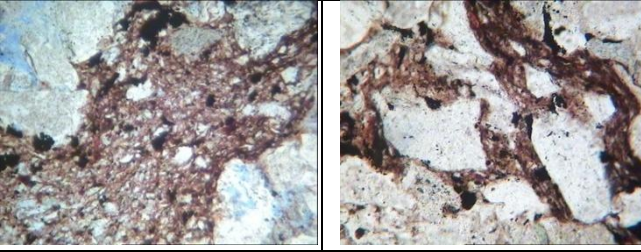
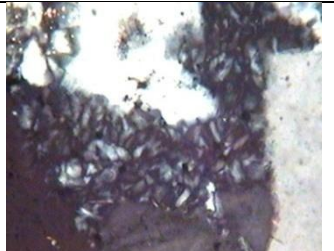
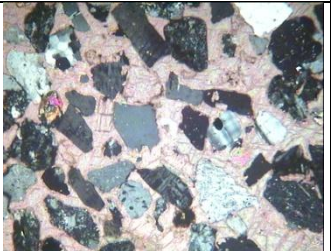
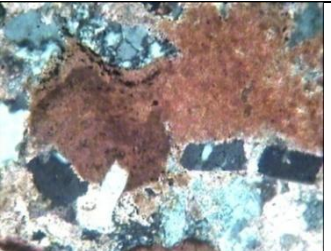
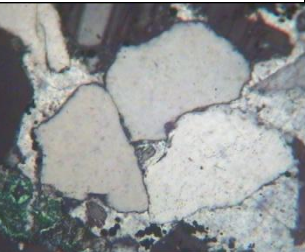
### 5.2.6. Органические остатки


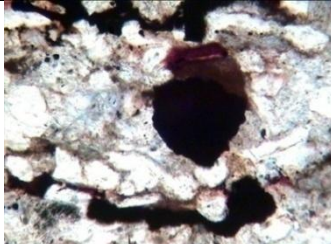
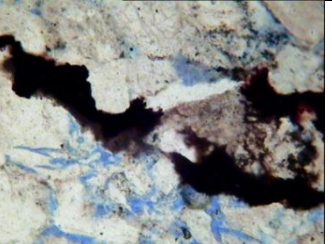
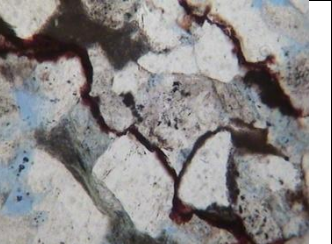
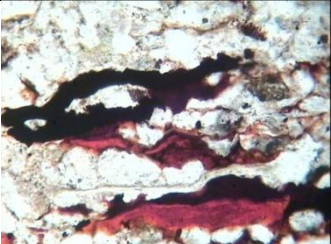

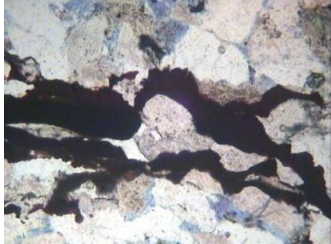
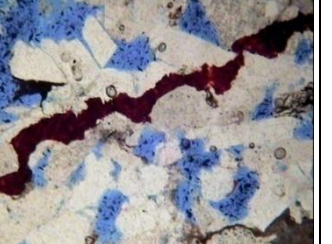
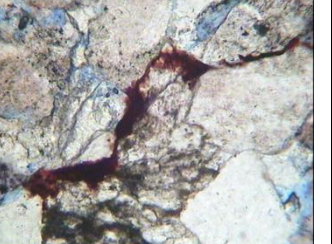


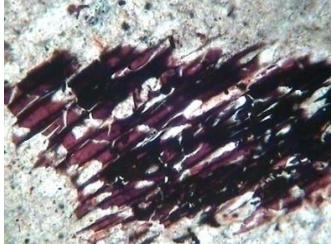
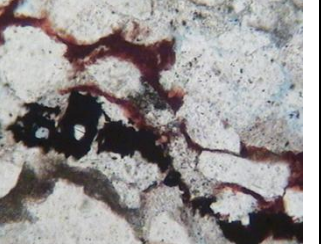

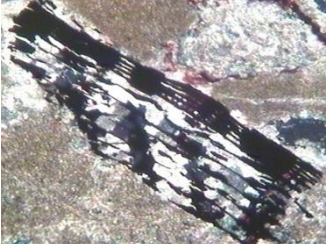
Органические остатки могут быть растительного и животного происхождения. Растительные остатки присутствуют в отложениях, сформированных в континентальных и прибрежно-морских отложениях; животные – преимущественно в морских.

**Растительные остатки.** В песчаных и алевритовых породах остатки наземных и субаквальных растений присутствуют как в рассеянном (в виде примеси), так и в концентрированном (в прослоях) состояниях (рис. 65).

Таблица 37

## Состав и типы цементов песчано-алевритовых пород по количеству компонентов

Тип цемента	Количество компонентов	Примеры цементов			
Полиминеральный с различными компонентами	Компоненты разделены и распознаваемы				
		Сидеритовый и пиритовый	Каолинит-сидерит-гидрохлористый	Сидерит-гидрохлористый	Пирит-гидрохлористый
Полиминеральный с неразличимыми компонентами (неразделенный)	Тонкая смесь неразличимых компонентов				
		Гидрохлористо-глинистый	Неразделенный хлорит-глинистый	Неразделенный глинистый и пиритовый	
Мономинеральный	Один компонент				
		Каолинитовый	Кальцитовый	Сидеритовый	Кварцевый

				
Высокий рельеф (1 николь)	Отчетливые ограничения (1 николь)	Черная (фюзен) окраска (1 николь)	Бурая окраска (1 николь)	Красная окраска (1 николь)
				
Гелефицированный остаток (1 николь)	Послойное распределение (1 николь)	Деформация изгиба вблизи обломков и микроконкреций (1 и 2 николя)		
				
Витрен – гелефицирован, фюзен и ксилен – сохранившие структуру растительной ткани (1 николь)	Пиритизация (1 николь)			Карбонатизация и пиритизация (2 николя)

0 0,05 0,10 0,15 0,20 мм

Рис. 65. Остатки растительной органики

В шлифах растительная органика представлена детритом – фрагментами растений, разрушенных в процессе переноса, измененных в диагенезе и катагенезе.

Детрит имеет отчетливые ограничения, чаще всего располагается послойно, иногда поперек слоистости (корневые остатки). Остатки растений углефицированы в разной степени, в их составе при одном николе можно различить:

- фюзен и ксилен – непрозрачные или слабо прозрачные обугленные остатки черного и бурого цвета, сохранившие растительную ткань;
- витрен – полупрозрачные и прозрачные гелефицированные коллоидальные растительные остатки красно-бурого цвета;
- кларен – прозрачные светлые (желтые) остатки устойчивых компонентов растений: спор, смол, кутикул.

Часто остатки растений замещены вторичными минералами: каолинитом, сидеритом, пиритом.

**Фаунистические остатки.** Ископаемые остатки организмов – органогенные, или фаунистические остатки представлены твердыми частями организмов: панцирями, скелетами, раковинами. В шлифах они представлены цельными остатками (микрофаунистические остатки) или их детритом – раздробленными фрагментами макро- и микрофауны (рис. 66). Органогенные остатки сложены минеральным веществом: арагонитом, кальцитом, минералами группы кварца (кварцем, опалом, халцедоном), фосфатным материалом, пиритом, каолинитом. Под микроскопом остатки фауны легко распознаются по форме, часто по более крупным размерам и по минеральному составу, отличающемуся от состава вмещающих пород.

### 5.2.7. Пустотное пространство

Под пустотным пространством понимается совокупность всех пустот в породе. В шлифах может одновременно наблюдаться сочетание нескольких типов пустотного пространства.

**По особенностям формирования и морфологии** среди пустот выделяют поры, каверны и трещины (табл. 38).

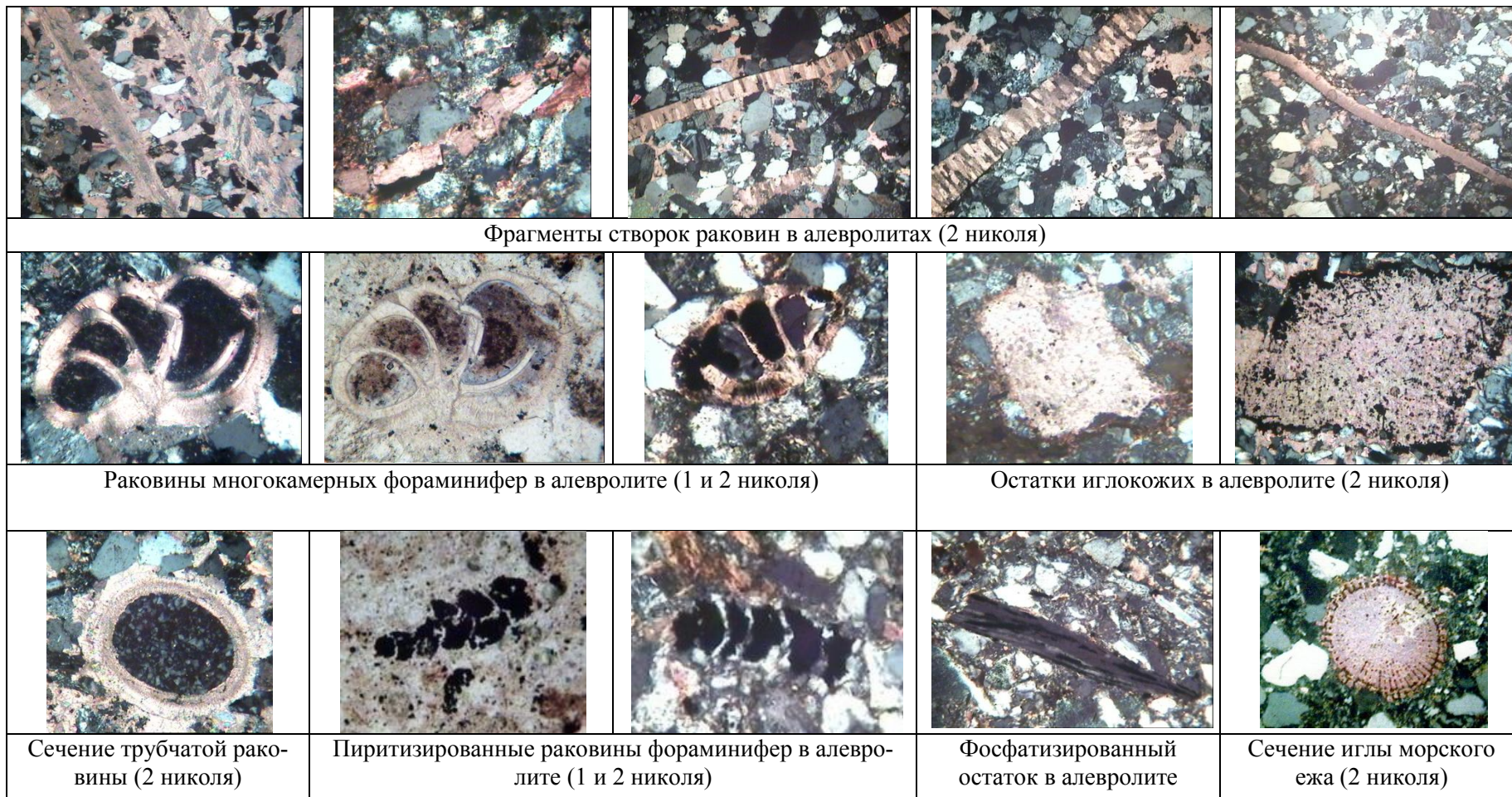
**Поры** – пространство внутри (внутризерновые поры) или между отдельными обломками (межзерновые поры), между кристаллическими зёрнами (межкристаллитные поры), а также *биопустоты* – полости между органогенными остатками (*межформенные биопустоты*) или внутри них (*внутриформенные биопустоты*).

**Каверны** – сравнительно крупные пустотные пространства, образовавшиеся в результате действия процессов растворения. Форма каверн неправильная, ограничения заливообразные, в случаях инкрустации – зигзагообразная. Чаще всего каверны развиты в карбонатных коллекторах, но отмечаются и в песчаных коллекторах с карбонатным цементом.

**Трещины** – разрывы сплошности горных пород, обусловленные литогенетическими причинами (диагенетические и катагенетические) или тектонической деятельностью. Различают трещины литогенетические (диагенетические и катагенетические) и тектонические.

**Литогенетические трещины** образуются в процессе выветривания, обезвоживания, уплотнения, перекристаллизации и т.д. Они приспособляются к структурно-текстурным особенностям пород: часто располагаются хаотично или согласно слоистости, ветвятся, огибают отдельные зёрна.

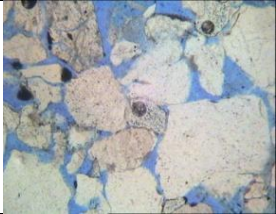
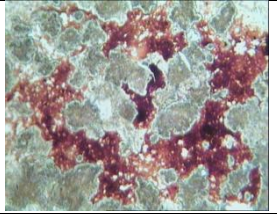

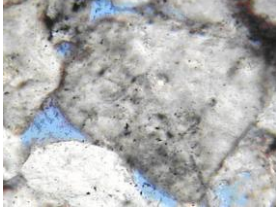
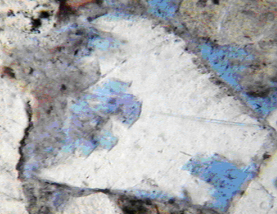
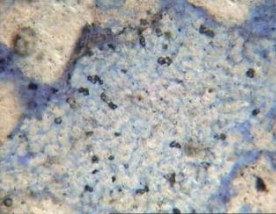


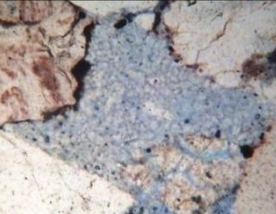

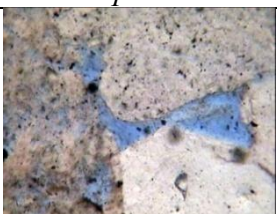
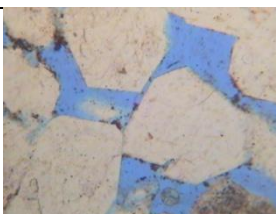




0 0,05 0,10 0,15 0,20 мм

Рис. 66. Органогенные остатки

Типы пустотного пространства в породах

Принцип выделения	Тип пустот		
	<i>Поры</i>	<i>Каверны</i>	<i>Трещины</i>
Морфологии и особенности образования			
	В песчанике	В известняке	В известняке
Последовательность образования	<i>Первичные седиментогенные</i>	<i>Вторичные растворения</i>	<i>Вторичные перекристаллизации</i>
			
	Поры между обломками	Растворение обломка	Поры в каолиновом цементе
Расположение в породе	<i>Межзерновые</i>	<i>Внутризерновые</i>	<i>Цементные</i>
			
	Между зёрнами	Внутри зёрен	В цементе
Степень сообщаемости	<i>Закрытые</i>	<i>Частично открытые</i>	<i>Открытые</i>
			
	Не сообщаются	Сообщаются частично	Соединены каналами

Морфология трещин извилистая с плавными (в диагенезе) и спрямленными (в катагенезе) очертаниями, поверхность стенок неровная.

*Тектонические трещины* образуются в результате дизъюнктивных и пликативных процессов. Они не согласуются со структурно-текстурными особенностями пород, пересекают слоистость и обломки под разными углами, разветвляются. Часто трещины не совпадают по времени образования, т.е. относятся к разным генерациям: (более ранним и более поздним), накладываются друг на друга и пересекаются

друг с другом. Морфология тектонических трещин близкая к прямолинейной; поверхность стенок трещин относительно ровная, иногда вдоль трещин развиваются зеркала скольжения. В песчаниках преобладающим типом пустот являются поры; каверны и трещины в них развиты слабо, хотя каверны иногда наблюдаются в карбонатизированных разностях, в которых они образуются при растворении кальцитового цемента. Каверновые и трещинные типы пустот наиболее характерны для карбонатных коллекторов.

**По времени образования** пустоты делятся на первичные и вторичные.

*Первичные пустоты* образуются в процессе осадконакопления и представлены промежутками между зернами, плоскостями наложения, пустотами внутри и между органогенными остатками и т.д.

В процессе породообразования (в диагенезе и катагенезе) они изменяются: уменьшаются при уплотнении, частично или полностью заполняются цементом, подновляются растворением.

*Вторичные пустоты* образуются в результате последующих процессов: растворения, перекристаллизации, разлома и дробления породы, трещинообразования вследствие сокращения породы (например, при доломитизации) и других процессов (дегидратации, тектонических проявлений и др.).

**По взаимоотношению с компонентами породы** выделяют поры:

- *межзерновые* – расположены между обломками; *межкристаллитные* – располагаются между кристаллами;

- *внутризерновые* – располагаются внутри зерен.

**По степени сообщаемости** выделяют поры:

- *изолированные (закрытые)*,

- *слабо сообщающиеся (слабо связанные, частично открытые)*;

- *хорошо сообщающиеся (связанные, открытые)*.

В зависимости **от размеров** пустот породы могут быть:

- тонкопористыми (при диаметре пустот менее 0,01 мм);

- мелкопористыми (0,01–0,25 мм);

- среднепористыми (0,25–0,5 мм);

- крупнопористыми (0,5–1,0 мм);

- кавернозными (при диаметре более 1,0 мм).

**По величине** поровые каналы нефтяных пластов условно разделяют на три группы:

- субкапиллярные – сечение меньше 0,0002 мм (<0,2 мкм);

- капиллярные – сечение от 0,5 до 0,0002 мм (508–0,2 мкм);

- сверхкапиллярные – сечение крупнее 0,508 мм (>508 мкм).

В коллекторах простого типа пустоты представлены каким-либо одним видом пустот: в поровых коллекторах – пустотное пространство представлено порами, в каверновых – кавернами, в трещинных – трещинами; в коллекторах смешанного типа присутствуют пустоты разных видов (например: в порово-каверновых коллекторах наличествуют и поры, и каверны).

### 5.2.8. Признаки нефтеносности

Признаки легкой нефти в шлифах не обнаруживаются, так как с одной стороны – легкая нефть не имеет окраски или слабо окрашена и не видна в шлифах; с другой стороны – она испаряется в процессе изготовления шлифов. В шлифах фик-

сируются более вязкие и более темно окрашенные, а зачастую и окисленные компоненты нефти, битуминозные вещества и нефтебитумы (рис. 67).

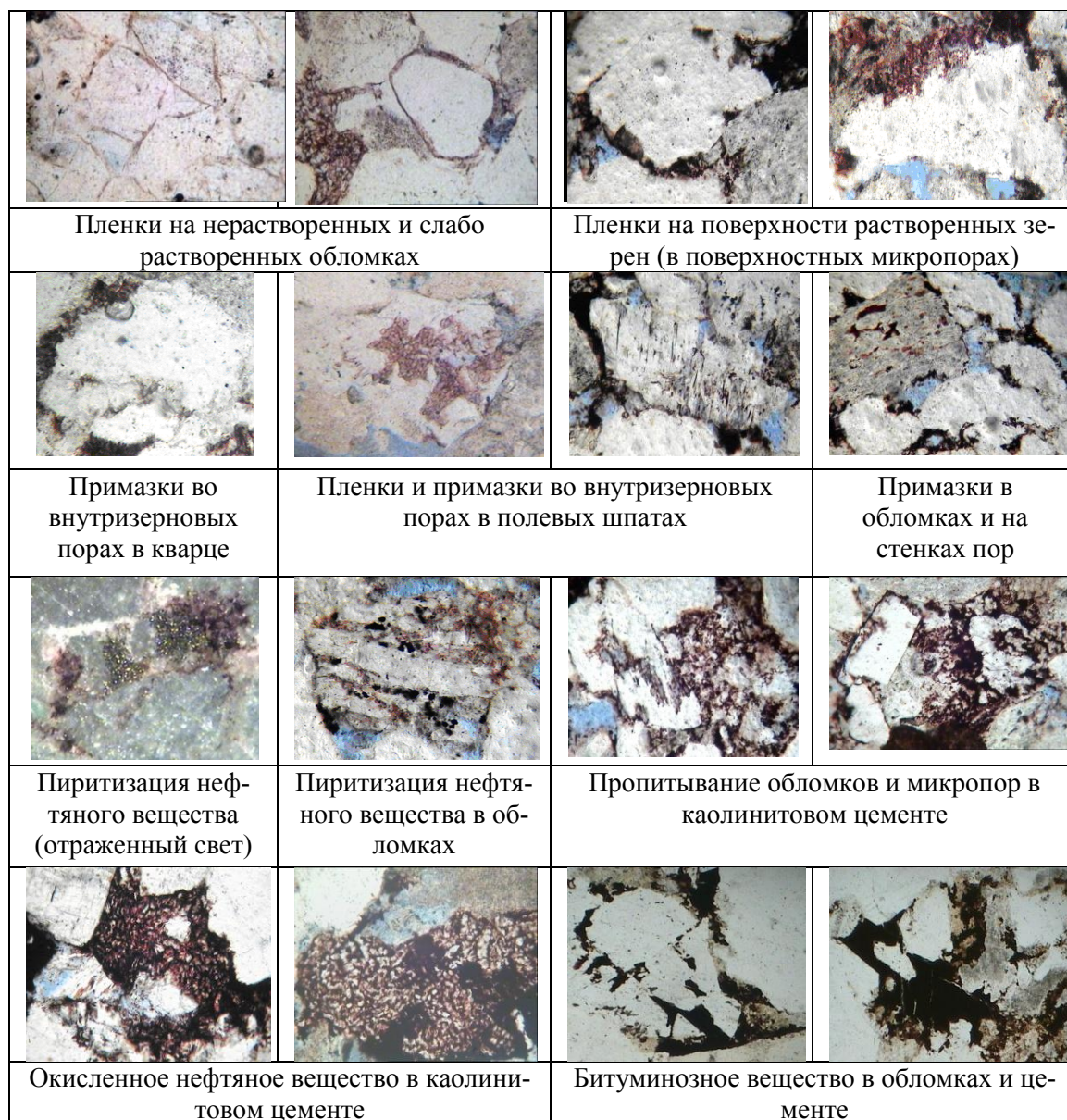


Рис. 67. Особенности проявления нефтенасыщения в песчаных породах

Нефтяное вещество проявляется в виде пленок и примазок на обломках, стенках пор, в трещинах; пропитывает мелкие поры в каолиновом цементе. Окисленный битум часто содержит тонкую сыпь пирита. Осаждение в порах более легкой нефти, как правило, не сопровождается растворением обломков и осуществляется пассивно в межзерновом и внутризерновом пространстве. Осаждение нефти более тяжелой по составу и более окисленной в подавляющем большинстве случаев происходит с предварительным растворением внутренних и поверхностных частей обломков, подновлением ранее образованных пор и возникновением новых пор, в том числе и на поверхности устойчивых к растворению кварцевых зерен.

### 5.3. Качественный петрографический анализ и описание терригенных пород-коллекторов в шлифах

Описание пород в шлифах проводится с целью получения подробной качественной характеристики текстурно-структурных особенностей, вещественного состава, вторичных изменений, пустотно-порового пространства и характера флюидонасыщения пород. При описании приводятся также сведения о количественных соотношениях и метрических характеристиках компонентов породы. Содержание компонентов определяется визуально (приблизительно или с помощью специальных трафаретов).

Метрические характеристики измеряются с помощью линейки (или сетки), встроенной в окуляр. Необходимым условием измерений является правильное определение их цены. Особенно это важно при постоянной смене окуляров и объективов. Цена деления рассчитывается с помощью объект-микрометра – линейки длиной 1 мм (цена деления 0,01 мм), нанесенной на кварцевую пластинку. Его помещают на столик микроскопа, фокусируют в проходящем не поляризованном свете, совмещают нулевую отметку шкал объект- и окуляр-микрометров и определяют, сколько делений окуляр-микрометра (или сетки) совпадает с длиной линейки объект-микрометра. Зная цену деления шкалы объект-микрометра, рассчитывают цену деления шкалы (сетки) окуляра. Например, 100 делений шкалы объект-микрометра поместилось в пределах 80 делений окуляр-микрометра.

По пропорции: 
$$\begin{array}{l} 100 - 1 \text{ мм} \\ 80 - x \text{ мм} \end{array}$$

путем простых операций ( $80 \cdot 1/100$ ) получаем значение цены деления шкалы окуляр-микрометра, равное 0,08 мм. Эту операцию достаточно провести один раз, записать цену деления окуляр-микрометра для объективов с разным увеличением в таблицу, и по необходимости обращаться к записанным данным.

Качественные исследования терригенных пород в шлифах проводятся следующим образом.

**1. *Определить цену деления окуляр-микрометра*** для объективов с разным увеличением.

**2. *Произвести предварительный просмотр.*** Под микроскопом при объективах с малыми увеличениями ( $2,5\times$ – $4\times$ ) просмотреть шлиф и определить предварительное название породы (точное название определяется в конце работы), описать согласно предложенной схеме (см. рис. 55) ее текстурно-структурные особенности, вещественный состав, включения, распределение пустот, характер нефтенасыщения. Выполнить с помощью микрометрической линейки окуляра необходимые измерения крупных элементов породы: толщину слойков, размеры конкреций, мощность прожилков и т.д.

**3. *Изучить структуру.*** Сменить объектив на большее увеличение (для изучения песчаных пород достаточно объектива с увеличением  $10\times$  и  $20\times$ ), изучить и описать структурные особенности породы: равномерность распределения, отсортированность, окатанность, пределы изменения и преобладающие размеры обломков, их количественное содержание (определяется приблизительно).

**4. *Изучить состав обломочной части.*** Изучение и описание обломочной части породы проводить в порядке убывания содержания компонентов: породообразующие, второстепенные, аксессуарные. В каждом разряде описание компонентов также проводить в порядке уменьшения их содержания.

При описании указывать название минерала (или породы), его содержание и характеристики, которые проявляются в них под микроскопом (размеры, окатанность, диагностические и оптические свойства, степень сохранности, вторичные изменения). По минеральному составу (соотношения содержаний кварца, полевых шпатов и обломков пород) определить название породы (рис. 63).

**5. Изучить контакты между зернами** в участках их бесцементного соединения. Определить и описать типы контактов: от преобладающих до встречающихся редко.

**6. Изучить цементы.** Определить приблизительное количество цементирующего материала, тип и состав цемента. Изучение и описание цементов проводить также в порядке убывания содержаний с указанием количества, особенностей распределения, диагностических и оптических свойств минералов, слагающих цемент, по возможности указать последовательность образования цементов.

**7. Изучить пустотно-поровое пространство.** Определить наличие или отсутствие пустот, при наличии пустот провести их типизацию (согласно разделу 5.5). Указать равномерность распределения, густоту, размеры сечений (для пор) и раскрытость (для трещин), морфологию (правильная, неправильная, щелевидная, овальная, треугольная, полигональная, заливообразная), степень извилистости сечений пор: линейные, слабо извилистые, сильно извилистые с плавными изгибами, зигзагообразные и т.д.), степень минерального заполнения.

**8. Изучить признаки нефтенасыщенности.** Определить наличие или отсутствие признаков нефтенасыщения. Описать характер распределения в породе, цвет, степень окисления, при наличии – особенности пиритизации.

**9. Проиллюстрировать описание пород** зарисовками и микрофотографиями, отражающими характерные их особенности.

Пример описания песчаной породы приведен ниже (раздел 5.4.5).

#### **5.4. Количественные петрографические исследования песчаных пород-коллекторов в шлифах**

Количественные характеристики пород измеряются в шлифе в случайных срезах. Достоинство метода заключается в его универсальности.

При количественном анализе определяется гранулометрический состав пород, процентное содержание тех или иных минеральных компонентов, входящих в состав обломочной части и цемента, оценивается доля пустотного пространства в общем объеме пород и т.д.

В зависимости от решаемых задач, исследования можно проводить как отдельно для каждого объекта, так для всех изучаемых объектов в комплексе.

При комплексных исследованиях измерения проводятся для всех измеряемых объектов одновременно по одним и тем же направлениям (линиям или сеткам подсчета), вследствие чего полученные результаты являются не только более полными, но и хорошо сопоставимыми между собой.

##### **5.4.1. Гранулометрический анализ пород в шлифах и методика его проведения**

Важнейшей структурной характеристикой терригенных пород-коллекторов является размер обломков или их гранулометрический состав. В рыхлых песчаниках он определяется путем рассеивания на ситах с разным размером ячеек, взвешиванием

каждой фракции и расчетом их процентного содержания от общего количества просеиваемого материала.

При анализе сцементированных пород, в связи с разрушением обломочных зерен при дезинтеграции и трудностью отделения обломочных зерен от цемента, этот метод малопригоден. Поэтому для плотно сцементированных пород гранулометрический анализ проводят в шлифах. Проведение анализа, регистрация и обработка данных гранулометрии осуществляется вручную или с помощью специальных компьютерных программ.

Гранулометрический анализ проводится с использованием разных подходов.

Наиболее часто используют измерения *всех сечений зерен*, находящихся в поле зрения, при этом размер обломков может быть измерен по-разному (рис. 68):

- вдоль длинной оси,
- вдоль короткой оси,
- попеременно вдоль длинной и короткой оси (размер в этом случае рассчитывают как среднеарифметическое значение).



Рис. 68. Способы измерения размеров обломков во всем поле зрения микроскопа

В каждом конкретном случае способ измерения обязательно указывается. Минимальное расчетное количество зерен должно быть равно 200 штукам. В шлифах мы имеем дело со срезами зерен, проходящими не всегда через их центр, и содержание мелких фракций будет завышаться, а крупных – занижаться. Для получения объективной картины нужно измеренный в шлифах размер умножить на 1,25.

Для проведения гранулометрического анализа по *случайным срезам* линейным способом на столик микроскопа прикрепляют специальное устройство – препаратодитель. Он снабжен держателем для шлифа (салазками), двумя линейками, расположенными под углом  $90^\circ$  друг к другу, и специальными винтами. Шлиф крепится в салазки и с помощью винтов может перемещаться по столику на определенную величину в вертикальном и горизонтальном направлениях.

Методика анализа сводится к следующему [36]. Шлиф (рис. 69) поперек слоистости породы пересекается рядом прямых параллельных линий – линий подсчета, располагающихся на одинаковом расстоянии и равномерно охватывающих шлиф. Расстояние между линиями выбирается по шкале препаратодителя с таким расчетом, чтобы одни и те же обломки пересекались линиями только один раз.

Линия подсчета совмещается с микрометрической линейкой окуляра. Последовательно слева направо по микрометру проводят замеры всех случайных срезов обломков (минералов и пород), попадающих в пределы линии подсчета.

Результаты измерений записывают в специальные таблицы, в которых проводится разбраковка зерен по фракциям. Для сравнимости данных, полученных ве-

совым и микроскопическим способами, пределы фракций соответствуют размеру сит, применяемых при весовом грананализе.

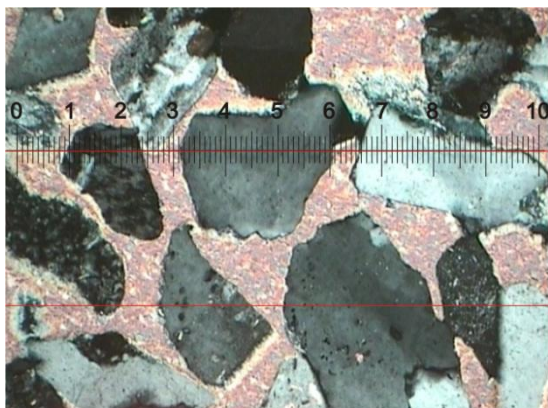


Рис. 69. Подсчетные линии и пересечение шлифа линейкой окуляра

Так как на линию подсчета попадает случайный срез зерна, часто не совпадающий с его длинной или короткой осью, определение пределов гранулометрической фракции, в которую попадает зерно, проводится как среднеарифметическое его длинной и короткой осей.

Процентное содержание той или иной фракции рассчитывается, исходя из суммарной длины всех измерений, принимаемой за 100 %, и суммарной длины измерений обломков, располагающихся в пределах каждой фракции.

Ход исследований при проведении количественного гранулометрического анализа заключается в следующем.

**1. Подобрать объектив.** Шлиф бегло просмотреть под микроскопом и подобрать объектив с таким увеличением, при котором обломки имеют четкие границы, а в поле зрения попадает сразу несколько обломков.

**2. Определить цену деления окуляр-микрометра.** Исходя из цены деления микрометрической линейки, рассчитать число делений для различных гранулометрических фракций: 1–0,8; 0,8–0,63; 0,63–0,5; 0,5–0,4; 0,4–0,32; 0,32–0,25; 0,25–0,2; 0,2–0,16; 0,16–0,125; 0,125–0,1; 0,1–0,08; 0,08–0,063; 0,063–0,05; 0,05–0,04; 0,04–0,032; 0,032–0,025; 0,025–0,016; <0,016, для чего последовательно умножить цену деления окулярной шкалы (в данном случае 0,08) на размеры фракций.

**3. Составить таблицу** из четырех граф: в первой графе построчно указываются размеры фракций (мм), во второй – число делений микрометрической линейки, пересчитанные на значения этих фракций; в третьей – размещаются измеренные значения сечений (в делениях), в четвертую – заносятся рассчитанные содержания фракций.

**4. Провести измерения.** В зависимости от выбранного способа, измерить короткие (длинные или короткие и длинные) оси 200 обломков. Результаты занести в таблицу (при способе, основанном на измерении длинной и короткой осей, в таблицу заносятся среднеарифметические значения).

**5. Провести подсчет фракционного состава.** Определить суммарную длину отрезков в каждой фракции (записать в соответствующих графах в нижней строчке) –  $\sum \text{обл}_{1-0,8}, \dots, \sum \text{обл}_{<0,016}$  и общую длину измеренных линий –  $\sum \text{обл}$ .

Рассчитать содержание каждой фракции по пропорции:

$$\frac{\sum \text{обл}}{\sum \text{обл}_{1-0,8}} = 100 \%;$$

$$\frac{\sum \text{обл}_{1-0,8}}{\sum \text{обл}_{1-0,8}} = x \%.$$

**6. Определить название породы.** Название породы дается, исходя из содержания фракций:

- крупнопесчаной – 0,5–1 мм;
- средпесчаной – 0,25–0,5 мм;
- мелкопесчаной – 0,1–0,25 мм;
- алевроитовой – 0,01–0,1 мм,



для чего подсчитать их количественные значения.

На первое место в названии ставится наименование фракции, содержание которой меньше, на последнее – наименование преобладающей фракции. Фракции с невысоким содержанием учитываются в названии как «примесь» или с помощью окончаний в словах:

- анный; -овый – содержание 25–50 %;
- истый – содержание менее 25 %.

Например, «песчаник средне-мелкозернистый алевритистый» означает, что песчаная фракция преобладает над алевритовой; а количество алевритового материала менее 25 %.

#### 5.4.2. Проведение количественного минералогического анализа

При проведении количественного минералогического анализа **1, 2** пункты аналогичны таковым при определении гранулометрии: подобрать объектив и определить цену деления окуляр-микрометра.

**3. Составить таблицу.** При проведении минералогического анализа, удобно пользоваться таблицей, состоящей всего из трех граф. В первой графе указываются названия измеряемых компонентов породы – сначала компонентов обломочной части, а затем компонентов цемента. Во второй графе в соответствии с этими компонентами перечисляются через запятую значения длин отрезков, пересеченных линейкой. В третьей – помещаются рассчитанные процентные содержания.

**4. Провести измерения.** Поместить шлиф в препаратодитель, ориентируя его таким образом, чтобы линейка окуляр-микрометра рассекала породу перпендикулярно слоистости.

Вращением винтов препаратодителя переместить шлиф на столике так, чтобы можно было измерять обломки по линиям слева направо, и линии считать сверху вниз. Первый обломок выбрать недалеко от края шлифа и, начиная из левого верхнего угла поля зрения, передвигаясь вправо, провести измерения сечений обломков и цемента, лежащих на линии подсчета.

**5. Результаты измерений занести в таблицу.**

**6. Рассчитать процентное содержание обломков в породе**, для чего:

- определить общую сумму всех измерений цемента и обломков, принимаемую за 100 % –  $\sum_{\text{ц}} + \sum_{\text{обл}}$ ;
- определить сумму измерений всех обломков ( $\sum_{\text{обл}}$ );
- рассчитать содержание обломков в породе, исходя из пропорции:

$$\frac{(\sum_{\text{ц}} + \sum_{\text{обл}}) - 100 \%}{\sum_{\text{обл}}} = x \%$$

**7. Рассчитать содержание каждого компонента в обломочной части породы:**

- определить сумму измерений каждого компонента обломков: кварца, полевых шпатов, обломков пород, слюд;
- исходя из суммарной линейной длины всех измеренных обломков ( $\sum_{\text{обл}}$ ), принимаемой за 100 %, по пропорции рассчитывают количество:
  - $\sum_{\text{кв.}}$  – кварца (%);
  - $\sum_{\text{п.ш.}}$  – полевых шпатов (%);
  - $\sum_{\text{о.п.}}$  – обломков пород (%);

-  $\Sigma$ сл. – слюд и т.д. относительно только содержания обломочных компонентов.

8. **Рассчитать содержание кварца, полевых шпатов и обломков пород** (без слюд, хлорита, глауконита и пр.). За 100 % принять суммарную длину сечений только этих трех компонентов.

9. **Определить название породы** по соотношению кварца, полевых шпатов и обломков пород, поместив соответствующие им фигуративные точки на треугольную диаграмму состава (рис. 68).

10. **Определить содержание цемента и его компонентный состав.** Рассчитать процентное содержание цемента как разницу между 100 % и определенным (пункт 6) содержанием обломков (в %); определить процентное содержание каждого компонента цемента (относительно  $\Sigma$ ц+ $\Sigma$ обл., принятую за 100 %); например:

$$\frac{\Sigma \text{ц} + \Sigma \text{обл} - 100 \%}{\Sigma \text{каолинита}} = x \%$$

### 5.4.3. Проведение количественного анализа пористости

При проведении количественного анализа пористости **1, 2** пункты аналогичны таковым при определении гранулометрии: подобрать объектив и определить цену деления окуляр-микрометра.

3. **Составить таблицу** с графами «Размеры сечений пор» и «Размеры сечений породы». В случаях, когда требуется оценка вклада в общую пористость различных типов пустот (внутризерновых и межзерновых пор, биопустот и т.д.), в таблицу вводятся дополнительные графы для конкретных типов.

4. **Провести измерения** всех сечений породы и пор, лежащих на линии подсчета.

5. **Результаты занести в таблицу.**

6. **Рассчитать значение пористости**, исходя из суммарной длины всех измерений – обломков, цемента и пор, принимаемой за 100 %, и суммарной длины измерений пор:

7. **Сопоставить результаты** количественного анализа с аналитическими значениями фильтрационно-емкостных (пористость и проницаемость) свойств пород.

8. **Определить класс коллектора** (по А.А. Ханину [35]).

### 5.4.4. Проведение комплексного количественного анализа породы

Комплексные количественные исследования в шлифах позволяют одновременно по одним и тем же подсчетным линиям проводить изучение гранулометрического, вещественного состава и пористость породы.

Анализ предусматривает измерение 200 зерен. При его проведении также требуется подобрать объектив и определить цену деления окуляр-микрометра (**1** и **2** пункты).

3. **Составить таблицу** с графами: «Размеры и состав обломков» и «Цемент, контакты, поры» (табл. 39). Верхнюю горизонтальную строку таблицы разделить на графы по количеству гранулометрических фракций.

Таблица 39

## Результаты количественного комплексного анализа песчаных пород

Размеры и состав обломков																				Цемент, поры, контакты
Размеры обломков (деления)	100-80	80-63	63-50	50-40	40-32	32-25	25-20	20-16	16-12,5	12,5-10	10-8	8-6,3	6,3-5	5-4	4-3,2	3,2-2,5	2,5-2	2-1,6	<1,6	
Размеры обломков – фракции (мм)	1-0,8	0,8-0,63	0,63-0,5	0,5-0,4	0,4-0,32	0,32-0,25	0,25-0,20	0,20-0,16	0,16-0,125	0,125-0,1	0,1-0,08	0,08-0,063	0,063-0,05	0,05-0,04	0,04-0,032	0,032-0,025	0,025-0,020	0,020-0,016	<0,016	
$\sum z=$																				
$\sum z=$																				
$\sum z=$																				
$\sum z=$																				
$\sum z=$																				
$\sum z=$																				
$\sum z=200$																				
Гранулометрия	$\sum_{1-0,8} =$	$\sum_{0,8-0,63} =$	$\sum_{0,63-0,5} =$	$\sum_{0,5-0,4} =$	$\sum_{0,4-0,32} =$	$\sum_{0,32-0,25} =$	$\sum_{0,25-0,2} =$	$\sum_{0,20-0,16} =$	$\sum_{0,16-0,125} =$	$\sum_{0,125-0,1} =$	$\sum_{0,1-0,08} =$	$\sum_{0,08-0,063} =$	$\sum_{0,063-0,05} =$	$\sum_{0,05-0,04} =$	$\sum_{0,04-0,032} =$	$\sum_{0,032-0,025} =$	$\sum_{0,025-0,02} =$	$\sum_{0,02-0,016} =$	$\sum_{<0,016} =$	
Состав обломков	Кварц				Полевые шпаты				Обломки пород				Слюды				$\sum_{\text{цемент}} =$ $\sum_{\text{пор}} =$ $\sum_{\text{конт.}} =$			
	$\sum$	%			$\sum$	%			$\sum$	%			$\sum$	%						

Занести в них в указанной последовательности (от больших значений к меньшим) слева направо полученные значения (в делениях шкалы).

Во второй строке указать соответствующие им значения фракций (в мм). Вверху таблицы подписать номер шлифа, увеличение, при котором проводился анализ, и способ его проведения: по длинной оси, по короткой оси, по длинной и короткой осям.

**4. Провести измерения** последовательно всех компонентов породы: обломков, цементов, пор; при бесцементном соединении обломков выявить тип контактов между ними. Сечения обломков измеряются в 3-х направлениях: по подсчетной линии, по короткой оси, по длинной оси).

**5. Результаты замеров** занести в таблицу.

*Размер обломков* указывается в делениях по измеренному сечению на линии подсчета. Но заносится в графу «Размер обломков» по среднеарифметическому значению, рассчитанному по его длинной и короткой оси. Например, на линии подсчета сечение обломка равно 12 делениям; его длинная ось – равна 24 делениям, короткая ось – 16 делениям. Среднеарифметическое значение размеров обломка равно 21 делению:  $(24+16)/2=21$ . Поэтому цифру 12 (измеренное сечение по линии подсчета) записывают в графу 25–20 (размеры в делениях).

*Состав обломков* отражается в таблице с помощью условных знаков, которые выбираются самостоятельно и обязательно расшифровываются ниже таблицы. Рекомендуемые условные знаки:

- кварц – цифра в синем кружке;
- плагиоклазы – цифра в сером прямоугольнике;
- калиевые полевые шпаты – цифра в сером квадрате;
- слюды – цифра в желтом прямоугольнике и т.д.

Для обработки данных в компьютерном варианте существуют специальные программы, при необходимости их можно разработать самостоятельно.

*Количество и состав цемента* заносятся в графу «Цементы, контакты, поры» без учета поправки и с помощью условных знаков. Рекомендуемые условные знаки для обозначения состава цемента:

- неразделенный глинистый – цифра в сером кружке;
- кальцитовый – цифра в розовом ромбе;
- сидеритовый – цифра в коричневом ромбе;
- каолиновый – цифра в сером квадрате;
- кварцевый – цифра в синем кружке;
- гидрослюдистый – цифра в желтом кружке;
- хлоритовый – цифра в зеленом кружке и т.д.

*Типы контактов* также заносятся в графу условными знаками. Рекомендуемые обозначения:

- точечный контакт – ●;
- волнистый контакт – ≈;
- линейный контакт – —.

*Сечения пор* записываются цифрой в ту же колонку «Цементы, поры, контакты» таблицы без условного обозначения.

**6. Провести подсчет фракционного состава.**

**7. Определить название породы по структурным особенностям.**

**8. Рассчитать процентное содержание обломков и цемента, а также содержание отдельных компонентов в их составе.**

9. **Рассчитать содержание кварца, полевых шпатов и обломков пород и определить название породы** по соотношению породообразующих компонентов.

10. **Установить преобладающий тип контактов и сделать выводы о степени катагенетического уплотнения породы.** Определить *параметры контактности ( $P_k$ ), плотности ( $P_{пл}$ ) и упаковки ( $P_y$ )* зерен. Для количественного выражения взаимоотношения зерен они определяются по формулам:

$$1) \quad P_k = \frac{q}{n}, \quad \text{где}$$

$q$  – количество контактов между зернами, пересеченных линейкой;  
 $n$  – общее количество зерен, пересеченных линейкой;

$$2) \quad P_{пл} = \frac{\sum_{i=1}^n q_i}{t}, \quad \text{где}$$

$q_i$  – число делений микрометрической линейки, приходящееся на обломочные зерна;  
 $t$  – общая длина микрометрической линейки;

$$3) \quad P_y = \frac{P_k}{P_{пл}}$$

11. **Рассчитать значение пористости** и сделать предварительную оценку коллекторских свойств.

#### 5.4.5. Пример описания шлифа при проведении комплексного петрографического анализа в шлифах

**Скважина Полярная 1. Шлиф № 2553, глубина отбора 3441,19 м**  
**Песчаник среднезернистый аркозовый с поровым кальцит-каолинитовым цементом, пористый, нефтенасыщенный**

**Текстура** однородная, скрытослоистая с одинаковой ориентировкой слагающего породу материала.

**Структура** псаммитовая от крупно- до мелкозернистой и алевритовой. Содержание фракций: 0,8–0,5 мм – 17 %; 0,5–0,315 мм – 42 %; 0,315–0,25 мм – 10 %; 0,25–0,2 мм – 9 %; 0,2–0,16 мм – 7 %; 0,16–0,125 мм – 6 %; 0,125–0,1 мм – 3 %; 0,1–0,08 мм – 2 %; 0,08–0,05 мм – 1 %; 0,05–0,01 мм – 0,5 %; <0,01 мм – 0,5 %. Медианный диаметр зерен 0,37 мм; максимальный – 0,78 мм. Обломки составляют 88 % от площади шлифа, распределены равномерно, сортировка хорошая ( $S_0=1,89$ ). Обломочный материал окатан хорошо и средне, реже встречаются слабо и плохо окатанные зерна. Морфология обломков неправильная, удлинённая (полевые шпаты), иногда изометрическая.

**Состав обломочной части:** кварц – 46 %, полевые шпаты – 36 %, породы (кремнистые, эффузивы, гранитоиды, сланцы) – 16 %, слюды – 2 %.

**Кварц** представлен хорошо средне окатанными зернами размером 0,7–0,1 мм. Они обычно бесцветные прозрачные, нередко мутные за счет многочисленных пылеватых включений. Зерна имеют прямое, волнистое, но чаще мозаичное погасание, изредка содержат включения мелких кристаллов циркона. Часть зерен по краям

тонко гранулирована и содержит ориентированные тонкие чешуйки серицита. Обломки зачастую регенерированы с образованием неполных и полных регенерационных каемок. В открытых порах отмечается регенерация зерен с образованием ровных граней. В участках плотного прилегания зерен регенерация приводит к образованию кварцитоподобных агрегатов, в которых зерна спаяны вторичным кварцем. Отдельные обломки содержат тонкую сыпь и трещины, заполненные пиритом. Зерна часто катаклазированы, катаклиз заключается в изменении оптической ориентировки и мозаичном погасании, в растрескивании с образованием многочисленных трещин, иногда по трещинам осуществляется растворение и грануляция. Грануляция наблюдается также в участках коррозии зерен, иногда она сопровождается нарастанием шиповатых иголок слюды.

*Полевые шпаты* присутствуют в окатанных и слабо окатанных зернах, которые имеют размеры, близкие к размеру кварцевых зерен (0,68–0,21 мм). Они относятся к кислым плагиоклазам (14 %) и калиевым полевым шпатам (22 %). Преобладают обломки калиевых полевых шпатов пертитового строения. Зерна их пелитизированы, часто содержат беспорядочную и приуроченную к пертитовым вроскам и трещинам спайности сыпь пирита. Встречаются обломки не измененных микроклинов решетчатого строения. Зерна плагиоклазов часто тонко полисинтетически сдвойникованы. По углу максимального симметричного погасания двойников, меняющемуся от 0° до +10°, плагиоклазы относятся к олигоклазу № 20–28. Зерна чистые, серицитизированные и пиритизированы: пирит образует беспорядочную тонкую сыпь и заполняет трещины спайности и двойниковые швы. Серицитизация неравномерная: от точечных включений до полного замещения зерен серицитом. Отдельные обломки плагиоклазов содержат рассеянную кальцитовую сыпь. Сильно измененные зерна полевых шпатов составляют – 22 %, среднеизмененные – 9 %, слабо- и не измененные – 5 %.

*Кремнистые породы* представлены разнокристаллическими кремнями (3 %), радиоляритами (2 %), яшмами (2 %) , микрограно- и лепидобластовыми кварцитами (1 %).

*Эффузивы* (4 %) имеют средний и кислый состав. Эффузивы среднего состава сложены беспорядочно ориентированными лейстами плагиоклазов, содержат лейкоксенизированную рудную сыпь и хлорит, иногда ожелезнены; кислые разновидности сложены раскристаллизованным кремнисто-хлоритовым материалом.

*Сланцы* (3 %) сложены лепидобластовым глинисто-хлорит-мусковитовым агрегатом.

*Обломки гранитоидов* (1 %) представлены микропегматитами (закономерные прорастания кварца в полево шпате) и мирмекитами – червеобразные выделениями кварца в полевых шпатах.

*Слюды* представлены зеленым биотитом (2 %), часто хлоритизированным, гидратизированным, содержащим тонкую сыпь магнетита и удлиненными пластинками мусковита, гидратизированными по краям и иногда замещающимися каолинитом. Часто сильно измененные пластинки биотита приспособляются к межзерновому пространству и практически выполняют роль порового цемента.

*Акцессорные минералы* представлены цирконом, гранатами, турмалином.

*Цемент* составляет 12 %, тип цемента поровый, участками пленочный. Состав цемента каолиновый (7 %) с неравномерно распределенным кальцитом (2 %), сидеритом (1 %), кварцем (1 %) и примесью (1 %) других компонентов: неразделенного глинистого материала (0,3 %), пирита (0,2 %), гидрослюды (0,2 %), хлорита

(0,2 %), лейкоксена (0,1 %). Цементный кварц чистый и от обломочных зерен кварца отделяется часто слабозаметной тонкой полоской, содержащей микроскопические пылеватые включения. В бесцементных участках обломки сцементированы способом приспособления (конформации) и взаимопроникновения (инкорпорации) с образованием вогнутых (77 %), точечных (17 %) и линейных (6 %) контактов; коэффициент контактности равен 0,162; плотности – 0,837; упаковки – 0,194.

**Пустотное пространство** развито равномерно, складывается из межзерновых и внутризерновых пор и микропор в каолиновом цементе, сечения пор варьируют от 0,01 до 0,41 мм; пористость составляет 16,3 %.

**Межзерновые поры** резко преобладают. Они имеют разную конфигурацию, осложнены вторичными минералами, часто из-за регенерации имеют ровные края. Сечения межзерновых пор от 0,015 до 0,41 мм.

**Внутризерновые поры** образованы как при катаклазе под давлением соседних зерен, так и при процессах растворения; чаще всего они встречаются в полевых шпатах, но иногда отмечаются в обломках эффузивов и кремнистых пород. Размеры внутризерновых пор менее 0,01 мм.

Микропористость в каолиновом цементе из-за неравномерного развития последнего в целом по шлифу встречается неравномерно.

**Признаки нефтеносности** заключаются в развитии примазок нефти по трещинам и в пустотах обломков. Нефтяное вещество окислено и ассоциирует с пиритом. Пленки нефти отмечаются также на границе материнского зерна и регенерационной каймы в кварцевых зернах, внутри кальцитового цемента, что свидетельствует о вторичной цементации породы при разрушении залежи в зоне древнего водо-нефтяного контакта и его миграции вверх по разрезу [52, 55].

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

### Основная

1. Алексеев В.П. Литология: учебное пособие. – Екатеринбург: Изд-во УГГА, 2001 – 249 с.
2. Атлас структурных компонентов карбонатных коллекторов. / Н.К. Фортунатова, О.А. Карцева, А.В. Баранова и др. – М.: ВНИГНИ, 2005. – 440 с.
3. Багринцева К.И. Карбонатные породы-коллекторы нефти и газа. – М.: Недра, 1977. – 257 с.
4. Бурлин Ю.К., Конюхов А.И., Карнющина Е.Е. Литология нефтегазоносных толщ: учебное пособие для вузов. – М.: Недра, 1991. – 286 с.
5. Бетехтин А.Г. Курс минералогии. – М.: Госгеолтехиздат, 1961. – 540 с.
6. Вильямс Х., Тернер Ф. Дж., Гилберт Ч.М. Петрография. Ч. 2. Осадочные породы. – М.: Мир, 1985. – с. 5–154.
7. Гринсмит Дж. Петрология осадочных пород. – М.: Мир, 1981. – 180 с.
8. Дмитриев С.Д. Основы петрографии кристаллических горных пород. Часть I. Методы кристаллооптических исследований: учебное пособие. – Якутск: Изд-во Якутского государственного университета, 1978. – 108 с.
9. Залищак Б.Л., Бурилина Л.В., Кипаренко Р.И. Определение породообразующих минералов в шлифах и иммерсионных препаратах. – М.: Недра, 1981. – 152 с.
10. Калинин М.К. Методика исследования коллекторских свойств кернов. – М.: Госуд. науч.-техн. изд-во нефтяной и горно-топливной литературы, 1963. – 225 с.
11. Киркинская В.Н., Смехов Е.М. Карбонатные породы-коллекторы нефти и газа. – Л.: Недра, 1981. – 255 с.
12. Князев В.С., Кононова И.Б. Руководство к лабораторным занятиям по общей петрографии: учебное пособие для вузов. – М.: Недра, 1991. – 128 с.
13. Кузнецов В.Г. Литология карбонатных пород-коллекторов: учебное пособие. – М.: МИНГ, 1986. – 80 с.
14. Кочурова Р.Н. Основы практической петрографии. – Л.: Изд-во Ленингр. ун-та, 1977. – 176 с.
15. Лапинская Т.А., Прошляков Б.К. Основы петрографии. – М.: Недра, 1981. – 232 с.
16. Логвиненко Н.В. Петрография осадочных пород (с основами методики исследования): учебник для студентов геол. спец. вузов. – М.: Высшая школа, 1984. – 416 с.
17. Логвиненко Н.В., Сергеева Э.И. Методы определения осадочных пород: учебное пособие для вузов. – Л.: Недра, 1986. – 240 с.
18. Лодочников В.Н. Главнейшие породообразующие минералы. Издание 5-е, испр. и доп. // Под ред. В.С. Соболева. – М.: «Недра», 1974. – 248 с.
19. Маслов А.В. Осадочные породы: методы изучения и интерпретации полученных данных. – Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2005. – 289 с.
20. Наумов В.А. Оптическое определение компонентов осадочных пород. – М.: Недра, 1981. – 200 с.
21. Оникиенко С.К. Методика исследования породообразующих минералов в прозрачных шлифах. – М.: Недра, 1971. – 128 с.
22. Осадочные породы (классификация, характеристика, генезис) / Ю.П. Казанский, А.Ф. Белоусов, В.Г. Петров и др. – Новосибирск: Наука, 1987. – 213 с.



23. Петрография осадочных пород / Под ред. Г.Б. Мильнера. – М.: Недра, 1968. – Т. 1 – 500 с. – Т. 2 – 665 с.
24. Петрология I. Основы кристаллооптики и породообразующие минералы. / А.А. Маракушев, А.В. Бобров, Н.Н. Перцев, А.Н. Феногенов. – М.: Научный Мир, 2000. – 316 с.
25. Петтиджон Ф.Дж. Осадочные породы: Пер. с англ. – Недра, 1981. – 751 с.
26. Платонов М.В., Тугарова М.А. Петрография обломочных и карбонатных пород: Учебно-методическое пособие. – СПб., 2004. – 72 с.
27. Прошляков Б.К., Кузнецов В.Г. Литология: Учебник для вузов. – М.: Недра, 1991. – 444 с.
28. Пустовалов Л.В. Петрография осадочных пород. М. – Л.: Гостоптехиздат, 1940. – Т.3. – 63 с.
29. Справочник по литологии. / Под ред. Н.Б. Вассоевича, В.И. Марченко. – М.: Недра, 1983. – 509 с.
30. Трегер В.Е. Оптическое определение породообразующих минералов. М: Недра, 1980. – 208 с.
31. Тугарова М.А. Породы-коллекторы: Свойства, петрографические признаки, классификации: учебно-методич. пособие. – СПб., 2004. – 36 с.
32. Флоренский П.В., Милосердова Л.В., Балицкий В.П. Основы литологии: учебное пособие. – М.: РГУ Нефти и газа им. И.М. Губкина, 2003. – 105 с.
33. Фролов В.Т. Руководство к лабораторным занятиям по петрографии осадочных пород. – М.: Изд-во МГУ, 1964. – 311 с.
34. Фролов В.Т. Литология: Учебное пособие. – М.: Изд-во МГУ. – кн. 1, 1992. – 336 с.; кн. 2, 1993. – 432 с.; кн. 3, 1995. – 352 с.
35. Ханин А.А. Породы-коллекторы нефти и газа и их изучение. – М.: Недра, 1969. – 368 с.
36. Черников О.А. Литологические исследования в нефтепромысловой геологии. – М.: Недра, 1981. – 236 с.
37. Шванов В.Н. Песчаные породы и методы их изучения. – Л.: Недра, 1969. – 248 с.
38. Шванов В.Н. Петрография песчаных пород. – Л.: Недра, 1987. – 269 с.
39. Швецов М.С. Петрография осадочных пород. – М.: Госгеолтехиздат, 1958. – 416 с.
40. Япаскерт О.В., Карпова Е.В., Ростовцева Ю.В. Литология. Краткий курс (избранные лекции): учебное пособие. – М.: Изд-во МГУ, 2004. – 228 с.
41. Япаскерт О.В. Литология: учебник для студентов высших учебных заведений. – М.: Изд-во центр «Академия», 2008. – 336 с.

#### **Дополнительная**

42. Атлас текстур и структур осадочных горных пород. Т.1. Обломочные и глинистые породы / Е.В. Дмитриева, Г.И. Ершов, Е.И. Орешкова и др. / Под ред. А.В. Хабакова. – М.: Госгеолтехиздат, 1962. – 578 с.
43. Атлас текстур и структур осадочных горных пород. Т.2. Карбонатные породы / Е.В. Дмитриева, Г.И. Ершов, В.Л. Либрович и др. / Под ред. А.В. Хабакова. – М.: Недра, 1969. – 655 с.
44. Багринцева К.И., Дмитриевский А.Н., Бочко Р.А. Атлас карбонатных коллекторов месторождений нефти и газа Восточно-Европейской и Сибирской платформ. / Под редакцией К.И. Багринцевой. – М., 2003. – 264 с.

45. Бакиров А.А., Мальцева А.К. Литолого-фациальный и формационный анализ при поисках и разведке скоплений нефти и газа: Учебное пособие для вузов. – М.: Недра, 1985. – 159 с.
46. Безбородов Р.С. Краткий курс литологии. – М.: Изд-во РУДН, 1989. – 313 с.
47. Бетхер О.В., Вологодина И.В. Осадочные горные породы. Систематика и классификации: учебное пособие. – Томск: Изд-во ТГУ, 2007. – 171 с.
48. Бурлин Ю.К. Природные резервуары нефти и газа: учебное пособие. – М.: Изд-во МГУ, 1976. – 136 с.
49. Ежова А.В. Литология: учебник. – Томск: Изд-во ТПУ, 2009. – 336 с.
50. Иванова Г.М., Столбова Н.Ф. Практикум по петрографии осадочных пород. – Томск: Изд-во ТПУ, 1992. – 120 с.
51. Музафаров В.Г. Определитель минералов, горных пород и окаменелостей. – М.: Недра, 1979. – 327 с.
52. Недоливно Н.М. Исследование керна нефтегазовых скважин: практикум для выполнения учебно-научных работ студентами направления «Прикладная геология». – Томск: Изд-во ТПУ, 2008. – 156 с.
53. Петтиджон Ф.Дж., Поттер П., Сивер Р. Пески и песчаники: Пер. с англ. – М.: Мир, 1976. – 536 с.
54. Рухин Л.Б. О классификации обломочных частиц и слагаемых ими пород // Вестн. Ленингр. ун-та., 1956. – № 24. – С. 57–80
55. Сахибгареев Р.С. Вторичные изменения коллекторов в процессе формирования и разрушения нефтяных залежей. – Л.: Недра, 1989. – 260 с.
56. Систематика и классификация осадочных пород и их аналогов / В.Н. Шванов, В.Т.Фролов, Э.И. Сергеева и др. – СПб: Недра, 1998. – 352 с.
57. Смехов Е.М. Теоретические и методические основы поисков трещинных коллекторов нефти и газа. – Л.: Недра, 1974. – 200 с.
58. Столбова Н.Ф. Введение в оптическую минералогия: учебное пособие. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2007. – 91 с.
59. Теодорович Г.И. Аутигенные минералы осадочных пород. – М.: Изд-во АН СССР, 1958. – 225 с.
60. Шутов В.Д. Классификация песчаных пород // Литология и полезные ископаемые. – 1967. – № 5. – С. 86–103.
61. Юбельт Р., Шрайтер П. Определитель минералов. – М.: Мир, 1978. – 328 с
62. Япаскерт О.В. Стадиальный анализ литогенеза: учебное пособие. – М.: Изд-во МГУ, 1995. – 142 с.

#### **Сайты интернета**

63. [http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/e/eb/k\\_feldspar\\_replacement.jpg](http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/e/eb/k_feldspar_replacement.jpg)
64. <http://www.graphicon.ru/proceedings/2010/conference/RU/Se5/04.pdf>
65. <http://www.geo.sfedu.ru/ucheb/petro>

## ОГЛАВЛЕНИЕ

С.

<b>ВВЕДЕНИЕ</b> .....	3
1. <b>ПЕТРОГРАФИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ПОРОД</b> .....	4
1.1. Задачи, решаемые петрографическими исследованиями.....	4
1.2. Шлифы и способы их изготовления.....	4
1.3. Поляризационный микроскоп и его устройство.....	6
2. <b>ОСНОВЫ КРИСТАЛЛООПТИКИ</b> .....	10
2.1. Поляризация света.....	10
2.2. Оптическая индикатриса.....	11
3. <b>ИЗУЧЕНИЕ МИНЕРАЛОВ ПОД МИКРОСКОПОМ</b> .....	14
3.1. Диагностические признаки минералов, определяемые в проходящем свете при одном никеле.....	14
3.2. Диагностические признаки минералов, определяемые в проходящем поляризованном свете.....	22
3.3. Диагностические признаки минералов, определяемые в сходящемся свете (коноскопия).....	28
4. <b>ДИАГНОСТИЧЕСКИЕ ПРИЗНАКИ И ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МИНЕРАЛЬНЫХ КОМПОНЕНТОВ ПЕСЧАНЫХ И КАРБОНАТНЫХ ПОРОД</b> .....	31
4.1. Диагностические признаки и оптические свойства минералов группы кварца.....	31
4.2. Диагностические признаки и оптические свойства полевых шпатов.....	37
4.3. Характеристика обломков пород, часто встречаемых в песчаниках.....	48
4.4. Диагностические признаки и оптические свойства второстепенных минералов.....	56
4.5. Диагностические признаки и оптические свойства аксессуарных минералов.....	65
4.6. Диагностические признаки и оптические свойства аутигенных минералов.....	79
4.7. Диагностические признаки и оптические свойства глинистых минералов.....	84
4.8. Диагностические признаки и оптические свойства карбонатных минералов.....	89
4.9. Диагностические признаки и оптические свойства минералов соляных пород.....	96
5. <b>ИЗУЧЕНИЕ ТЕРРИГЕННЫХ ПОРОД-КОЛЛЕКТОРОВ</b> .....	102
5.1. Классификация и составные части терригенных пород.....	102
5.2. Схема изучения и описания терригенных пород-коллекторов.....	105
5.2.1. Название и цвет пород.....	105
5.2.2. Текстура пород.....	106
5.2.3. Структура пород.....	106

5.2.4.	Состав обломочной части.....	113
5.2.5.	Цементы в песчаных и алевритовых породах.....	115
5.2.6	Органические остатки.....	120
5.2.7.	Пустотное пространство.....	123
5.2.8.	Признаки нефтеносности.....	126
5.3.	Качественный петрографический анализ и описание терригенных пород-коллекторов в шлифах.....	128
5.4.	Количественные петрографические исследования песчаных пород-коллекторов в шлифах.....	129
5.4.1.	Гранулометрический анализ пород в шлифах и методика его проведения.....	129
5.4.2.	Проведение количественного минералогического анализа.....	132
5.4.3.	Проведение количественного анализа пористости.....	133
5.4.4.	Проведение комплексного количественного анализа породы.....	133
5.4.5.	Пример описания шлифа при проведении комплексного петрографического анализа в шлифах.....	136
6.	<b>ИЗУЧЕНИЕ КАРБОНАТНЫХ ПОРОД–КОЛЛЕКТОРОВ.....</b>	138
6.1.	Классификация карбонатных пород.....	138
6.2.	Пустотное пространство карбонатных коллекторов.....	146
6.3.	Признаки нефтеносности в карбонатных коллекторах.....	154
6.4.	Описание карбонатных пород-коллекторов в шлифах.....	154
7.	<b>КОЛЛЕКТОРСКИЕ СВОЙСТВА ПОРОД. КЛАССИФИКАЦИИ КОЛЛЕКТОРОВ.....</b>	156
7.1.	Емкостные свойства пород.....	156
7.2.	Фильтрационные свойства пород.....	158
7.3.	Типы коллекторов и их классификация.....	159
7.4.	Изучение пустотно-порового пространства и обоснование типа коллектора.....	166
	<b>СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....</b>	167

Учебное издание

НЕДОЛИВКО Наталья Михайловна  
ЕЖОВА Александра Викторовна

**ПЕТРОГРАФИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ  
ТЕРРИГЕННЫХ И КАРБОНАТНЫХ  
ПОРОД-КОЛЛЕКТОРОВ**

Учебное пособие

**Издано в авторской редакции**

Научный редактор *доктор геол.-минерал. наук,*  
*профессор А.К. Мазуров*  
Дизайн обложки *Н.М. Недоливко*


**Отпечатано в Издательстве ТПУ в полном соответствии  
с качеством предоставленного оригинал-макета**

Подписано к печати . Формат 60x84/8. Бумага «Снегурочка».  
Печать XEROX. Усл. печ. л.. Уч.-изд. л..  
Заказ . Тираж 100 экз.



Национальный исследовательский Томский политехнический университет  
Система менеджмента качества  
Издательства Томского политехнического университета сертифицирована  
NATIONAL QUALITY ASSURANCE по стандарту BS EN ISO 9001:2008



**ИЗДАТЕЛЬСТВО**  **ТПУ** . 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30  
Тел./факс: 8(3822)56-35-35, www.tpu.ru