МИНИСТЕРСТВО ГЕОЛОГИИ СССР

Всесоюзный ордена Трудового Красного Знамени нефтяной геологоразведочный научно-исследовательский институт

(ВНИГРИ)

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

ПО ДРОБНОМУ ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКОМУ АНАЛИЗУ СЕДИМЕНТАЦИОННЫМ СПОСОБОМ

(с применением гидравлического седиментатора ГС-1)

ЛЕНИНГРАД 1989

Lithology.ru

УДК 662.751: 681.3

Методические указания по дробному гранулометрическому анализу седиментационным способом (с применением гидравлического седиментатора ГС-1)
Л.: ВНИГРИ, 1989. 181 с.

Ответственный редактор
К.К. ГОСТИНЦЕВ

Одобрено Главным научно-техническим управлением Министерства геологии СССР

© Всесоюзный ордена Трудового Красного Знамени нефтяной научно-исследовательский геологоразведочный институт (ВНИГРИ), 1989.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение 6
I. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ МЕТОДИКИ ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКОГО АНАЛИЗА ПОРОД 8
I.I. Общие сведения 8
I.2. Основные теоретические положения осаждения твердых частиц в неподвижной жидкой среде 22
2. ОТБОР ПРОБ И ИХ ПОДГОТОВКА К ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКОМУ АНАЛИЗУ 32
2.I. Отбор проб 32
2.2. Осмотр образцов и керна в лаборатории 34
2.3. Макроскопическое описание образцов и керна в лаборатории 35
2.4. Вес пробы для гранулометрического анализа 36
2.5. Подготовка проб к гранулометрическому анализу 37
2.5.I. Общие сведения 37
2.5.2. Удаление органического вещества 38
2.5.3. Экстрагирование нефти, газа и битуминозных веществ 39
2.5.4. Дезинтеграция (дезагригация) 39
2.5.5. Пептизация и диспергация 42
2.5.6. Отмучивание 43
2.6. Способ подготовки проб до агрегатного состояния 48
2.7. Способ подготовки рыхлых и слабосцементированных образцов до дисперсного (с распадом на первичные частицы) состояния 48
2.8. Способ подготовки образцов плотных обломочных пород до дисперсного состояния с распадом на первичные частицы 50
2.9. Подготовка образцов к особому виду так называемому гранулометрическому анализу "по кварцу" 51
3. КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО СЕДИМЕНТАТОРА ГС-I 53
3.I. Назначение и область применения 53
3.2. Технические характеристики 53
3.3. Устройство и принцип работы седиментатора ГС-I 56
3.3.I. Устройство седиментатора ГС-I 56
3.3.2. Принцип работы седиментатора ГС-I 61
3.3.3. Схема электрическая принципиальная пульта управления 62
3.3.4. Принцип работы схемы - пульта управления 64

3.4. Указание мер безопасности при эксплуатации и обслуживании седиментатора ГС-I 67
3.5. Указание по сборке и размещению 67
3.6. Определение (градуировка) высоты столба эмульсии со взвешенными частицами, последовательно сливаемой в сборные емкости 70
3.7. Ход работы по дробному разделению сыпучего материала проб 78
3.8. Техническое обслуживание 82
3.9. Возможные неисправности и способы их устранения ... 83
3.I0. Рациональная дробность седиментационного разделения материала 84
3.II. Использование седиментатора для разделения материала по шкале с другим шагом 87
3.I2. Сравнение результатов дробной классификации одних и тех же проб с помощью седиментатора ГС-I и стандартного набора сит 88
3.I3. Воспроизводимость результатов гранулометрического анализа с применением седиментатора ГС-I 92
4. МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА И ИНТЕРПРЕТАЦИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ДРОБНОГО ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКОГО АНАЛИЗА ... 100
4.I. Вводная часть 100
4.2. Основные цели и методы обработки гранулометрических данных 101
4.3. Алгоритмы и программа предварительной обработки результатов дробного гранулометрического анализа 106
4.4. Статистические алгоритмы интерпретации фациальных обстановок, построенные по результатам дробного гранулометрического анализа 122
4.5. Статистические алгоритмы определения фациальной классификации образцов по результатам гранулометрического анализа 126
4.6. Оценка эффективности алгоритмов распознавания 129
4.7. Программы определения фациальной классификации образцов по результатам гранулометрического анализа 131
4.8. Пример использования алгоритмов и программ фациальной классификации на основе статистических моделей, построенных по результатам гранулометрического анализа современных отложений 138

5. ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ИНТЕРПРЕТАЦИЯ ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКИХ СТАТИСТИК 147
5.I. Появление наиболее крупнозернистого класса (ПНКК) ... 147
5.2. Сумма песчаных классов (СПК) 148
5.3. Статистические характеристики эмпирических распределений 149
5.3.I. Средний размер зерен эмпирического распределения гранулометрического состава 149
5.3.2. Меры сортированности осадков: стандарт, вариация, энтропия и энтропийная мера сортировки 150
5.3.3. Меры отклонения эмпирических распределений от теоретических логнормальных распределений... 152
5.4. Генетическая весовая диаграмма асимметрия-эксцесс (As - Ex) 154
5.4.I. Основные положения 154
5.4.2. Эталонная генетическая весовая диаграмма асимметрия-эксцесс (As - Ex) 156
5.4.3. Пример анализа распределения точек-проб современных отложений на диаграмме асимметрия-эксцесс (As - Ex) 162
5.5. Примеры анализа генетических диаграмм среднее-стандарт и среднее-энтропийная мера 163
5.6. Пример интерпретации результатов исследований гранулометрического состава древних отложений Муравленковской площади Западно-Сибирской нефтегазоносной провинции 165
6. ОРГАНИЗАЦИЯ ЛАБОРАТОРИИ 174
6.I. Общие сведения 174
6.2. Штаты лаборатории 174
6.3. Помещения и необходимые требования, предъявляемые к ним 182
6.4. Требования к безопасности 183
6.5. Лабораторный контроль 184
6.5.I. Внутрилабораторный контроль 184
6.5.2. Внешний контроль 184
6.5.3. Арбитражный контроль 185
Список литературы 186

ВВЕДЕНИЕ

Предлагаемые "Методические указания" определяют основные способы получения информации о гранулометрическом составе обломочных пород.

Работа выполнена на основе следующих положений:

I. Методические указания предназначены для инженерно-технических работников различных отраслей (рудной, почвоведения, водного хозяйства и т.д.) и геологов, занимающихся исследованием гранулометрического состава терригенных пород и рыхлых осадков в лабораториях научных и производственных организаций, ведущих разведку на нефть, газ, воду и полезные рассыпные рудные и нерудные ископаемые, строительные материалы и другие, а также содержат основные методические указания, разработанные с большей или меньшей детальностью в зависимости от сложности получения информации и накопленного опыта.

2. В связи с тем, что аппаратура для осуществления дробного гранулометрического анализа седиментационным способом широко опробована и принята к серийному выпуску, отвечающему современному уровню, в работе приводятся конструктивные схемы гидравлического седиментатора ГС-I.

3. Физические основы осаждения твердых частиц в неподвижной водной среде приводятся кратко и сопровождаются расчетными формулами на основе литературных источников.

4. Указания составлены на основе литературных источников и фондовых материалов, в них, естественно, отражен и личный опыт его авторов. Наряду с опробованными методами изучения гранулометрического состава и интерпретации его результатов приведены некоторые методики, еще не получившие достаточного признания.

Разработка "Методических указаний" выполнена в отделе научно-методических основ нефтегазоносности и геолого-экономической

оценки ресурсов нефти и газа ВНИГРИ под руководством К.К.Гостинцева. В составлении "Методических указаний" приняли участие:

Гостинцев К.К., к.г.-м.н., ст.науч сотр.ВНИГРИ - главы I-6, введение.

Дятлов В.Г., науч.сотр. НИИ Физики при ЛГУ - главы 3, 4, 5.

Веневцева В.Н., вед.инженер-конструктор КЭ ВИМСа - глава 3, п.п. 3.I-3.5, 3.7 - 3.9.

Запутряев И.М., вед.инженер-конструктор КЭ ВИМСа - глава 3, п.п. 3.I - 3.5, 3.7 - 3.9, 3.II.

Пугачев В.С., гл.инженер ПНТ при КЭ ВИМСа - глава 3, п.п. 3.I - 3.9.

Лопатков А.К., нач.участка ПНП при КЭ ВИМСа - глава 3, п.п. 3.I - 3.9.

Редактирование "Методических указаний" осуществлено К.К. Гостинцевым и В.Г.Дятловым.

I. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ МЕТОДИКИ ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКОГО АНАЛИЗА ПОРОД

I.I. Общие сведения

Гидравлическая классификация - это в узком смысле гравитационное разделение твердых частиц в жидкой среде.

Историческое начало гидравлических методов разделения зернистых материалов теряется в глубокой древности и, по всей вероятности, они были известны доисторическому человеку, который в ручьях, реках и в прибрежных акваториях бассейнов, используя примитивные средства (шкуры, лотки и т.п.), промывал самородные металлы. С развитием горного дела и металлургии совершенствуется и техника разделения и обогащения. Некоторые способы и аппараты, предложенные, например, еще в XIУ, ХУ веках, в основных чертах сохранились до настоящего времени. Особенно высокого уровня гидравлические методы достигают в конце XIX, начале XX в., когда до введения флотации они являлись единственными методами и применялись при добыче и обогащении любых полезных ископаемых. Их усовершенствование не прекращается и в наше время, благодаря чему появляются все новые типы машин, аппаратов и способов. Гравитационное разделение зернистых материалов охватывает широкий круг областей народного хозяйства и применяется при переработке нерудного сырья, при обогащении полезных ископаемых, шлаковых отходов металлургических заводов и теплоэнергетических станций, при выработке кондиционных заполнителей бетона и щебня, при выпуске значительной части продукции химической промышленности и т.д.

Изучение зернистых материалов - обломочных пород, в частности песчано-глинистых толщ, за последние десятилетия приобрело огромное значение не только в нашей стране, но и за рубежом в связи с поисками месторождений полезных ископаемых, приуроченных к этим толщам. В ряду различных исследований состава осадочных толщ одним из важнейших является изучение гранулометрического состава. Гранулометрический состав характеризует обломочные породы в отношении их дисперсности - размерности слагающих частиц, отражая количественную характеристику структуры пород. Обычно он выражает процентное содержание в породе групп частиц - классов различных размеров, взятых по отношению к весу абсолютно су-

хого образца породы. Размерность классов выражают в миллиметрах или в единицах "гидравлической крупности", характеризующих скорость падения частиц в исследуемой среде, обычно в воде.

Гранулометрический анализ производится с различными целями, главными из которых являются: точное количественное определение структуры и название породы; оценка песчано-алевритовых пород как коллекторов нефти, газа и воды и как россыпных минералов; реконструкция динамических условий осадкообразования; подготовка к исследованию других признаков другими методами - минералогического и химического состава, формы зерен и других особенностей (физических, инженерно-геологических и др.), которые устанавливаются в зернах определенной размерности.

В СССР и за рубежом широко используемый гранулометрический анализ обломочных пород обычно осуществляется ситовым рассевом в комплексе с принципиально отличающимся седиментационным способом. При этом в диапазоне размерности частиц более 0,I мм (нередко более 0,05 мм или 0,04 мм) материал разделяют с помощью сит, а в диапазоне размерности частиц менее 0,I мм (менее 0,05 мм или 0,04 мм) путем седиментации (отмучивания) в воде или в другой жидкости. Ситовой рассев и седиментационный способ разделения зернистого материала принципиально отличаются друг от друга и дают не вполне совпадающие результаты [I, 3, 8, 9, I0, II, I4, I6, I7, I8, I9, 20, 22, 24, 25, 26, 27. 32, 33, 34, 36, 37, 38, 43, 44, 48, 49, 50, 52, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 59, 63, 64, 65, 66, 69, 70, 72, 73, 76 и др.].

В практике литологических и литолого-минералогических лабораторий системы Мингео СССР существуют большие различия в методике гранулометрического анализа и аппаратуре для его осуществления, от которых страдают качество анализов и возможности сравнения, сопоставления и обобщения их результатов. Эти различия касаются шкалы размерности, применяемых сит, способов подготовки породы к анализу, времени отстаивания и высоты столба при седиментации, технологии проведения самого анализа и применяемой аппаратуре [I, 2, 4, 7, 9, I4, 24, 25, 27, 30, 33, 35, 36, 37, 38, 42, 43, 44, 49, 58, 59, 60, 63, 66, 67, 68, 69 и др.].

В настоящее время придается большое значение правильному выбору шкалы размерностей. В I953 г. Международной организацией по стандартизации (ISO) принята и одобрена большинством членов

организации, в том числе и СССР, рекомендация по рядам предпочтительных чисел. Каждый из этих рядов представляет собой десятичный ряд геометрической прогрессии с каким-то знаменателем (модулем). В СССР введен специальный ГОСТ 8032-84, согласно которому рекомендуются основные ряды предпочтительных чисел со следующими знаменателями:

для ряда R 5 $\sqrt[5]{10} = 1{,}5849 \approx 1{,}6$

" R 10 $\sqrt[10]{10} = 1{,}2589 \approx 1{,}25$

" R 20 $\sqrt[20]{10} = 1{,}120 \approx 1{,}12$

" R 40 $\sqrt[40]{10} = 1{,}0593 \approx 1{,}06$

Кроме этого по ISO в тех случаях, когда по технически обоснованным причинам не представляется возможным принять предпочтительные числа из основных рядов, рекомендуется применять производные ряды чисел. Их получают путем отбора в основных рядах каждого второго, третьего или n-го члена ряда. В этом случае в обозначения производных рядов кроме обозначения основного ряда входит число, указывающее, путем отбора скольких членов из основного ряда он образован, например:

$$R\ 20/3 = 1{,}41 \approx \sqrt{2},$$

$$R\ 40/4 = 1{,}19 \approx \sqrt[4]{2}.$$

Преимущества геометрической шкалы по сравнению со шкалами с неравномерным шагом, по Таннеру [76]:

- равноотстояние границ между подразделениями;
- геометрический базис, обеспечивающий одинаковую детальность исследования;
- детализация шкалы по любой желаемой степени;
- широкий ряд размерности в сторону больших и малых размеров;
- универсальная применимость;
- легкость применения вероятностного анализа;
- легкость вычисления статистических параметров и т.д.

В нашей стране указанным условиям удовлетворяет ряд шкал.

Однако более дробная из них употреблена для контрольных тканых сеток (ГОСТ 3584-73), размеры сторон квадратных ячеек которых в диапазоне 2,5-1,0 мм выполнены в соответствии с десятым рядом (R 10), а в диапазоне 1,0-0,04 мм - с двадцатым рядом (R 20). К сожалению, не все сита этого набора изготовляются промышленностью, поэтому в выпускаемых наборах образуются пробелы, нарушающие стройность шкалы (табл.1.1).

Таблица I.I

Размеры отверстий сит в соответствии с международными и национальными стандартами

№ пп	ISO - 565		ГОСТ 3584-73 (СССР)	DIN4I78 (ФРГ, I977)	ASTM (США)	British Standart	ASTM E II-70 (США)
	R 20/3	R 20					
	Размер отверстий					Число отверстий в дюйме, меш	
	мкм		мм	мкм			
I	2	3	4	5	6	7	8
I		20		20			
2		25		25			
3		28		28			
4	32	32		32			
5		36		36			
6		40	0,040	40	38	400	400
7	45	45	0,045	45	45	350	325
8		50	0,050	53	53	300	270
9		56	0,056				
I0	63	63	0,063	63	63	240	230
II		7I	0,07I	7I	75	200	200
I2		80	0,080	80			
I3	90	90	0,090	90	90	I70	I70
I4		I00	0,I00	I00	I06		
I5		II2		II2			
I6	I25	I25	0,I25	I25	I25	I20	I20
I7		I40		I40	I50	I00	I00
I8		I60	0,I60	I60			
I9	I80	I80		I80	I80	85	80
20		200	0,200	200	2I2	70	80
2I		224		224			
22	250	250	0,250	250	250	60	60
23		280		280	300	52	50
24		3I5	0,3I5	3I5			
25	355	355		355	355	44	45
26		400	0,400	400	425	36	40
27		450		450			
28	500	500	0,500	500	500	30	35

Продолжение табл. I.I

I	2	3	4	5	6	7	8
29		560		560	600	25	30
30		630	0,630	630			
3I	7I0	7I0		7I0	7I0	22	25
32		800	0,800	800	850	I8	20
33		900		900			
34	I000	I000	I,00	I000	I000	I6	I8
			и так далее до				
	I25 мм	I25 мм		I25 мм	I25 мм		

Кроме этого не стандартизированы сита с ячейками меньше 0,04 мм. Для этих сит тканые (плетеные) полотна практически не применимы, так как форма и размеры их ячеек очень не точны. Поэтому сита с микроячейками изготовляют печатным способом. Их толщина составляет всего 25 микрон. Для анализа на печатных ситах применяются малые навески от 2 г до I00 мг. Ввиду упомянутого рассев тонкодисперсного материала с размерностью менее 0,05 мм используют в особых случаях для проведения контрольных измерений а для массового производства гранулометрических анализов тонкодисперсного материала используется седиментационный метод.

Вообще для всех сит хорошее качество просеивания обеспечивается лишь при условии, если над тканью сита лежит слой в одну частицу.

Неодинаковость отверстий в каждом сите, особенно бывших в употреблении, вызывает существование в каждом ситовом классе зерен большего, по сравнению с нормой, размера. Ввиду того, что максимальные отверстия даже у новых сит могут отклоняться от средних больше, чем на 50%, а интервал между соседними ситами равен 20-40%, то возможно попадание в класс зерен, по крупности отвечающих классам, отстоящим от данного класса на три и даже четыре интервала. Наибольшее количество таких прошедших через несколько сит зерен концентрируется в наиболее мелкозернистой части осадка, увеличивая ее объем и искажая действительный результат гранулометрических анализов [I, I4, I6, 2I, 26, 30, 35, 38, 44, 59, 66 и др.].

Существенным недостатком ситового способа является и то, что при одном и том же времени просеивания колонны сит точность

отсева закономерно уменьшается по мере уменьшения размера сит. По данным Д.Н.Лифлянда (1935) при уменьшении отверстий сит в 2 раза производительность их падает в 1,5 раза [59, с.39].

На результаты ситового анализа наиболее существенно влияет размер минеральных частиц. Частицы по соотношению их размера ($X_ч$) с размером отверстия сита (X_c) делятся на легко просеиваемые ($X_ч : X_c < 0,75$), трудно просеиваемые ($X_ч : X_c = 0,75 \div 1,0$) и затрудняющие просеивание ($X_ч : X_c = 1,0 \div 1,5$). "Легкие" зерна практически не оказывают влияния на процесс просеивания, "трудные" определяют его продолжительность, а "затрудняющие" забивают отверстие сит и существенно влияют как на продолжительность просеивания, так и на воспроизводимость его результатов.

При просеивании в ячейках сит в основном застревают клиновидные и ступенчатые зерна, при этом отношение максимальной длины "затрудняющего" зерна к его максимальной толщине в среднем не превышает 1,85, а средний размер класса подситового продукта составляет приблизительно 0,7 размера отверстий сит.

А.Б.Векслер [12] экспериментально получил следующие соотношения между приведенным объемным диаметром зерен ($Д_3$) и размером ячеек сит: $Д_3$ = 1,17 Д сита - для сит с квадратными ячейками и $Д_3$ = 0,9 Д сита - для сит с круглыми отверстиями.

Седиментационное разделение материала ниже области применения ситового способа основано на разных скоростях осаждения в воде или в другой жидкости частиц разной крупности. В практике отечественных лабораторий этот анализ широко известен как метод Сабанина и до сих пор для его осуществления изготавливается аппаратура. Выделение классов при разделении тонкодисперсного материала производят отмучиванием, по скорости осаждения частиц в воде, для определения которой обычно используется формула Стокса [1, 4, 35, 36, 42, 44, 49, 58, 59, 66, 71, 75, 76].

Зависимость Стокса пригодна для частиц диаметром от 0,1 до 0,001 мм, так как частицы диаметром больше 0,1 и частицы диаметром меньше 0,001 мм обнаруживают заметные отклонения в скорости падения их в жидкой среде.

При седиментационном анализе по методу Сабанина наиболее употребительными шкалами являются следующие значения размерности классов:

- в диапазоне 0,1÷0,001 мм ряд в составе классов 0,1÷0,05 ÷ ÷0,025÷0,01÷0,005÷0,0025÷0,001 мм;

– в диапазоне 0,05÷0,001 мм ряд в составе классов 0,05÷0,025÷0,01÷0,005÷0,0025÷0,001 мм.

Обычно значения 0,025 и 0,0025 мм исключаются. При использовании метода всегда получаются значительные погрешности в определении процентного содержания частиц диаметром менее 0,01 мм. Поэтому метод Сабанина рекомендуется применять при содержании в песчано-глинистой породе не более 10% частиц с диаметром до 0,01 мм. При содержании частиц с диаметром менее 0,01 мм свыше 10% обычно применяется пипеточный метод по Робинсону [27, 75].

Несмотря на явные недостатки (малая производительность, несовершенная конструкция сифона – его открытый вниз конец, засасывающий частицы уже спустившиеся на дно сосуда и др.), прибор Сабанина до сих пор изготовляется и поступает в продажу.

Для устранения недостатков метода Сабанина различными исследователями применялись и загнутый вверх конец сифона, и боковые отверстия при запаянном конце, и равноколенные сифоны с запирающими сетками конструкции Орлова [43] и латунный наконечник в виде перевернутого зонта конструкции ЦНИГРИ.

В приборе Орлова один аналитик ведет одновременно 8-10 анализов с выделением самого тонкого класса – 0,01 мм.

В приборе ЦНИГРИ можно одновременно вести 30 анализов, однако элементов автоматизации в нем также нет. Более совершенным в этом отношении является прибор Центральной лаборатории Средне-Волжского ГУ, в котором автоматизированы наполнение сосудов водой до определенного уровня, взмучивание суспензий и их сливание после отстаивания в течение расчетного времени. Этому прибору конструктивно близок прибор, разработанный во ВСЕГЕИ.

Кроме этого предложено много вариантов седиментационного анализа тонкодисперсного материала. В СССР были опубликованы достаточно полные сводки: монографии Г.И.Ромашева [58], Н.А. Фигуровского [63], П.А.Коузова [34] и др., а из иностранных в русском переводе монография С.Гана [14].

Для устранения указанных недостатков упомянутого комплексного дробного гранулометрического анализа во ВНИГРИ была разработана методика дробного гранулометрического анализа седиментационным способом, которая осуществляется с помощью гидравлического седиментометра по авт.свид. СССР № 1313506 [22, 23].

Гидравлическое разделение зернистых материалов с помощью указанного седиментометра [22, 23] и других гидравлических аппаратов

по сравнению с просеиванием имеет два важнейших преимущества, которые зафиксированы в технологии и конструкции этих аппаратов. Первое из них заключается в том, что в пространстве рабочей зоны аппаратов процесс разделения имеет объемный характер. Это обеспечивает достижение любой дробности и точности разделения. Вторым преимуществом является то, что в рабочих органах гидравлических аппаратов отсутствует классификационная поверхность, через отверстия которой должна пройти вся масса зернистого материала с крупностью зерен заданного предела отверстий. При этом увеличена точность и качество разделения как крупнозернистого, так и тонкодисперсного материала, разрешена проблема защиты рабочих органов от абразивного износа и исключены нарушения процесса разделения по причине неравномерного износа классификационной поверхности (например, порывы ткани сеток, увеличение размера отверстий за счет смещения проволоки и т.д.) или закупорки ячеек сетки зернистым материалом.

Обломочные породы и продукты измельчения искусственных материалов состоят, как правило, из частиц неправильной геометрической формы и обычно являются полидисперсными системами.

Для их оценки используют различные характеристики, например, наибольший, наименьший и средний размер частиц, разность между наименьшим и наибольшим размером частиц, удельная поверхность и т.д. Однако наиболее полно дисперсность обломочных пород и искусственных сыпучих материалов характеризуется гранулометрическим (зерновым) составом. При его характеристике устанавливают не только указанные параметры, но и, как правило, процентное содержание частиц каждого размера.

Из-за неправильности геометрической формы размеры частиц трудно определить путем линейных или других измерений [66], поэтому в практике гранулометрических анализов приняты понятия эквивалентного диаметра.

Применяются следующие понятия эквивалентного диаметра:

- диаметр шара, объем которого равен объему частицы;
- диаметр круга, площадь которого одинакова с площадью проекции частицы - проектированный диаметр (может быть определен, например, по данным измерения проекции площади частиц под микроскопом);
- диаметр частиц, выделенных при ситовом рассеве по величине диаметра круглого отверстия или стороне квадратного отверстия,

определяющего размеры наибольших проходящих через него частиц;

- гидравлический (или седиментационный) диаметр, диаметр шара, скорость осаждения и плотность которого соответственно равны скорости осаждения в среде и плотности частицы.

Для решения динамики образования обломочных пород необходимо знать характеристики частиц, определяющие их сопротивление движению: размер, плотность и форму. Изучая гомогенный материал, мы можем заранее допустить гомогенное распределение. Это допущение не соблюдается ни при одном способе измерения, в котором не учтена сложность минерального состава. Поэтому рекомендуем использовать динамический показатель - гидравлическую крупность. Последняя характеристика уже отражает поведение частиц в воде, а следовательно является наиболее достоверной для решения задач осадконакопления.

В соответствии с принципом гидравлической эквивалентности, определив размеры зерен кварца и зная эффективную плотность другого минерального компонента, можно рассчитать его распределение. Если затем эмпирически определить размер другого компонента, расхождение в теоретических и эмпирических данных поддается интерпретации. Действительно, если в пробе осадочной породы обнаружены совместно зерна кварца, обломки изверженных и других пород и минералов, глинистые частицы и обломки раковин, то все они были гидравлически эквивалентны для какого-то момента времени и места отложения. Поэтому их эффективные удельные веса были близкими и при плотности обломков пород больше плотности кварца эти обломки имеют меньший размер и наоборот [18, 19, 20, 22, 24, 53, 58, 77].

Для шарообразных частиц параметром, дающим полное представление об их форме, является диаметр. Однако в науке и в промышленной практике в большинстве случаев изучению и разделению подвергаются материалы, частицы которых значительно отличаются по своей форме от шаровой. Эти материалы, как правило, представляют собой полидисперсные смеси.

Известные способы измерения и оценки формы частиц можно объединить в четыре группы:

I - визуальные способы;

II - способы, основанные на измерении поперечников зерен и площадей их сечений;

III - способы механические;

IУ - способы гидравлические.

I.I.I. Первая группа - способы визуальной оценки формы обломочных частиц.

Первые описания формы обломочных частиц были предприняты Сорби (Sorby, 1880) и позднее Шерцером (Sherzer , 1910) и сделаны по чисто качественным мерам. Более широкое распространение получили способы количественной меры оценки формы зерен [66].

Мекки (Mecky , 1899) в основу своего способа предложил количественную меру визуальной оценки формы обломков по трехбалльной шкале. По этой шкале округлые частицы получали балл, равный 3, полуугловатые - 2 и угловатые - I. Затем, умножая число зерен каждого типа на соответствующий балл, исследователь получал среднюю числовую характеристику окатанности зерен каждого минерала, а по этим данным вычислял характеристику формы зерен в пробе.

Этот способ усовершенствуется Росселом и Тейлором путем введения пятибалльной шкалы, по которой совершенно неокатанные песчаные зерна с острыми краями обозначаются баллом 0, зерна, сохранившие первоначальную форму и обладающие лишь слегка сглаженными ребрами,- баллом I, зерна со сглаженными углами, но с прямолинейными гранями,- баллом 2, хорошо окатанные обломки, сохранившие лишь следы первоначальной огранки,- баллом 3, а идеально окатанные - баллом 4. При этом коэффициент средней окатанности зерен в пробе оценивается по 50-100 зернам по формуле:

$$K = \frac{0 \cdot X_0 + 1 \cdot X_1 + 2 \cdot X_2 + 3 \cdot X_3 + 4 \cdot X_4}{\sum X_i} \cdot 25\%, \quad (I.I)$$

где 0, I, 2, 3, 4 - баллы окатанности; X_0, X_1, X_2, X_3, X_4 - число зерен, обладающих соответствующим баллом.

Взятый за основу этот способ ряд исследователей разрабатывают и дополняют его разными операциями с целью повышения информативности результатов исследования формы. Например, Л.Б. Рухин [59] для визуальной оценки формы зерен использует трафареты, представляющие силуэты зерен каждого балла. Эйсел (Eisele, 1957), принявший за основу пятибалльную шкалу, коэффициент формы вычисляет по иной формуле 66 :

$$K_e = \frac{n_4 + n_3 + 0{,}5 n_2}{0{,}5 n_2 + n_1 + n_0}, \quad (I.2)$$

где n_0, n_1, n_2, n_3, n_4 - число зерен первого, второго и т.д. типов по количеству углов, характеру их закруглений и т.п.

Календер и Фолк (Callender, Folk , 1958) при исследовании

316795

зерен выделили также пять стандартных типов форм [66]. При этом они учитывали не только степень окатанности, обусловленную процессом транспортировки, как в упомянутых способах, но и степень идиоморфизма зерен, связанную с их первичной формой в материнских породах. Они выделяют: I) идиоморфные кристаллы с хорошо выраженными гранями, 2) гипидиоморфные зерна с хорошо выраженными гранями и слегка закругленными (окатанными) углами, 3) ксеноморфные почти окатанные зерна, 4) ксеноморфные окатанные зерна и 5) ксеноморфные угловатые обломки. Затем результаты оценки формы и подсчета зерен наносят на треугольную диаграмму, вершины которой отвечают I00%-ному содержанию зерен: а) идиоморфных и гипидиоморфных; б) ксеноморфных окатанных и почти окатанных; в) ксеноморфных угловатых. Основным недостатком этого морфометрического способа является то, что он может быть применен только для характеристики устойчивых минералов тяжелой фракции и теряет смысл при оценке главнейших породообразующих минералов кварца и полевых шпатов, представляющих собой в основном обломки крупных кристаллов.

Общим недостатком способов оценки окатанности по пятибалльной и трехбалльной шкалам является:

- субъективность оценки, которая очень зависит от опытности наблюдателя;
- небольшая выборка (50-I00 зерен иногда более) из бесконечной совокупности;
- невозможность стандартизировать процесс оценки, а отсюда трудно сравнивать результаты различных определений.

I.I.2. Вторая группа способов, основанных на измерении поперечников зерен и площадей их различных сечений, также многообразна. Кратко охарактеризуем основные из них.

Известный способ Пентланда (Pentland, I927) основан на определении коэффициента формы (P) в плоскости проекции отношением площади проекции зерна A к площади круга с диаметром, равным максимальной его длине Ad , т.е. $P = A/Ad$. При этом измерение площади производят по зарисовке видимого под микроскопом контура, получаемого с помощью рисовального аппарата.

Кокс (Cox,I927) за характеристику формы зерна принял отношение $K_c = 4\pi S/P^2$, где S - площадь проекции зерна на увеличенных фотографиях, а P - его периметр.

Более широкое признание получил способ исследования формы частиц, предложенный Ваделлом (Wadell , I932, I933, I935). Этот

способ включает раздельную оценку сферичности и округленности частиц [66].

Сферичность по Ваделлу характеризуют по величине отношения площади поверхности сферы (S) того же объема, что и измеряемая частица, к площади поверхности ($S_ч$) измеряемой частицы; а именно: $C_ф = S / S_ч$.

Поскольку поверхность частицы измерить трудно или практически невозможно, он предложил заменить ее двумя приблизительными оценками - коэффициентами: оперативной сферичности ($C_ф^о$) и проекционной сферичности ($C_ф^п$).

Коэффициент оперативности определяют по формуле $C_ф^о = Д_{об}/Д_{оп}$, где $Д_{об}$ - диаметр сферы, равный по объему измеряемой частицы, а $Д_{оп}$ - диаметр сферы, описанной вокруг частицы.

Коэффициент проекционной сферичности - ($C_ф^п$) определяют по величине отношения $C_ф^п = Д_{кр}^ч / Д_{кр}^о$, где $Д_{кр}^ч$ - диаметр круга, равного по площади изображению частицы, а $Д_{кр}^о$ - диаметр описанного круга.

Вторая характеристика формы, предложенная Ваделлом, является мерой округленности частиц, которая равна (I.3):

$$P_в = \frac{\Sigma r_i / R}{N}, \qquad (I.3)$$

где R - радиус круга, вписанного в контур зерна ; r_i - радиусы закруглений на контуре частицы, N - число измерений.

Измерения R и r_i осуществляют зарисовкой зерен с помощью рисовального аппарата, а измерения радиусов закруглений производят палеткой из окружностей диаметром от 4 до 70-80 см, вычерченных на прозрачной кальке или пленке. При этом зарисовку зерна ведут с увеличением до 6-7 см в поперечнике.

Способ Ваделла получил широкую известность, дальнейшие его усовершенствования по количественной оценке сферичности и округленности, предложенные рядом авторов, фактически сводились к упрощению способа и сокращению времени, затрачиваемого на измерения и вычислительную работу (Robson, I958; Вистеллиус, I954, I960, Шванов, Пискижев, I96I; Russet, Taylor, I937; Pettijohn, I949, I955; Powers, I953; Reley, I94I; Pye, I943, Pittenhose, I943).

Снид и Фолк (Sneed, Folk, I958) предложили способ измерения сферичности по коэффициенту отношения площади поперечного сечения шара того же объема, что и частица, к максимальной площади проекции этой частицы, а величину коэффициента предложили определять по формуле (I.4):

$$K_{сф} = \sqrt[3]{A^2/B.C}\ , \qquad (I.4)$$

где А, В и С - величины соответственно длинного, среднего и короткого поперечников.

Способы определения формы зерен путем измерения величины взаимноперпендикулярных поперечников (а, в, с) отличаются друг от друга лишь различием коэффициентов, вычисляемых по результатам измерения зерен. Сводка их заимствована из работы В.Н.Шванова [66] и приведена в табл.I.2.

I.I.3. Третья группа способов исследования формы частиц осуществляется с помощью наклонных плоскостей, находящихся в неподвижном или подвижном состоянии.

Способ, осуществляемый с помощью прибора,состоящего из наклонной плоскости и механизма для регулирования ее наклона, был предложен Крыговским (Krygowsky,1937; Krygowsky, 1965). Путем изменения наклона плоскости получают несколько классов, отличающихся по форме зерен. Эти исследователи (Krygowsky,1937,Krygowsky, 1965) выделяли до I5 классов песка, а затем вычисляли коэффициенты, характеризующие степень образии частиц.

Другие способы разделения смеси зерен по их форме осуществлялись с помощью устройств, наклонная плоскость в которых перемещается вверх по наклону с постоянной или переменной скоростью.

В нашей стране широкое распространение получил вибросепаратор конструкции Д.А.Плисса. Этот аппарат включает наклонную вогнутую плоскость и вибратор, с помощью которого придают колебательные движения. Способ, осуществляемый с помощью этого аппарата, включает рассев навески с помощью сит, а затем разделение материала каждого ситового класса на вибрирующей наклонной плоскости на классы по форме зерен. Траектории частиц каждого ситового класса, движущихся по наклонной плоскости под воздействием вибрации, распределяются в зависимости от формы, попадают в соответствующие улавливатели, смонтированные под краями плоскости.

Во всех способах этой группы разделение полиформного материала по форме частиц основано на различном свойстве их к перекатыванию или к вращаемости. Вращаемость частиц является свойством, зависящим от округленности и геометрической формы, а также по существу функциональным описанием формы.

Существенным преимуществом способов механического разделения зерен по форме на наклонных поверхностях является их малая трудо-

Таблица I.2

Использование отношений осей обломочных частиц, заимствовано из [66]

Автор	а/в	а/с	в/а	в/с	с/а	с/в
Цинг (I935)			x			x
Хейвуд (I937)			x	x		
Позер (I952)	x		x			x
Вальтон (I955)						x
Люттинг (I956)	x	x				
Вальтц (I959)		x		x		
Вленк (I960)					x	x

Таблица I.3

Коэффициенты, характеризующие форму через величины осей обломочных частиц [66]

Коэффициенты	Автор	Коэффициенты	Автор
а+в+с	Вентворс (I922)	(а-с) (а+в+с)	Вассоевич (I958)
(а+в) /с	Вентворс (I922)	в/с-а/в-2	Вассоевич (I958)
(а+с)/в	Вентворс (I922)	$ас/в^2$	Ашенбреннер (I956)
авс	Крумбейн (I942)	(в+с)/а	Нид и Фолк (I958)
$вс/а^2$	Крумбейн (I942)	(а-в)/(в-с)	Нид и Фолк (I958)
$ав/с^2$	Корей (I949)		

емкость, непродолжительность анализа, возможность анализировать навески большого объема, функциональность характеристики формы частиц.

Недостатками этих способов являются невозможность стандартизировать условия анализа в разных лабораториях и даже в одной лаборатории, влиянии шероховатости плоскостей на зерна различной размерности и т.д. Кроме этого механическое разделение не может заменить качественную и количественную оценку формы частиц.

I.2. Основные теоретические положения осаждения твердых частиц в неподвижной среде

Современные представления о гидравлической классификации основывается на явлениях, происходящих при свободном осаждении частиц в неподвижной жидкой среде. Движение частиц рассматривается как прямолинейное в направлении силы тяжести, при этом строгому теоретическому анализу подвергается поведение частиц лишь правильной формы. Вращательные движения и возможные поперечные перемещения частиц и другие факторы при таком рассмотрении не учитываются.

Достоверность гранулометрической классификации седиментационным способом зависит от соблюдения следующих основных требований:

- практического отсутствия процессов коагуляции частиц;
- отсутствия конвективных токов, приводящих к локальным изменениям плотности суспензии;
- химической гомогенности и нерастворимости частиц в жидкой среде;
- полного смачивания частиц жидкой средой;
- плотность среды не изменяется от внесения в нее твердого сыпучего материала;
- обеспечения свободного осаждения частиц в приборе, которое достигается соотношением объема сыпучего материала к объему среды не превышающем I/I00, т.е. I,0%.

При свободном осаждении частицы в неподвижной среде со скоростью w относительная скорость обтекания частицы средой равна абсолютной скорости ее движения:

$$v = -w. \qquad (I.5)$$

Благодаря силам сцепления на поверхности частицы образуется элементарный слой, движущийся вместе с частицей. Скорость элементарного слоя передается силам вязкости к близко расположенным элементарным массам среды, что приводит к убыванию скорости в пограничном слое по нормали от поверхности частицы. Кривая распределения скорости характеризуется непрерывным убыванием скорости, начиная от поверхности, и плавным переходом к неподвижной среде [39, 40]. Такое распределение скорости складывается в лобовой части твердого тела или на всей поверхности при безотрывном обтекании.

При осаждении частицы с отрывом пограничного слоя кривая распределения скорости имеет иной вид (рис.I.I, А, В), чем в условиях

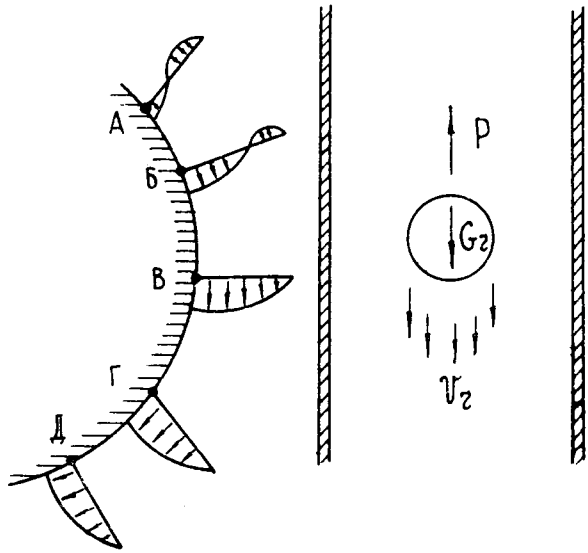


Рис.1.1. Распределение скоростей обтекания на поверхности осаждающихся частиц и схема действующих на нее сил.

безотрывного обтекания. На этой кривой область обратного движения стягивается в точку, расположенную на поверхности слоя. С этой точкой связывают местоположение точки отрыва пограничного слоя.

Обратное движение частиц породы дезорганизует движение, Пограничный слой утолщается и отрывается от поверхности частицы. Поверхность раздела, являющаяся поверхностью тангенциального разрыва скорости, становится неустойчивой и свертывается в один или в несколько вихрей. Возникает, так называемый турбулентный след, который проявляется за счет турбулизации пограничного слоя, а также за счет отрыва от его поверхности макроскопических вихрей [39]. Кинетическая энергия ламинарного движения в объеме пограничного слоя частично превращается в кинетическую энергию турбулентных порывов пульсаций. Образование поверхности раздела при отрыве пограничного слоя приводит к возникновению сопротивлений осаждению частиц. При этом чем уже турбулентный след, тем меньше будет сопротивление. Поэтому силы вязкости являются первопричиной динамического взаимодействия твердой частицы и жидкой среды. Эти силы проявляются в виде сопротивления от трения при относительном перемещении частицы и среды, а вязкость среды обуславливает возникновение динамических сил противодавления [40].

Таким образом, различают два вида сопротивлений среды движущемуся в ней твердому телу: сопротивление сил энерции - так называемое динамическое сопротивление и сопротивление от трения или вязкости. Оба вида сопротивления действуют одновременно, но не с одинаковой силой. При больших скоростях и больших размерах движущегося тела динамическое сопротивление преобладает над сопротивлением от трения и вязкости. Наоборот, сопротивление от трения и вязкости преобладают при небольших скоростях осаждения и малых размерах тела, а также при большой вязкости среды [63]. И.Ньютон (I.Newton) первым выявил функциональную зависимость динамического сопротивления от скорости, поперечного сечения и плотности жидкости, а также ввел в обиход понятие коэффициента сопротивления. Сила динамического сопротивления ($P_д$) была вычислена И.Ньютоном для тонкой пластинки, установленной неподвижно в стационарном потоке жидкости, направленном перпендикулярно к ее плоскости.

$$P_д = F \frac{\rho_0 v^2}{2}, \qquad (I.6)$$

где F – площадь пластинки, см^2; ρ_0 – плотность жидкости, г/см^3; V – скорость движения жидкости, см/с.

Риттенгер [74] на основании формулы И.Ньютона вычислил величину динамического сопротивления для шара

$$P_ш = \frac{F_э}{2} \cdot \frac{\rho_0 v^2}{2} \cdot \frac{\pi d^2 \rho_0 v^2}{16}, \qquad (I.7)$$

где $F_э$ – площадь экваториального сечения шара, см^2; d – диаметр этого сечения, см.

Позднее И.Финлей [37] по экспериментальным данным исправил первоначальный вывод Риттенгера и динамическое сопротивление для шара по его вычислениям оказался равным

$$P_ш = \frac{2}{3} \cdot F \cdot \frac{\rho_0 v^2}{2} = \frac{\pi d^2 \rho_0 v^2}{12}. \qquad (I.8)$$

Ньютон представлял себе, что среда, в которой движется тело состоит из свободно "парящих" неподвижных частиц, которые при столкновении с движущимся телом отражаются от него по законам упругого удара, что и приводит к возникновению сопротивления. Однако вычисленные по уравнению Ньютона величины сопротивления для частиц различной формы показали расхождения с опытом, особенно в тех случаях, когда при совершенно одинаковых очертаниях лобовой части поверхности движущихся частиц задние их стороны имели различную конфигурацию. Этими опытами была доказана несостоятельность теории Ньютона.

Согласно современной теории сопротивления, называемой часто гидравлической, сопротивление жидкости движущемуся в ней телу является результатом разностей давлений и напряжений трения, возникающих при обтекании тела, причем влияние разности давлений в общем случае преобладает. Эта разность принимается пропорциональной динамическому давлению $\frac{\rho_0 w^2}{2}$, соответствующему скорости w. Следовательно, сопротивление (P) пропорционально произведению разности давлений и площади, на которую эта разность давлений действует, т.е.

$$P \sim F \cdot \frac{\rho_0 w^2}{2}. \qquad (I.9)$$

В настоящее время в большинстве стран принято пользоваться формулой:

$$P = \text{число} \cdot F \cdot \frac{\rho_0 w^2}{2} \quad \text{или} \quad P = \lambda \cdot F \cdot \frac{\rho_0 w^2}{2}, \qquad (I.9,a)$$

где λ - коэффициент сопротивления частицы, F - меделево сечение частицы, см^2, ρ_0 - плотность среды, г/см^3.

Коэффициент сопротивления частицы является важной характеристикой и определяет суммарное воздействие сил трения и динамического давления.

Принципиальная разница между старой и новой теорией состоит в том, что старая теория учитывает только форму той части поверхности тела, которая обращена в сторону движения, между тем как новая теория показывает, что причиной сопротивления являются главным образом процессы, происходящие позади движущегося тела, и что поэтому форма кормовой части тела имеет очень большое влияние на величину сопротивления.

Определение скорости осаждения частицы в неподвижной среде.

При осаждении твердого тела в неподвижной среде будут действовать две силы: одна движущая сила, направленная вниз, - сила тяжести (веса тела) и вторая сила - сопротивление среды, направленная в сторону противоположную движению, т.е. вертикально вверх. Вес частицы можно выразить уравнением:

$$G_T = m g_0 , \qquad (I.10)$$

где m - масса частицы, г/см^3, g_0 - ускорение силы тяжести, г/сек^2.

Как известно, частица, находящаяся в среде, теряет в своем весе столько, сколько весит вытесненная ею среда, т.е. для шара величину

$$Q = \frac{\pi d^3}{6} \cdot \gamma \cdot g_0 , \qquad (I.11)$$

поэтому вес шарообразной частицы в средне будет равен:

$$G = G_T - Q = \frac{\pi d^3}{6} (\gamma_ш - \gamma_0) g_0 , \qquad (I.12)$$

где d - диаметр шарообразной частицы, см; $\gamma_ш$, γ_0 - плотность соответственно частицы и среды, г/см^3.

Вторая сила - сила сопротивления движению частицы со стороны среды в общем виде определяется зависимостью (I.13)

$$P_д = \lambda F \frac{\gamma_0 v^2}{2} = \lambda \frac{\pi d^2}{4} \cdot \frac{\gamma_0 v^2}{2} , \qquad (I.13)$$

где λ - коэффициент сопротивления частицы; F - меделево сечение частицы, см^2; v - скорость свободного осаждения частицы в среде, см/сек.

При установившейся скорости осаждения частицы в гравитационном поле в неподвижной среде сила сопротивления ($P_д$) уравновешивает силу тяжести ($G_ш$), поэтому $P_д = G_ш$ или

$$\frac{\pi d^3}{6}(\gamma_ш - \gamma_0) g_0 = \lambda \frac{\pi d^2}{4} \cdot \frac{\gamma_0 v_2}{2}. \qquad (I.I4)$$

После преобразования формулы (I.I4) получим формулу (I.I5) конечной скорости осаждения шарообразной частицы

$$v_к = \sqrt{\frac{4 d g_0 (\gamma_ш - \gamma_0)}{3 \lambda \gamma_0}} \qquad (I.I5)$$

и формулу (I.I6) определения диаметра этой частицы

$$d_ш = \frac{3}{4} \cdot \frac{\lambda \gamma_0 v^2}{(\gamma_ш - \gamma_0) g_0}. \qquad (I.I6)$$

Для нахождения величины конечной скорости осаждения частицы и ее диаметра по формулам (I.I5) и (I.I6) необходимо определить коэффициент сопротивления λ, так как другие величины (g_0, $\gamma_ш$ и γ_0), входящие в эти формулы определяются однозначно.

В экспериментальной гидроаэродинамике установлено, что количественные особенности процесса осаждения, определяющие коэффициент сопротивления, - толщина пограничного слоя в функции угла отрыва, местоположение точки отрыва, профиль скорости в этом слое и характер его изменения - зависят от числа Рейнольдса (Re), т.е.

$$Re = \frac{vd}{\nu} = \frac{v d \gamma_0}{\mu}, \qquad (I.I7)$$

где v - скорость осаждения частицы, см/с; d - диаметр частицы, см; ν - коэффициент кинематической вязкости среды, см^2/сек; μ - динамическая вязкость среды, г/см.сек.

Зависимость λ от числа Re для шара была экспериментально установлена Релеем и широко известна в качестве диаграммы (рис.I.2). На этой диаграмме участку линейной зависимости отвечает область весьма малых значений чисел Re, т.е. область безотрывного, ламинарного обтекания (осаждения). Для чисел Рейнольдса $Re \leqslant 0,2$ эта область достаточно хорошо удовлетворяется формулой (I.I8):

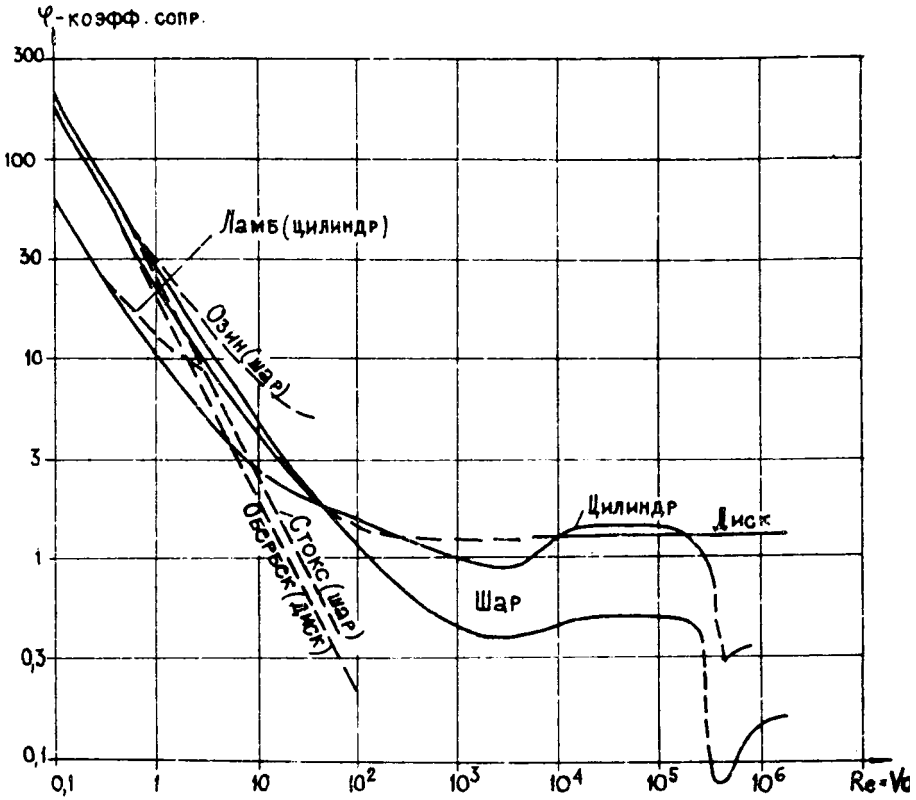


Рис. 1.2. Зависимость коэффициентов сопротивления шара, цилиндра и диска от числа Рейнольдса (R_e).

$$\lambda = \frac{24}{Re} . \qquad (I.18)$$

В этой области преобладающими являются силы сопротивления (P_c), оказываемые вязкой средой движущейся шарообразной частицы (I.19):

$$P_c = 3\pi d_c v \mu , \qquad (I.19)$$

где d_c - седиментационный диаметр частицы, см; v - скорость свободного осаждения частицы, см/сек; μ - динамическая вязкость среды, г/см сек.

Зависимость (I.19) была установлена Стоксом и известна в качестве закона, носящего его имя.

Оседание частицы, имеющей плотность $\gamma_ч$, в вязкой среде с плотностью γ_0 происходит под воздействием силы тяжести (т.е. веса частицы), которая в этих условиях равна

$$P_c = m g_0 = \frac{\pi d^3}{6} (\gamma_ч - \gamma_0) g_0 . \qquad (I.20)$$

При установившейся скорости осаждения частицы в неподвижной среде сила сопротивления, оказываемая вязкой средой, уравновешивает силу тяжести. Из условия равенства этих сил получают формулу конечной скорости осаждения шарообразной частицы

$$v_к^c = \frac{d^2 g_0 (\gamma_ч - \gamma_0)}{18 \mu} \qquad (I.21)$$

и формулу (I.22) определения диаметра частицы по измеренной скорости

$$d_c = \sqrt{\frac{18 \mu v_к^c}{(\gamma_ч - \gamma_0) g_0}} . \qquad (I.22)$$

Однако область применения закона Стокса ограничена со стороны крупных частиц, а также со стороны тонкодисперсных частиц. При крупных частицах размерностью более 0,05 мм, когда нельзя пренебрегать инерционными силами, вычисления по формуле Стокса приводят к ошибкам, которые растут по мере увеличения числа Рейнольдса. Нижний предел применимости закона Стокса по Фигуровскому [63] считается диаметр частиц менее 0,5 микрона. Частицы менее 0,5 микрон становятся чувствительными к неравномерности ударов молекул в их тепловом движении. Поэтому на скорость их осаждения отражается отношение среднего свободного пробега молекул к радиусу частицы [5, 6]. Такие частицы участвуют в броуновском движении и не рассматриваются законами осаждения.

Как упоминалось выше, с момента зарождения отрыва пограничного слоя, обтекание частиц средой становится значительно сложнее. Коэффициент сопротивления при этом не поддается аналитическому определению. При возрастании чисел Re от 0,2 до 1000 режим обтекания постепенно усложняется. Этот режим обтекания называют переходным. При большем возрастании чисел Re обтекание частиц средой характеризуется вполне развитой турбулентностью. Указать надежную границу для начала чисто турбулентного режима осаждения практически невозможно. Это в каждом конкретном случае необходимо определять опытным путем. Ряд исследователей переходную область ограничивают диапазоном чисел Re от 0,2 до 100, а некоторые от 2 до 500. По нашим экспериментальным данным переходная область обтекания средой гладких шариков стекла и кварца, плотностью 2,63-2,65 г/см^3 ограничена диапазоном чисел Re от 0,018 до 520.

Подставляя зависимость (1.18) в формулу (1.15) получим

$$V_к = \sqrt{\frac{4\, d\, g_0 (\gamma_т - \gamma_0) Re}{72\, \gamma_0}}, \qquad (1.23)$$

откуда

$$V_к = \frac{d^2 (\gamma_т - \gamma_0) g_0}{18\, \mu} \qquad (1.24)$$

отвечает формуле (1.21).

Из условия равенства (1.23) и (1.21) получим, что применение зависимости (1.24) ограничено условиями (1.25) и (1.26):

$$V_к \leqslant \sqrt[3]{\frac{Re^2\, g_0\, \mu\, (\gamma_т - \gamma_0)}{18\, \gamma_0^2}}, \qquad (1.25)$$

$$d \leqslant \sqrt[3]{\frac{18\, \mu^2\, Re}{(\gamma_т - \gamma_0)\, g_0\, \gamma_0}}, \qquad (1.26)$$

где число Re имеет значение до 0,2.

При $\lambda = Const$ в области действия закона Ньютона скорость осаждения и седиментационный диаметр частиц весьма точно определяются по формулам (1.15) и (1.16). Коэффициент сопротивления в этой области, соответствующей $1000 < Re < 2 \cdot 10^5$, принимает значение от 0,42 до 0,48.

Скорость осаждения частиц в области переходного режима обычно определяется методами последовательного приближения, напри-

мер, вычислением зависимостей, предложенных П.В.Ляшенко [37] и В.А.Успенским [62].

$$\lambda Re = f(Re), \tag{I.27}$$

$$\frac{Re}{\lambda} = f(Re). \tag{I.28}$$

Иногда искомая скорость $V_к$, входящая в качестве аргумента в число Re и коэффициент сопротивления λ, находится из критериальной зависимости $Re = f(Ar)$ в виде формулы (I.29) безразмерного комплекса, называемого критерием Архимеда:

$$Ar = \frac{g_0 \, d^3 (\gamma_п - \gamma_0)}{\gamma_0 \, \nu^2}. \tag{I.29}$$

Преобразуя соответствующим образом формулу (I.I5) и подставляя в нее значение критерия Архимеда (I.29) получают:

$$\frac{Ar}{3} = \frac{\lambda Re^2}{4}. \tag{I.30}$$

Подставляя в формулу (I.30) значение λ, соответствующее различным режимам обтекания, получают:

для турбулентного режима – $Re = I,742\ Ar^{0,5}$;
для переходного режима – $Re = 0,I53\ Ar^{0,7I4}$;
для ломинарного режима – $Re = \frac{I}{I8}\ Ar$.

Известна универсальная формула, связующая эти два критерия: λ и Ar при всех режимах обтекания [5, 6]

$$Re = \frac{Ar}{I8 + 0,6\sqrt{Ar}}. \tag{I.3I}$$

По формуле (I.30) можно определить интерполяционную зависимость для определения коэффициента сопротивления (I.32):

$$\lambda = \frac{4}{3} \cdot \frac{Ar}{Re^2} = 0,5 + \frac{29,2}{Ar^{0,5}} + \frac{430}{Ar}. \tag{I.32}$$

Зависимостями вида $Re = f(Ar)$ можно пользоваться для определения скорости осаждения частиц по их известному диаметру. Решение обратной задачи затруднено, так как диаметр частицы входит в оба критерия.

В гидравлическом седиментаторе ГС-I, рассматриваемом ниже,

осаждение частиц осуществляется в ограниченной стенками пространстве. При этих условиях скорость оседания частиц может быть меньше скорости оседания частиц в беспредельном пространстве. Однако при строгом соблюдении условий седиментационного анализа при очень малых объемных концентрациях дисперсного материала ошибка, связанная с ограниченностью пространства, в котором происходит осаждение частиц, должна составлять не более сотых долей процента. Например, конструкция седиментатотра ГС-I, рассматриваемого ниже в следующей главе 2, обеспечивает свободное осаждение дисперсного материала одного размерного класса весом до 25 грамм, а двух и более размерных классов весом до 50 грамм.

Следует заметить, что при сопоставлении результатов седиментационного анализа с результатами, получаемыми другими методами, например, ситовым, размеры частиц, условно называемые их диаметрами, будут совпадать с результатами, получаемыми другими методами, например, ситовым, размеры частиц, условно называемые их диаметрами, будут совпадать только при частицах строго шарообразной формы и одинаковой плотности.

Измеренную скорость осаждения тонких частиц в среде с определенной плотностью и вязкостью можно пересчитать на скорость осаждения тех же частиц в другой среде по формуле (I.2I).

2. ОТБОР ПРОБ И ИХ ПОДГОТОВКА К ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКОМУ АНАЛИЗУ

2.I. Отбор проб

Для того, чтобы анализ достоверно отражал гранулометрический состав исследуемого объекта, он должен быть проведен на такой пробе, которая достоверно представляет обломочную породу, слой, пласт. Представительность пробы должна обеспечиваться соответствующим отбором ее из исследуемого объекта и надлежащей подготовкой к анализу.

Существует много способов отбора проб для исследования осадочных пород, но наиболее распространенными являются бороздовый и точечный. Бороздовый способ отбора производят по разрезу изучаемого объекта (слоя, пласта и т.д.) и обычно используется для определения среднего гранулометрического состава породы как полезного ископаемого.

Бороздовый способ отбора пробы в плоскости слоя или на его поверхности является более точным и применяется для отбора больших по объему проб. При этом способе поверхность слоя очищают и в его плоскости отбирают материал в виде борозды. Длина, глубина и ширина борозды определяется по требуемому объему пробы при строгом соблюдении в пределах борозды однородности состава слоя. Например, этот способ широко используется при отборе проб донных осадков с помощью драг. Пробы характеризуют средний состав донного осадка.

Точечный способ отбора проб, например, для последующего лабораторного изучения дробного гранулометрического состава в целях определения условий осадкообразования представляется более точным по сравнению с бороздовыми, поскольку не искажает действительное соотношение частиц и не мешает правильному истолкованию состава породы. Для взятия пробы поверхность участка очищают любым предметом и в одном слое отбирают требуемое количество материала, обычно весом от 50 до 100 грамм, иногда 200-250 грамм с учетом последующего квартования. При исследовании однородных объектов интервалы отбора проб устанавливают в зависимости от мощности объекта с обязательным отбором образцов в его кровле и подошве. Например, из однородного пласта мощностью от 0,5 до 2 м отбирается 3-6 проб с интервалами между ними 0,2-0,3 м. В разрезе пласта, мощностью 2-5 м, интервалы отбора образцов увеличивают до 0,3-0,5 м. Более мощные объекты от 10 до 20 м и более опробываются через 0,5-1,0 м.

В разрезе неоднородных объектов, например, образованных ритмичным чередованием слоев (0,03-0,1 м) песчаных, алевритовых и глинистых пород рекомендуется осуществлять отбор образцов по возможности из каждого слоя наиболее характерных ритмов.

Таким образом, частота отбора проб и их общее количество должно быть в прямой зависимости от мощности объекта, целей исследования и требований, предъявляемых к заданной точности с учетом математической статистики. Поэтому количество гранулометрических анализов для характеристики однородных объектов должно быть намного меньше, чем для характеристики сложно наслоенных грубопесчано-алеврито-глинистых объектов. Для обеспечения представительности результатов гранулометрических анализов в обеих указанных случаях рекомендуется не менее 30 проб на каждый самостоятельный объект исследования (пласт, горизонт,

свиту и т.п.).

При комплексном исследовании петрофизических свойств образцов керна для гранулометрического анализа следует использовать остатки керна после изготовления образцов для определения пористости и проницаемости.

Следует заметить, что "Инструкция ГКЗ по применению классификации запасов к месторождениям нефти и горючих газов"(1971) устанавливает отбор образцов и через каждые 0,5 м мощности продуктивной части выдержанного пласта и через 0,25-0,3 м невыдержанного пласта (см. § 13 Инструкции).

Способы отбора проб искусственных сыпучих материалов зависят от того, образовался ли порошкообразный материал в результате устойчивого (стационарного) или непрерывного изменяющегося процесса дробления. Представительность таких проб обеспечивается отбором их из общей массы получаемого материала и подготовкой к анализу, регламентированными ГОСТ 23148-78.

2.2. Осмотр образцов и керна в лаборатории

1. В лаборатории образцы или керн детально осматривают с участием литолога или петрографа.

2. Нефтенасыщенный и битуминозный керн, обычно доставленный в герметизированном виде, осматривают после обработки в экстракционных аппаратах.

3. Проверяют журнал (или ведомость) описи образцов или керна и вносят в него необходимые дополнения, исправления и уточнения.

4. Для контроля и составления плана отбора образцов рекомендуется сфотографировать керн, уложенный в колонки в том же порядке, что и в ящике. Далее по мере отбора образцов на фотографии делают соответствующие пометки.

5. Каждый отобранный образец керна по внешнему виду и макроскопическому описанию должен быть как можно более однородным. Число образцов намечают с учетом однородности керна на глаз и его полноты выноса. При этом минимальное число образцов на 1 метр керна должно быть не менее 3-4.

6. Если керн не однороден и состоит из двух и более литологических разностей, то рекомендуется исследовать гранулометрический состав каждой литологической разности. При наличии в куске

керна контакта двух разностей, его следует разделить для анализа на две части и из каждой части отобрать образец. Если представлен тонким переслаиванием разнородных, ритмично повторяющихся разностей, то в этом случае выбирают наиболее характерные и чаще всего повторяющиеся разности. Каждые такие разности должны быть представлены для изучения гранулометрического состава по 2-3 пробам.

7. Колонки рыхлых обломочных пород, отобранных грунтоотборником, осматриваются, макроскопически описываются и из них отбирают пробы таким же образом как из керна.

2.3. Макроскопическое описание образцов и керна в лаборатории

При детальном осмотре образцов уточняют и дополняют макроскопическое описание, составленное геологом при изучении обнажений, шурфов и других горных выработок. При необходимости из каждой разновидности породы (образца), рассматриваемой в качестве литотипа, рекомендуется изготовить по одному шлифу (лучше два шлифа: один из них - перпендикулярно слоистости, второй - параллельно слоистости). При описании шлифов дается петрографическая характеристика литотипа и определяется метод подготовки образца к дробному гранулометрическому анализу.

При детальном осмотре керна уточняют и дополняют макроскопическое описание, составленное геологом контрры бурения. При необходимости керн очищают и отмывают от глинистых корок в чистой воде; просматривают под лупой 8-10-кратного увеличения. Образцы герметизированного керна описывают после экстрагирования.

В процессе осмотра очищенного керна определяют наиболее характерные разновидности пород, визуально оценивают их с точки зрения вероятного гранулометрического состава (алевролит, мелкозернистый песчаник, плотный или неплотный, или слабо сцементированный и т.д.). При этом очень важно установить характерные особенности каждой разновидности породы по таким признакам, как макроскопически наблюдаемое распределение обломочного материала, включений, растительных остатков, раковин фауны и т.д., карбонатности, цвета породы, крепости цементации и т.д. Рекомендуется характерные структурно-текстурные особенности зарисовать

или сфотографировать.

После визуального осмотра приступают к корректированию описания керна, оценивая либо мощность последовательно чередующихся лито-разновидностей или характерное соотношение мощностей. Особое внимание следует обращать на наиболее слабо сцементированные участки керна, так как сокращение выхода керна может быть связано с механическим разрушением этих неплотных разновидностей в процессе бурения скважины. Наличие хотя бы единичных обломков слабо сцементированных пород дает основание предположить, что они характеризуют отсутствие керна в разбуренном разрезе скважины и поэтому интервал должен быть изучен особенно тщательно.

Образцы для шлифов или аншлифов отбираются из каждой характерной разновидности пород керна. При изучении шлифов дается петрографическая характеристика литотипа. Например, обращается внимание на наличие участков регенерационного кварцевого цемента, явной коррозии обломочных зерен кальцитовым или ангидритовым цементом и т.д., поэтому гранулометрический анализ будет лишь частично отображать первичные особенности распределения гранулометрического состава породы.

Описание разновидностей пород рекомендуется составлять по схеме, изложенной в книге "Инструкция по проводке опорных скважин и камеральной обработке материалов опорного бурения. Гостоптехиздат, 1962".

Следует заметить, что исследования гранулометрического состава пород с силикатным цементом седиментационным способом не рекомендуется. Эта категория пород подлежит изучению гранулометрического состава под микроскопом или другими методами, не включающие дезинтеграцию на ее составляющие обломочные зерна.

2.4. Вес пробы для гранулометрического анализа

Вес пробы определяют в зависимости от литологического состава. Рекомендуется брать навеску песчаной и песчано-алевритовой породы от 25 г до 50 г, а песчано-глинистой, алеврито-глинистой и гравийно-глинистой - не более 60-65 г.

Большой объем навески не рекомендуется из-за конструктивной особенности седиментатора ГС-1, с одной стороны, а с другой - из-за ухудшения условий отмучивания глинистых частиц менее 0,01 мм, так как при этом увеличивается концентрация суспензии, при кото-

рой затрудняется свободное осаждение и увеличивается вероятность слипания тонкодисперсных частиц.

Конструкция цилиндра седиментатора ГС-I обеспечивает качественное разделение сыпучего материала песчано-алевритовой размерности весом до 50 г. При этом учитывается, что гравийные зерна размерностью более 5,0 мм удаляются просеиванием через сито, а глинистые частицы менее 0,0I мм удаляются отмучиванием.

2.5. Подготовка проб к гранулометрическому анализу

2.5.I. Общие сведения

Основной особенностью подготовки проб к этому анализу является получение сыпучего материала из обломочных частиц в том виде, в каком они первоначально осаждались в водном или воздушном бассейнах. Подготовка проб к гранулометрическому анализу является очень ответственной процедурой и от того каким способом она будет осуществлена зависит конечный результат анализа.

Дробность гранулометрического анализа зависит от задачи исследования. Геолого-съемочные, биостратиграфические и другие работы, не требующие углубленного анализа вещественного состава, обычно ограничиваются изучением гранулометрического состава породы в диапазоне пяти-семи основных классов крупности. При детальных литологических, литодинамических, литолого-палеогеографических и других специальных исследованиях и при подготовке образцов к другим видам анализа рекомендуется применять дробные гранулометрические шкалы. Только в этих случаях удается подметить важные различия между отдельными образцами пород. Например, установить особенности, отличающие осадки, накопленные в разное время и в различной физико-географической обстановке.

Подготовка образцов к гранулометрическому анализу редко осуществляется без предварительной обработки вследствие слипания отдельных обломочных частиц в более крупные агрегаты и присутствия в породах не обломочного - хемогенного, биогенного и углеводородного вещества. Различают три типа разделения породы на слагающие ее частицы: дезагригацию (дезинтеграцию) применительно к рыхлым и к цементированным песчаным и песчано-глинистым породам, отмывку частиц от глинистых и хемогенных корок и пептизацию - применительно к глинистому материалу пород.

Кроме этого способы подготовки проб к гранулометрическому анализу различают по конечному состоянию перед гидравлической классификацией, а именно, до:

- агрегатного (структурного);
- дисперсного (с распадом на элементарные, первичные частицы);
- и освобожденные от всех минеральных легко разрушаемых компонентов (для гранулометрического анализа "по кварцу" как основному обломочному материалу).

2.5.2. Удаление органического вещества

Органическое вещество обычно удаляют прокаливанием образца. Однако прокаливание образца является нежелательным процессом подготовки пробы к гранулометрическому анализу. При прокаливании минералы, содержащие в своем составе кристаллизационную воду, гидроксилы и углекислоту и другие, выделяя воду и разрушая соединения с гидроксилами и углекислотой, переходят в новые полиформные модификации минералов, например, гидрослюды в мускавит или в серицит и т.д.

Поэтому органическое вещество рекомендуется удалять путем его разложения под воздействием атомарного кислорода в водной среде. Для этого пробу рыхлой породы или образец цементированной породы, раздробленной на кусочки до размера горошины, загружают в стеклянный или фарфоровый стакан и в него заливают 10-15% раствор перекиси водорода (H_2O_2), т.е. пергидроль объемом до 0,2 литра. Стакан помещают в вытяжной шкаф. Интенсивное вспенивание ликвидируют частым перемешиванием эмульсии стеклянной палочкой или путем доливания небольших порций чистой воды. Выплескивание пены не допускается из-за возможности потери тонкодисперсного материала. Процесс вспенивания обычно прекращается в течение 1 часа при весе образца до 50 г. Материал пробы выдерживают до полного прекращения выделения пузырьков газа, не менее 2 суток. Некоторые пробы газируют очень слабо. Однако и такие пробы выдерживают в растворе H_2O_2 не менее 1 суток. После 1-2 суток материал пробы промывают чистой водой, сливая отстоявшуюся часть раствора и доливая новую порцию чистой воды. Отмывку осуществляют до 4-5 раз.

В процессе обработки пробы раствором H_2O_2 кусочки цементированной породы частично разделяются на первичные частицы. Если порода не содержит органическое вещество или содержание его не превышает I%, то обработка пергидролью не производится.

2.5.3. Экстрагирование нефти, газа и битуминозных веществ.

Экстрагирование исходного образца при подготовке к гранулометрическому анализу проводят сильными растворителями, например, хлороформом ($CHCl_3$), четыреххлористым углеродом (CCl_4), четырехкомпонентной смесью спирта, хлороформа, четыреххлористого углерода и бензола в соотношении I:I:I:4 и другими растворителями. Оптимальный растворитель, обеспечивающий требуемое качество экстракции и одновременно сохранность материала пробы, следует подбирать экспериментально.

Для экстрагирования образцов крепких пород используют приборы типа Сокслета, изготовляемыми отечественной промышленностью с плоскодонными колбами объемом 300, 500 и I000 $см^3$. Методика экстрагирования заключается в продолжительной выдержке образцов в горячем растворителе при температуре, близкой к температуре кипения. Пары чистого растворителя, конденсируясь в холодильнике, возвращаются в экстракционную камеру. Растворитель постепенно обогащается экстрагируемым веществом. Окончание экстрагирования определяют по отсутствию окраски растворителя в экстракционной камере (колбе).

Образцы рыхлых пород загружают в экстрактор упакованными в патроны из фильтровальной бумаги.

После выгрузки аппарата образцы выветривают в вытяжном шкафу, затем взвешивают и по разности веса до и после экстрагирования определяют вес экстрагированных веществ и их процентное содержание в исходном образце.

2.5.4. Дезинтеграция (дезагригация)

Это очень ответственный способ подготовки образцов к дробному гранулометрическому анализу и от того каким образом он будет осуществлен зависит результат изучения гранулометрического состава того или иного образца. Этот способ приходится применять почти всегда, так как даже рыхлые обломочные породы посто-

янно содержат агрегаты слипшихся частиц, а на частицах всегда имеются глинистые корки, железистые пленки и другие гидрофобные и гидрофильные образования, мешающие при диагностике минералов.

Разрушение агрегатов рыхлых пород производят в водной среде в фарфоровой чашке путем растирания их пальцами или резиновым пестиком, которым производят слабые надавливающие усилия и медленные вращательные движения. Если это окажется не эффективным, то агрегаты следует отделить от общей массы зерен путем просеивания и повторно только для них снова произвести механическую дезагрегацию надавливанием и растиранием резиновым пестиком. Если снова останутся агрегаты, то чашку подогревают или в нее насыпают до I г порошка щавелевой кислоты. В растворе щавелевой кислоты не только достигается более полная дезагрегация, но и происходит очистка обломочных зерен от глинистых и железистых пленок, а это обеспечивает дальнейшее использование песчано-алевритовых частиц другими методами. Полноту дезагрегации проверяют под лупой 8-I0 кратного увеличения или лучше под бинокулярным микроскопом.

Удаление глинистых корок, железистых и других хемогенных пленок не только улучшает последующую диагностику минералов, особенно оптическими методами, но и повышает качество и способствует стандартизации разделения песчано-алевритового материала на дробные классы.

Песчано-алевритовые породы с глинистым цементом разрушают длительным размачиванием в течение нескольких суток, которое сопровождают частым подогревом или кипечением при обычном давлении или в автоклаве. Размачивание глинистого цемента продолжают до тех пор пока порода будет в состоянии легко разрушаться пальцами или под воздействием резинового пестика.

Породы, цементированные легко растворимыми в воде веществами (KCl, $NaCl$ и др.), разрушают растворением вещества дистиллированной или чистой питьевой водой. Для ускорения процесса растворения образец дробят на кусочки размером до 5-I0 мм резиновым пестиком. Если это не дает желаемых результатов, то для дробления образца используют фарфоровый или даже железный пестик. После растворения вещества цемента обломочный материал промывают чистой водой. При необходимости породу растирают и из нее отмучивают глинистые частицы размерностью менее 0,0I мм.

При механической дезинтеграции и дезагрегации обломочных пород происходит разрушение неустойчивых компонентов (выветрелых зерен рудных минералов, обломков эффузивных пород, зерен глауконита и других минералов). Поэтому для сохранения неустойчивых компонентов даже рыхлые породы рекомендуется обрабатывать химическими растворами кислот, щелочей и других веществ.

Например, с целью пептизации глинистых частиц и удаления органического вещества, современные песчано-глинистые осадки обрабатываются раствором аммиака и пергидроля [50].

Песчано-алевритовые породы, слабо цементированные карбонатным или железистым цементом, удается дезинтегрировать действием 5-7%-ного раствора уксусной кислоты (CH_3COOH) с подогревом на водяной бане и действием 3-5%-ным холодным раствором соляной кислоты (HCl).

Более крепкие породы рекомендуется сначала раздробить до величины горошины, а затем залить более концентрированным раствором соляной, азотной или другой кислоты в зависимости от состава цемента. При этом необходимо учитывать, что применение более концентрированных растворов особенно сильных кислот способствует разрушению ряда минералов, например, апатита, некоторых пироксенов, амфиболов, хлоритов и других цветных разновидностей. Так, воздействием 10-20%-ного раствора, а в ряде случаев 50%-ного раствора соляной кислоты удаляют железистые цементы, а также гипсовый и фосфатный цементы. Этот способ обычно применяют и для выделения терригенной части карбонатных пород. В этом случае вес исходного образца увеличивают в зависимости от процентного содержания обломочного материала и он должен быть не менее 1 кг.

Опаловый цемент удаляют раствором едкой щелочи (КОН), доломитовый цемент разрушают и удаляют 10-20%-ным раствором соляной кислоты с подогревом на водяной бане. Таким же образом разрущают и удаляют цемент из гидроокислов железа. Породы, цементированные сульфидами железа, могут быть дезинтегрированы воздействием 10-15%-ным раствором HNO_3 с кипячением.

Дезинтеграция пород с редко встречающимися по составу цементами рассмотрена в работах В.А.Новикова [43].

Способы дезинтеграции цементированных пород воздействием ультразвука пока остаются в экспериментальной стадии раз-

работки. Хотя в настоящее время ультразвук с успехом применяется для очистки от различных пленок и примазок на поверхности зерен и для пептизации глинистых суспензий при электронно-минералогических исследованиях. В процессе озвучивания разрушаются выветрелые зерна и зерна пород с тонкоагрегатным строением. При этом дезинтегрируются на отдельные зерна только до 50% объема породы. С увеличением времени "облучения" ультразвуком увеличивается содержание классов алевритовой (0,I-0,0I мм) и глинистой (менее 0,0I мм) размерности. Эти существенные недостатки не способствуют широкому использованию ультразвука в лабораториях гранулометрического анализа, хотя имеется выбор различных типов ультразвуковых аппаратов, пригодных для отмывки проб. Среди них наиболее рациональными представляются аппараты типа УЗУ-0I, УЗМ-03-04, УЗМ-I95 и другие.

2.5.5. Пептизация и диспергация

Это процессы разделения слипшихся агрегатов на отдельные составляющие их частицы. Это особенно важно при подготовке песчано-глинистых и алеврито-глинистых проб, в составе которых содержится значительное количество тонкодисперсного материала, способного к коагуляции в суспензии. Поэтому получение агрегативно-устойчивых суспензий путем правильного подбора поверхностно-активных веществ (ПАВ) - стабилизаторов является необходимым и важным этапом подготовки проб к анализу [34, 63].

Обычно тонкодисперсные частицы (размерностью менее 0,0I м несут на себе в водной среде электрические заряды, которые в большинстве случаев отрицательны. Отрицательно заряженные частицы стремятся соединиться с положительными ионами водорода, натрия, кальция и т.д. Ненасыщающие раствор отрицательные ионы гидроксила (ОН) создают вокруг частицы отрицательное заряженное поле , которое предохраняет слипание частицы с другой, т.е. коагуляци.. Однако такие идеальные условия при использовании обычной воды в качестве дисперсионной жидкости не имеют место. Например, даже в простой водопроводной воде обычно присутствуют незначительные концентрации электролитов (соляной кислоты, хлористого натрия и других), под действием которых происходит ликвидация защитного ареала отрицательных зарядов вокруг дисперсных частиц. Поэтому частицы начинают быстро

коагулировать. В этих случаях при седиментационном анализе сильно занимается содержание классов тонких частиц и искажаются результаты наблюдений. Во избежание этого нежелательного процесса следует пользоваться только дистиллированной водой и в суспензию добавлять определенное количество стабилизаторов - поверхностно активных веществ (ПАВ). Дисперсную среду и добавки ПАВ можно выбрать на основании седиментационных опытов. Оптимальными являются такие, которые при прочих равных условиях обеспечивают наибольшее содержание мелких классов.

На практике необходимо достаточно быстро и качественно установить степень агрегативной устойчивости дисперсных частиц в исследуемой жидкости. Для этого используют, например, оптический микроскоп и судят об устойчивости, наблюдая за поведением частиц в капле дисперсионной среды. При хорошем смачивании и достаточной концентрации ПАВ агрегаты разделяются, при плохом смачивании и неправильно выбранного ПАВ - видны скопления частиц. Быстрое осветление суспензии, вызванное осаждением хлопьевидных агрегатов, свидетельствует на плохую устойчивость. Следует заметить, что оба приема субъективны при оценке и требуют определенных экспериментальных навыков.

Следует отметить, что пирофосфат натрия ($Na_4P_2O_7 \cdot 10\ H_2O$) и тринатрийфосфат по многочисленным экспериментальным данным, являются одними из лучших стабилизаторов. Характеристики эмпирически подобранных и общепринятых дисперсионных сред и стабилизаторов приведены в табл.2.I.

В практике седиментационного анализа кроме указанных стабилизаторов можно использовать аммиак, его требуется всего несколько капель на литр воды (или I $см^3$ 25%-ного раствора аммиака); 0,02 - нормальный раствор соды; 0,0I - нормальный раствор соли щавелевой кислоты; соль гексаметафосфатной кислоты и т.д.

2.5.6. Отмучивание - процесс удаления из пробы частиц размером меньше 0,0I мм. Метод отмучивания основан на многократном взмучивании, отстаивании и сливании суспензии от первоначального уровня H до некоторого уровня h по прошествии принятого в анализе промежутка времени t от начала седиментации. Величины t, H и h определяют в зависимости от высоты градуированного стакана и скорости осаждения частиц размерностью 0,0I мм.

Для отмучивания используют градуированные стеклянные ста-

Таблица 2.I

Указатель дисперсионных жидкостей и стабилизаторов, заимствовано из [34]

Материал	Дисперсионная жидкость	Стабилизатор (ПАВ)
Алмаз	Дистиллированная вода	Карбонат натрия
Апатитовый концентрат	Ацетон	Пирофосфат натрия
Арсенаты н.р.в.	Дистиллированная вода	П.0,003 моль/л
Бария карбонат	Циклогексанон	-
Гипс	Этиловый спирт	-
Глина	Дистиллированная вода	Тринатрий фосфат, П.0,002 моль/л
Глинозем	То же	То же
Доломит	"	"
Железный колчедан (пирит)	Этиленгликоль	-
Известняк	Дистиллированная вода	П.0,002 моль/л П.0,005 моль/л Силикат натрия 0,2-2,0%
Кварц	То же	Оксалат натрия, Тринатрийфосфат
Корунд	Этиловый спирт абс.	-
Меди соединения н.р.в.	Дистиллированная вода	П. 0,001-0,003 моль/л
Наждак	То же	П. 0,003 моль/л
Пемза	"	Тринатрийфосфат
Силикаты н.р.в.	"	П. 0,001-0,005 моль/л
Тальк	"	П. 0,002 моль/л
Тяжелых металлов соединения	"	П. 0,002 моль/л
Шпат полевой	"	Тринатрийфосфат Оксалат натрия

Примечание. абс. - абсолютный; н.р.в. - нерастворим в воде.
П - пирофосфат натрия ($Na_4P_2O_7$ $10\ H_2O$).

каны высотой 200-250 мм и диаметром не менее 130-150 мм. При отсутствии таковых используют стаканы объемом 1,0-2,0 литра и высотою 150-170 мм.

1. После завершения процесса дезинтеграции нерастворимый дисперсный осадок переводят в стакан для отмучивания частиц размером менее 0,01 мм.

2. Для отмучивания используют, как правило чистую питьевую воду из водопровода при условии, если она удовлетворяет санитарным нормам. Воду отстаивают, подогревают и затем охлаждают до нормальной температуры 18-20°С. Эту процедуру необходимо строго выполнять с целью удаления пузырьков воздуха, присутствие которых искажает результаты отмучивания.

3. Стакан заполняют чистой водой до заданной отметки и затем тщательно перемешивают, введя несколько капель 25%-ного раствора аммиака на 1 литр эмульсии или требуемое количество иного стабилизатора.

4. После 1,5-2-минутной паузы начинают отсчет времени. Время отстаивания t определяют в зависимости от высоты слива эмульсии ($H - h$) по формуле $t = S/v$, где $S = H - h$ высота столба слива эмульсии, в см, а v - скорость осаждения шарообразных частиц, вычисленная на основе закона Стокса (без или с учетом поправочного коэффициента).

Теоретическое обоснование и экспериментальное подтверждение процесса отмучивания приведены в ряде специальных работ [3, 4, 9, 10, 14, 22, 26, 27, 32 и др.]. Скорость свободного осаждения шарообразных частиц кварца приведена по нашим экспериментам в таблице 2.2, а изменение вязкости и плотности воды в зависимости от ее температуры в табл. 2.3.

5. Для слива эмульсии применяют сифон, который навешивают на край сосуда. Диаметр сифона не должен превышать 8-10 мм. Размеры сифона должны быть согласованы с высотой сосуда с учетом высоты слоя (величины h) эмульсии, остающейся в нем.

6. Для увеличения эффективности одновременно отмучивают 10-15 проб, используя 10-15 сосудов, которые устанавливают на столе, оборудованном желобом.

7. Процесс отмучивания продолжают до тех пор, пока столб жидкости выше уровня h не будет прозрачным по истечении времени t отстаивания. В зависимости от состава пробы отмучивание осуществляют от 10 до 20 раз, а в случае пробы с большим содер-

жанием тонкодисперсного материала до 30 отмучиваний и более.

При этом добавки ПАВ - стабилизатора прекращают примерно после 10 отмучиваний или количество ПАВ на 1 отмучивание сокращают в 2-3 раза.

8. После завершения процесса отмучивания дисперсный остаток, осевший на дно сосудов, выгружают, высушивают и взвешивают, а результат записывают в журнал в графу - ПА - песчано-алевритовая часть пробы. Вычисляют процентное содержание ПА от веса исходного образца, принятого за 100%.

Содержание глинистой части (тонкодисперсного материала менее 0,01 мм) вычисляют по разности между весом сухой исходной пробы ($P_{исх}$) образца и сухой навески ($P_{ап}$) его песчано-алевритовой части плюс сухой навески гравийной части ($P_{гр.}$), то есть

$$P_{гл} = P_{исх} - P_{ап} \qquad (2.1)$$

или

$$P_{гл} = P_{исх} - (P_{ап} + P_{гр}), \qquad (2.2)$$

а ее процентное содержание определяют по формулам (2.3) и (2.4)

$$P_{гл}\% = \frac{P_{исх} - P_{ап}}{P_{исх}} \times 100\%, \qquad (2.3)$$

$$P_{гл}\% = \frac{P_{исх} - (P_{ап} + P_{гр})}{P_{исх}} \times 100\%. \qquad (2.4)$$

Следует отметить, что в состав глинистой части вошли растворимые компоненты пробы.

9. Контрольные опыты для введения поправок проводят на каждой типичной породе исследуемого района. При этих опытах сливаемую из сосудов эмульсию со взвешенными частицами менее 0,01 мм собирают в отдельные бутыли емкостью 16-20 литров и отстаивают в течение 2 суток и более. Отстоявшуюся воду сливают до уровня 80-100 мм. Остатки воды вместе с глинистым материалом (< 0,01 мм) выгружают в одну выпарительную чашу. Воду выпаривают. При необходимости сохранение воды, сорбированной глинистыми частицами, отмученную часть глинистого материала высушивают при температуре 30-40°С.

Разность между весом сухой исходной навески ($P_{исх}$) и суммой весов сухой песчано-алевритовой части, включая гравийную часть, и сухой глинистой части ($P_{гл}$) представляет собой величину

Таблица 2.2

Скорость свободного осаждения шарообразных частиц кварца при разной температуре воды

Диаметр частиц, мм	Скорость свободного осаждения частиц, см/с, при температуре воды				
	I0°C	I2°C	I5°C	I7°C	20°C
0,05	0,208	0,22	0,238	0,25I	0,27
0,0I	0,0076	0,0078	0,008I	0,0085	0,0092
0,005	0,00I73	0,00I87	0,00204	0,002I	0,00225
0,002	0,00028	0,0003	0,00033	0,00034	0,00036
0,00I	0,00007	0,000076	0,000083	0,000086	0,000091

Таблица 2.3

Зависимость вязкости и плотности воды от температуры

Температура, °C	Вязкость, x1000 пуаз	Плотность, г/см³	Температура, °C	Вязкость, x1000 пуаз	Плотность, г/см³
0	I7,94	0,9999	20	I0,09	0,9982
5	I5,I9	I,0000	2I	9,84	0,9980
I0	I3,I0	0,9997	22	9,6I	0,9978
I5	II,45	0,9992	23	9,38	0,9976
I6	II,I6	0,9990	24	9,I6	0,9973
I7	I0,88	0,9988	25	8,95	0,997I
I8	I0,60	0,9986	30	8,0	0,9958
I9	I0,34	0,9984	34	7,22	0,9943

отерь при отмучивании, выраженную в граммах

$$P_{пот} = P_{исх} - (P_{гр} + P_{ап} + P_{гл}) \qquad (2.5)$$

к в процентах,

$$P_{пог.\%} = \frac{P_{исх} - (P_{гр} + P_{па} + P_{гл}) \times 100}{P_{исх}} \qquad (2.6)$$

Эту величину рассматривают как поправку к анализу и распределяют пропорционально весам гравийной, песчано-алевритовой и глинистой частям.

2.6. Способ подготовки проб до агрегатного состояния

Этот способ рекомендуется применять для установления макро- и микроструктуры почв, грунтов и рыхлых осадков современных бассейнов седиментации. Он включает следующие последовательные операции:

1) сушку пробы до воздушно-сухого состояния;

2) отвешивание до 50 г материала пробы;

3) размачивание пробы в воде, а в случае присутствия в пробе органических веществ - ее обработку пергидролем (15%-ным раствором перикиси водорода (H_2O_2) с целью удаления этих веществ;

4) отмучивание глинистых частиц с получением песчано- алевритового (более 0,01 мм) и тонкодисперсного (менее 0,01 мм) остатков.

2.7. Способ подготовки рыхлых и слабо сцементированных образцов до дисперсного состояния с распадом на первичные частицы

Способ включает замачивание, кипячение и растирание резиновым пестиком до разъединения слипшихся зерен с применением слабой химической обработки пергидролем (5-10%-ным раствором H_2O_2 перекиси водорода) и щавелевой кислоты. Он является наиболее распространенным способом подготовки образцов к дробному гранулометрическому анализу рыхлых и очень слабо сцементированных глинистым материалом осадочных пород, грунтов, почв, строительных материалов и других.

В качестве примера рассмотрим схему способа подготовки песчаника, слабо цементированного известково-глинистым цементом.

1. 50 г воздушно-сухой породы отвешивают на лабораторных весах с точностью 0,01 г или 0,001 г.

2. В фарфоровой ступке надавливанием резиновым пестиком (без растирания) производят измельчение образца до размера горошины и меньше в зависимости от величины наиболее крупных обломков. Измельчение рекомендуется сопровождать отсеиванием дроб

ленного продукта через сито с размером ячеек превышающем размер наиболее крупных зерен и обломков пород.

3. Дробленый продукт ссыпают в фарфоровый цилиндрический стакан емкостью до 1,0 литра, в который наливают малыми порциями (до 0,1 литра) 2-3%-ным раствор соляной кислоты до прекращения выделения пузырьков. При этом суспензию периодически перемешивают стеклянной палочкой. Для улучшения и ускорения растворения известкового вещества цемента эмульсию подогревают и при необходимости доводят до кипения.

4. Суспензию переводят на фильтр, оставшийся на фильтре нерастворимый остаток промывают горячей водой.

5. Промывку заканчивают дистиллированной водой до исчезновения реакции на Cl, которая проверяется действием на фильтрат 5%-ной $AgNO_3$ в среде, подкисленной 10%-ной HNO_3. Если глинистый материал составляет не более 3% веса навески или он отсутствует промывку рекомендуется производить горячей водопроводной водой, без проведения реакции на Cl (хлор).

6. Нерастворимый остаток, смытый с фильтра в стеклянный стакан и содержащий органическое вещество, обрабатывается пергидролью (5-10%-ным раствором H_2O_2), объемом 0,1-0,2 литра, до полного прекращения выделения пузырьков газа. Если порода не содержит органические остатки, то обработка пергидролью не производится.

7. Нерастворимый остаток, снятый с фильтра, высушивают до воздушно-сухого состояния, взвешивают и по разности веса исходного образца и нерастворимого остатка определяют потери в весе.

8. Затем материал загружают в стеклянный стакан и осуществляют отмучивание тонкодисперсного материала размерностью менее 0,01 мм.

9. После осаждения частиц размерностью более 0,01 мм на дно стакана чистую воду сливают, а осадок высушивают, ввзвешивают и затем подвергают дробному гранулометрическому анализу седиментационным способом, изложенным ниже.

10. Суспензию с тонкодисперсными частицамми менее 0,01 мм переводят на фильтр, предварительно взвешенный, затем тонкодисперсный материал на фильтре высушивают и вместе с фильтром взвешивают. Определяют вес воздушно-сухого тонкодисперсного материала вычитанием веса фильтра.

2.8. Способы подготовки образцов плотных обломочных пород до дисперсного состояния с распадом на первичные частицы

Разновидности способа разделения плотной обломочной породы на слагающие ее обломочные компоненты отличаются друг от друга и зависят от степени уплотнения пород и состава цементирующего вещества.

Основной особенностью подготовки крепкой породы к гранулометрическому анализу является необходимость разрушения структуры породы для разделения ее на первичные зерна минералов, обломки и тонкодисперсные цементирующие (глинистые) частицы. Операция разрушения должна обеспечить сохранение целости всех этих компонентов. Разрушению подлежат только связи между зернами. Способ дезинтеграции выбирают на основании осмотра образца под бинокулярной лупой и определения состава цементирующего вещества.

В качестве примера рассмотрим схему подготовки песчано-алевритовой породы, плотно цементированной карбонатным (седерит-кальцитовы) цементом, до дисперсного состояния с распадом на первичные частицы.

I. Образец помещают в ступку и резиновым пестиком пытаются размельчить до размера горошины, но если это не дает желаемых результатов, рекомендуется применить фарфоровый и даже металлический пестик. При этом пестиком следует делать только надавливающие усилия. Вращательные движения делать не рекомендуется!

2. Дробленый продукт квартуют и из квартованного материала отвешивают 50-граммовую навеску с точностью до 0,001 г или до 0,01 г.

3. Воздушно-сухую навеску продукта помещают в стеклянный стакан, в который заливают 5%-ный раствор соляной кислоты, объемом до 100 мл. Для ускорения процесса раствор подогревают в водяной бане. При уменьшении интенсивности выделения пузырьков газа в стакан малыми порциями (по 5-10 мл) добавляется 10%-ный раствор этой кислоты через 10-15 минут.

В процессе растворения карбонатного вещества продукт перемешивается стеклянной палочкой, а при необходимости пестиком производят слабые надавливающие усилия без вращательных движений.

4. Суспензию фильтруют, а оставшийся на фильтре нерастворимый материал промывают чистой горячей водой. Промывку заканчивают после проверки исчезновения реакции на Cl при воздействии 5%-ной $AgNO_3$.

5. Нерастворимый остаток смывается с фильтра в стеклянный стакан и в него заливают 0,1-0,2 литра 5-10%-ного раствора перекиси водорода с целью растворения и удаления органического вещества.

6. Далее нерастворимый дезинтегрированный на отдельные частицы материал собирают, высушивают, взвешивают и из него отмучивают частицы менее 0,01 мм по ранее рассмотренным пунктам.

2.9. Подготовка образцов к особому виду так называемому гранулометрическому анализу "по кварцу".

Основная сущность этого способа заключается в том, что рыхлая или цементированная порода освобождается от всех минеральных компонентов за исключением кварца, полевого шпата и устойчивых к разрушению частиц. Подготовка образца к гранулометрическому анализу по этому способу последовательно включает следующие процедуры:

1. Дробление образца с отсеиванием дробленого продукта через сито с ячейками 2 мм или 3 мм во избежание переизмельчения самих зерен (рыхлые породы не дробят).

2. Кипячение продукта дробления в дистиллированной воде с целью растворения хемогенных компонентов и их удаление промывкой материала чистой водой.

3. Обработка продукта 5-10%-ным раствором перекиси водорода (H_2O_2) с целью растворения органического вещества.

4. Обработка продукта "царской водкой", которую осуществляют сначала кипячением продукта в 20-25%-ном растворе соляной кислоты (HCl) в течение 10 минут, затем в процессе кипячения в раствор HCl добавляют небольшие порции (до 5-7 раз) крепкой азотной кислоты (HNO_3) через каждые 10 минут и добавочно смесь кипятят не менее 1 часа (табл. 2.4).

5. Отмывка нерастворимого остатка от кислот и растворенных солей горячей дистиллированной водой с использованием тонкого фильтра;

Таблица 2.4

Объемы дистиллированной воды и кислоты для подготовки образца к гранулометрическому анализу "по кварцу"

Навеска породы, г	Объем дистиллированной воды для растворения хемогенных компонентов кипячением, мл	Объем 37%-ной соляной кислоты (HCI), мл	Объем крепкой азотной кислоты (HNO_3), мл	Емкость сосуда для обработки продукта, мл
I0	50	60	25 (5 раз по 5 мл)	250
I5	75	90	35 (7 раз по 5 мл)	500
20	I00	I20	50 (5 раз по I0 мл)	500
25	I25	I50	62,5 (5 раз по I2,5 мл)	500
30	I50	I80	75 (5 раз по I5 мл)	750
40	200	240	I00 (5 раз по 20 мл)	750
50	250	300	I25 (5 раз по 25 мл)	I000
60	300	360	I50 (5 раз по 30 мл)	I000

6. Обработка едким натром промытого твердого остатка материала с целью растворения образовавшихся гелей и золей кремнекислоты, гуминовых кислот и их аналогов.

7. Кипячение промытого остатка в 5%-ном растворе NaOH, его охлаждение и отмывка от NaOH дистиллированной водой.

8. И, наконец, отмучивание тонкодисперсного материала (менее 0,0I мм) от песчано-алевритового материала, размерностью более 0,0I мм, для последующего разделения на узкие классы.

3. КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО СЕДИМЕНТАТОРА ГС-I

3.I. Назначение и область применения

Гидравлический седиментатор ГС-I (далее седиментатор) предназначен для дробного разделения сыпучего материала на классы по гидравлической крупности или эквивалентному диаметру зерен размерностью от 2,5 мм до 0,0I мм.

Он может быть использован во многих отраслях науки и техники (рудной, нефтяной, морской и другой геологии, в абразивной и в металлургической промышленности, в инженерно-строительной отрасли и т.д.), где необходимо изучение дробного гранулометрического состава песчано-алевритовых пород и искусственных смесей песчано-алевритовой размерности (2,5÷0,0I мм).

3.2. Технические характеристики

3.2.I. Крупность загружаемого сыпучего материала пробы от 2,5 мм до 0,0I мм.

3.2.2. Продолжительность дробного разделения зернистого материала (загрузка, седиментационное разделение и выгрузка материала классов из кювет в бюксы для сушки):

- песчаных проб с размерностью 2,5-0,I м с примесью крупного алеврита (0,I-0,05 м) - 0,75 часа;
- песчано-алевритовых проб с размерностью от 2,5 до 0,0I мм I,25 часа.

3.2.3. Количество получаемых классов:

- крупностью от 2,5 мм до 0,04 мм - I9
- крупностью от 0,04 мм до 0,0I мм - 6.

3.2.4. Диапазоны размерности получаемых навесок классов по эквивалентному диаметру шарообразных частиц кварца (при их плотности 2,65 г/см^3) по стандартной шкале с модулем $\sqrt[10]{10} \approx 1,25$ по ГОСТ 8032-84 приведены в табл. 3.I.

Таблица 3.I

Размерность зернистого материала получаемых классов по диаметру, эквивалентному шарообразным частицам кварца, плотностью 2,65 г/см^3

Номер класса	Эквивалентный диаметр частиц, мм	Номер класса	Эквивалентный диаметр частиц, мм
I	от 2,5 до 2,0	I5	от 0,I до 0,08
2	от 2,0 до I,5	I6	от 0,08 до 0,063
3	от I,5 до I,25	I7	от 0,063 до 0,05
4	от I,25 до I,0	I8	от 0,05 до 0,04
5	от I,0 до 0,8	I9	от 0,04 до 0,03I5
6	от 0,8 до 0,63	20	от 0,03I5 до 0,025
7	от 0,63 до 0,5	2I	от 0,025 до 0,02
8	от 0,5 до 0,4	22	от 0,02 до 0,0I6
9	от 0,4 до 0,3I5	23	от 0,0I6 до 0,0I25
I0	от 0,3I5 до 0,25	24	от 0,0I25 до 0,0I
II	от 0,25 до 0,2	25	менее 0,0I мм
I2	от 0,2 до 0,I6		
I3	от 0,I6 до 0,I25		
I4	от 0,I25 до 0,I мм		

3.2.5. Диапазоны размерности получаемых навесок классов по гидравлической крупности - по скорости осаждения шарообразных частиц кварца приведены в табл. 3.2.

Таблица 3.2

Скорость осаждения шарообразных частиц кварца (при плотности 2,65 г/см^3)

Номер класса	Скорость осаждения частиц, см/с	Номер класса	Скорость осаждения частиц, см/с
I	от 30,5 до 26,2	I3	от 2,2 до I,55
2	от 26,2 до 22,4	I4	от I,55 до I,05
3	от 22,4 до I9,0	I5	от I,05 до 0,7
4	от I9,0 до I6,0	I6	от 0,7 до 0,46
5	от I6,0 до I3,3	I7	от 0,46 до 0,27
6	от I3,3 до I0,8	I8	от 0,27 до 0,I6
7	от I0,8 до 8,7	I9	от 0,I6 до 0,II
8	от 8,7 до 6,8	20	от 0,II до 0,065
9	от 6,8 до 5,4	2I	от 0,065 до 0,04
I0	от 5,4 до 4,I	22	от 0,04 до 0,024
II	от 4,I до 3,05	23	от 0,024 до 0,0I5
I2	от 3,05 до 2,2	24	от 0,0I5 до 0,0092

3.2.6. Масса навески пробы не более 50 г.

3.2.7. Допустимые суммарные потери материала при повторном анализе не превышают:

- при навеске пробы 25 г не более 2%,
- при навеске пробы 50 г не более I%.

3.2.8. Потребляемая мощность пульта управления не более I кВт.

3.2.9. Питание: переменный однофазный ток напряжением (220±22)В и частотой (50±I) Гц.

3.2.I0. Сопротивление изоляции не более 5 МОм.

3.2.II. Габаритные размеры:

- седиментатора не более I020x855x2340 мм;
- пульта управления не более 580x380x345 мм.

3.2.I2. Уровень звука, создаваемого седиментатором, не более 60 дБА.

3.2.I3. Масса:

- седиментатора не более 60 кг;
- пульта управления не более I0 кг.

3.2.I4. Назначенный срок службы - 5 лет.

3.2.I5. Контроль точности результатов.

Для контроля точности производится повторное разделение про-

бы на классы не менее 10% проб от их общего количества. При расхождении ниже допустимой относительной погрешности, приведенной в табл. 3.3, результат следует считать удовлетворительным. Если результат оказался неудовлетворительным, необходимо проверить исправность и работу седиментатора и снова осуществить контрольный анализ.

Таблица 3.3

Допустимая относительная погрешность измерения в диапазоне с доверительной вероятностью Р = 0,95

Весовой процент навески класса, %	Относительная погрешность, % относительных
менее 1,0	не более 30
более 1,0	не более 20

3.3. Устройство и принцип работы седиментатора ГС-1.

3.3.1. Устройство седиментатора ГС-1

Седиментатор выполнен в виде настольного устройства, разработан в соответствии с требованиями современной эстетики и эргономики.

Общий вид и вид сверху гидравлического седиментатора ГС-1 изображены на рис.3.1, 3.2, 3.3.

В корпусе 1 седиментатора смонтирована шаровая опора (шарик) 2 и вал 3. На валу 3 жестко укреплен поворотный стол 4 с желобом, в котором размещено двадцать кювет 5. Корпус герметично закрыт крышкой 6 с уплотняющим сальником и манжетой 7. На валу жестко закреплены нижний 8 и верхний 9 храповики. На верхнюю часть вала вращательно насажена ручка 10 с фиксатором 11. Ручка соединена с электромагнитом 12. На крышке 6 размещены фиксатор 13, накладка 14, крышка люка 15 с воздушным краном 16, фланец 17, рычаг 18 (собачка).

Для полного слива воды из седиментатора ГС-1 в корпусе размещен кран 19, который также служит для промывки внутренней поверхности корпуса, его днища и поверхности поворотного стола и крышки корпуса.

Для осуществления седиментационного процесса на фланце 17 смонтирован седиментационный цилиндр, который состоит из усеченного нижнего 20 и сборного верхнего 21 цилиндров. Для слива

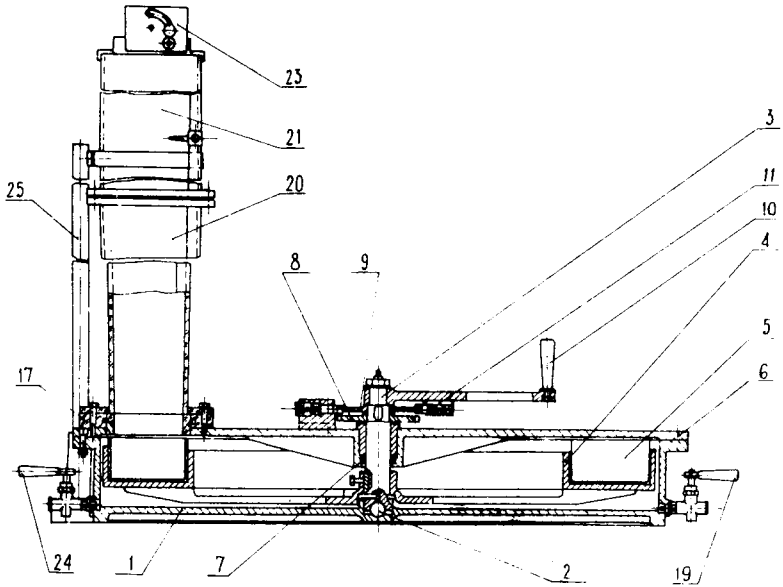


Рис 3.1 Гидравлический седиментатор ГС-1. Общий вид

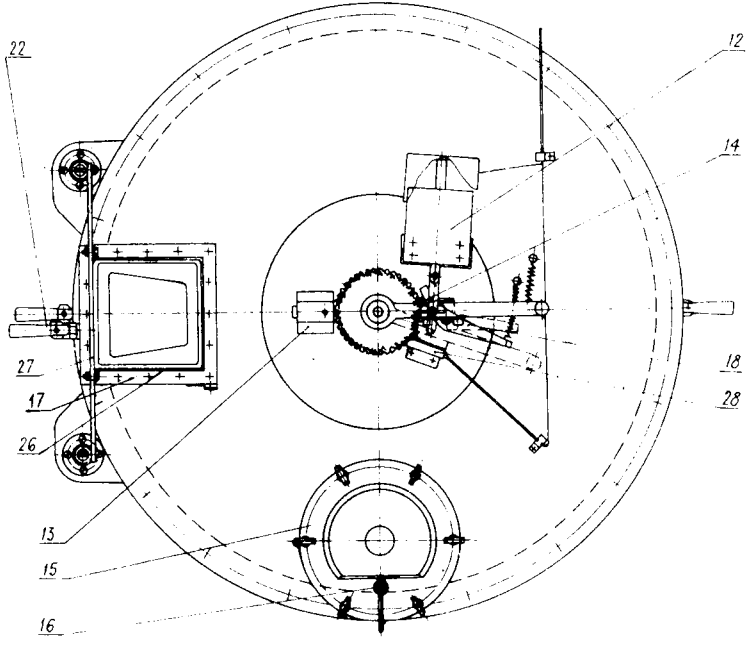


Рис.3.2. Гидравлический осдиментатор ГС-1. Вид сверху.

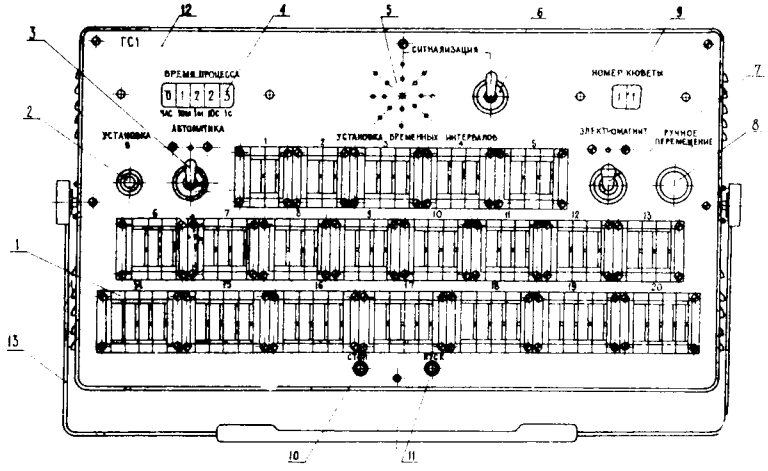


Рис 3.3 Передняя панель пульта управления.
1-переключатели установки временных интервалов(1 20), 2-кнопка установки нуля, 3-тумблер включения автоматики, 4-индикация времени процесса седиментации, 5-динамик сигнализации последней кюветы, 6-тумблер включения сигнализации, 7-тумблер включения электромагнита, 8-кнопка включения ручного перемещения, 9-индикация номера кюветы, 10-кнопка „Стоп", 11-кнопка „Пуск", 12-корпус, 13-ручка.

жидкости (воды) со взвешенными в ней частицами размерностью от 0,04 мм до 0,01 мм в боковом отверстии фланца установлен кран 22. Боковое отверстие фланца через внутреннее отверстие (канал), выполненное по периметру фланца, и вертикальные отверстия сообщается с нижней полостью нижнего цилиндра.

Для загрузки пробы седиментатор снабжен загрузочным устройством 23. Кроме этого для заполнения седиментатора водой в нижней части его корпуса размещен кран 24, который соединен трубопроводом, снабженного краном, с водонапорным (наливным) баком.

Для обеспечения жесткости, надежности и прочности конструкции седиментатор снабжен двумя штангами 25, укрепленными в направляющих втулках корпуса I и жестко соединенными с помощью скобы 26 и планки 27 с седиментационным цилиндром (цилиндрами 21 и 22).

На крышке 6 укреплен герконовый контакт 28 (марки МЭЗСА ДАИК-П2), который соединен выносным электропроводом (шнуром) с пультом управления.

Седиментатор ГС-I укомплектован устройством автоматического управления временным режимом классификации - пультом управления, обеспечивающим работу седиментатора как в автоматическом, так и в ручном режиме.

Схема электрическая принципиальная (КИФГ.048.100.000.ЭЗ) предназначена для управления работой седиментатора и для генерации временных интервалов, установки временных интервалов на двадцати блоках переключателей (контраверсов), формирование последовательных временных интервалов, управления электромагнитом индикации времени процесса, индикации номера кюветы, звуковой сигнализации окончания процесса, ручного управления перемещение кювет, а также стабилизации напряжения питания. Схема электрическая принципиальная состоит из следующих функциональных групп и блоков:

1) платы генерации времени и стабилизации напряжения АР1;

2) платы временных интервалов АР2;

3) платы управления электромагнитом АР3;

4) двадцати блоков установки временных интервалов S4, ... S23 со схемами совпадения V1, V2, ..., V62, ... , V65, R1 ... , R20;

5) блока индикации времени процесса АР4;

6) блока индикации номера кюветы АР5;

7) трансформатора питания схемы автоматики ТI;

8) динамика сигнализации Б;

9) коммутирующих, индикационных управляющих элементов SI, ..., S3, S24, ..., S27, XI, ..., X6, диодов V66, ..., V69, резисторов R2I, R22.

На передней панели установлены (рис.3.3):
I - блоки переключателей (S4, ..., S23) установки временных интервалов; 2 - кнопка установки нуля, 3 - тумблер включения автоматики АВТОМАТИКА, 4 - индикация времени процесса седиментации, 5 - динамик сигнализации последней кюветы и 6 - тумблер включения сигнализации, 7 - тумблер включения электромагнита, 8 - кнопка включения ручного перемещения кювет, 9 - индикация номера кювет, I0 - кнопка "СТОП", II - кнопка "ПУСК". Панель укреплена на корпусе I2 с ручкой I3 для переноса пульта управления.

3.3.2. Принцип работы седиментатора ГС-I

Разделение сыпучего материала на узкие классы по размерности основано на различной скорости свободного осаждения частиц разного размера в вязкой жидкости, например, в воде, в зависимости от их формы и плотности. Разделение базируется на том положении, что на заданной глубине Н за определенное время t часть суспензии ниже глубины Н будет содержать частицы, скорости осаждения которых больше H/t, так как все они успеют опуститься ниже горизонтальной плоскости, находящейся на глубине Н. За такую плоскость принимается плоскость нижнего сечения седиментационного цилиндра, а за глубину Н - высоту столба воды в этом цилиндре, равную 2I5 см.

Все частицы, скорость (заданная) осаждения которых больше H/t_1, пройдя нижнее сечение цилиндра за время t_1 от начала ввода эмульсии в верхнюю часть столба чистой воды в цилиндре, упадут на дно первой кюветы, установленную в створе с этим сечением цилиндра. Частицы, заданная скорость осаждения которых меньше H/t_1, но больше H/t_2, будут осаждаться в течение t_2-t_1, во вторую кювету, установленную в створе с нижним сечением цилиндра с помощью механизма поворота и фиксации столика.

Частицы, заданная скорость осаждения которых H/t_{n-1}, но больше H/t_n, будут осаждаться за время $t_n - t_{n-1}$ в n-ю кювету, установленную в створе с цилиндром под воздействием упомянутого механизма.

Скорость осаждения шарообразных частиц кварца, плотностью равной 2,65 г/см^3, определена экспериментально и приведена в таблице 3.2. Она может быть определена по диаграмме зависимости между диаметром частиц и скоростью их осаждения, изображенной на рис. 3.4.

Для частиц, сильно отличающихся от шарообразной формы, сопротивление среды при их осаждении зависит от ориентации частицы, которая меняется, а вследствие этого изменяется скорость осаждения. Указанные недостатки устраняются введением в рассмотрение "эквивалентного диаметра" частиц, т.е. диаметр такой сферической частицы которая, имея ту же плотность, падала бы в воде со средней скоростью, что и данная частица.

Для частиц заданных размеров, например, ситовых фракций, имеющих иную чем кварц плотность и не сферическую форму, скорость свободного осаждения определяется путем измерения времени прохождения частицами контрольного участка седиментационного цилиндра с помощью секундомера или другого счетчика времени, а затем вычисляется по формуле:

$$v = H_к : t_{изм}, \qquad (3.1)$$

где $H_к$ - расстояние осаждения частиц на контрольном участке, см; $t_{изм}$ - измеренное время осаждения частиц на контрольном участке, сек.

3.3.3. Схема электрическая принципиальная пульта управления КИФГ.048.100.000 ЭЗ предназначена для управления работой седиментатора и для генерации временных интервалов, установки временных интервалов на двадцати блоках переключателей, формирование последовательных временных интервалов, управления электромагнитом, индикации времени процесса, индикации номера кюветы, сигнализации окончания процесса, ручного управления перемещения кювет, а также стабилизации напряжения питания. Схема электрическая принципиальная состоит из следующих функциональных групп и блоков:

1) платы генерации времени и стабилизации напряжения АР1;

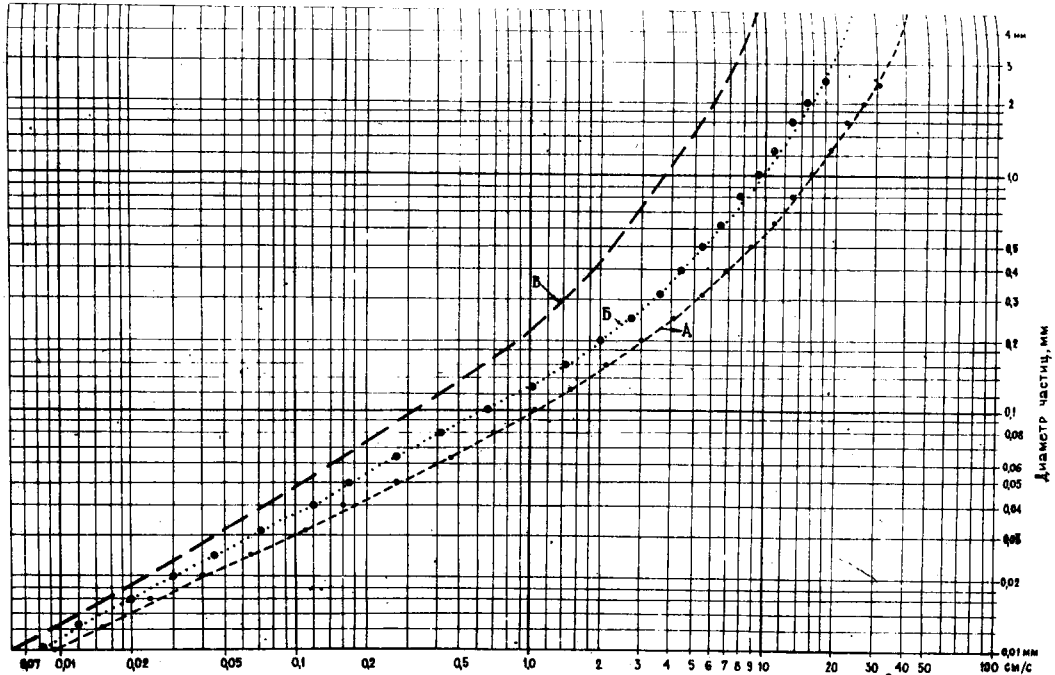


Рис. 3.4. Диаграммы зависимости между скоростью свободного осаждения и их размерностью.

А-гладкие шарики стекла и шарообразные зерна кварца, Б-частицы кварца (продукт механического дробления), В-пластинчатые зерна узких ситовых фракций.

2) платы временных интервалов АР2;

3) платы управления электромагнитом АР3;

4) двадцати блоков установки временных интервалов S4, ..., S23 со схемами совпадения V1, V2, V4, ... , V62, ... , V 65, R23;

5) блока индикации времени процесса АР4;

6) блока индикации номера кюветы АР5;

7) трансформатора питания схемы автоматики T1;

8) динамика сигнализации B;

9) коммутирующих, индикационных управляющих элементов S1, ... , S3; S24, ... , S27; X1, ... , X6; диодов V66, ... , V69; резисторов R24, R25 и резисторов R1, ... , R3.

3.3.4. Принцип работы схемы - пульта управления.

С подачей напряжения 220 В, 50 Гц на вилку X4 и при включении тумблера S24 АВТОМАТИКА, напряжение поступает через предохранитель F1 на трансформатор T1 контакты 1 и 9 диод V67, резистор R24, диод V66. При этом загорается сигнальный диод V66. На вторичных обмотках трансформатора T1 (обмотки соединены последовательно), контактах 11, 18 образуется переменное напряжение порядка 20 В, которое поступает на плату генерации времени и стабилизации напряжения через контакты 30 разъема X1A; X1Б. С подачей переменного напряжения, это напряжение выпрямляется, фильтруется, стабилизируется до получения постоянного напряжения +15 В. Это напряжение необходимо для питания схем, расположенных на плате временных интервалов, плате управления электромагнитом и блоках индикации времени процесса, индикации номера кюветы. С включением напряжения питания схем, должны загораться индикаторные лампы блоков индикации времени процесса и номера кюветы. Для приведения схемы в исходное рабочее состояние необходимо нажать кнопку S1 УСТАНОВКА 0. При этом на индикаторах должны установиться нулевые значения, а схема будет готова для приема команды "ПУСК", т.е. готова к работе.

Установка временных интервалов осуществляется на блоках 1 по 20 переключателей S4, ..., S23. На первых двух блоках 1, 2 переключателей S4, S5 можно установить время от 0,0 до 9,9 секунд, на блоках 3, ... , 13 переключателей S6, ... , S16 можно установить время от 00,0 до 99,9 секунд, на блоках 14, ...

17 переключателей S17, ... , S20 можно установить время от 000,0 до 999,9 секунд, на блоках 18, 19, 20 переключателей S21, ... , S23 можно установить время от 000,0 до 999,9 секунд. Установку времени производить на переключателях по-разрядно, набирая соответствующие цифры. Например: на блоке переключателя S4. Набираем на S4.1 - 2; на S4.2 - 6, получаем 6,2 секунды. Аналогично установку времени производить и на других блоках переключателей (набираем соответствующее время согласно методике работы седиментатора).

После установки на всех двадцати блоках переключателей времени, включить тумблер S26 СИГНАЛИЗАЦИЯ. С его включением подается + 15 В на плату АРЗ при этом в динамике не должно быть слышно звуковой частоты равной 1024 Гц. Сигнал звуковой частоты должен появиться только после установки последней кюветы.

В заключительной стадии включить тумблер S25 ЭЛЕКТРОМАГНИТ. В результате чего напряжение 220 В, 50 Гц поступит на диод V68, резистор R 25 и светодиод V69. Светодиод V69 будет сигнализировать о подаче на розетку X5 напряжения 220 В, 50 Гц, а через вилку, кабель, катушку электромагнита и далее на плату управления электромагнитом АРЗ (контакты 27, ..., 31, X3.A).

Для фиксации перемещения кюветы и индикации номера кюветы на вход пульта управления контакты X6.1 и X6.2 разъема X6, через кабельный разъем поступает сигнал от герконового контакта, установленного на корпусе седиментатора. Контакты X6.3 и X6.4 разъема X6 соединены через кабельный разъем с контактами выносной кнопки "ПУСК", установленной у загрузочного устройства. Данная кнопка соединена параллельно с кнопкой S2 "ПУСК". Это обеспечивает запуск седиментатора либо с пульта управления, либо непосредственно в момент загрузки пробы в седиментационный цилиндр.

Для остановки процесса седиментации необходимо нажать кнопку S3 СТОП.

При нормально протекающем процессе седиментации конец процесса определяется звуковой сигнализацией и возвращением схемы в исходное состояние, т.е. до следующего нажатия кнопки ПУСК. В случае какой-либо неисправности в схеме автоматического управления, необходимо выключить тумблер АВТОМАТИКА и довести процесс до окончания, используя кнопку S27 РУЧНОЕ ПЕРЕМЕЩЕНИЕ. При этом напряжение 220 В, 50 Гц через контакты нажатой кнопки S 27 будет подаваться непосредственно на розетку X5, через вилку и ка-

бель на обмотку электромагнита.

При отпускании кнопки S27 обмотка электромагнита обесточивается и якорь электромагнита за счет пружины вернется в исходное состояние. Таким образом кнопкой S27 можно пользоваться в аварийном случае, а также для подготовки седиментатора к работе, проверки перемещения кювет и других случаях.

Элементы схемы совпадения установлены у каждого блока переключателей и собраны на диодах и резисторе. Например, для блока переключателей S4 диоды VI, V2 и резистор R 5, для блока переключателей S20 диоды V62,V65 и резистор R 23.

В исходном состоянии диоды открыты и на резисторах R4, ..., R23 малый - нулевой уровень. При поступлении временных интервалов на каждый из диодов диоды закрываются и на резисторах R4, ... , R23 появляется высокий уровень или импульсы, которые поступают по проводам 62, ... , 8I на плату АР2 временных интервалов. В плате временных интервалов формируется последовательность импульсов от I до I9, которые поступают на плату управления электромагнитом АР3. В плате АР3 происходит включение тиристора, который и управляет электромагнитом.

Отключение электромагнита происходит за счет замыкания контактов геркона, установленного на копусе седиментатора, то есть при полном перемещении кюветы.

Конструктивно все элементы схемы электрической принципиальной установлены в пульте управления. Платы АРI, АР2, АР3 устанавливаются в направляющих внутри блока. Внутри блока расположен также трансформатор TI.

На передней панели установлены (рис.3.3) блоки переключателей S4, ... , S 23 установки временных интервалов I, кнопки S1, ... , S3, кнопка S27, тумблеры S24, S 25, блок индикации времени процесса АР4, блок индикации номера кюветы АР5, тумблер S 26 СИГНАЛИЗАЦИЯ, с динамиком В, платы сигнализации напряжения сети с диодами V 66,V67 резистором R24 и диодами V68, V69, резистором R25. На задней панели установлены предохранители FI, F 2, розетка X5 и разъем X6.

3.4. Указание мер безопасности при эксплуатации и обслуживании седиментатора ГС-I

I. Общие требования безопасности при эксплуатации и обслуживании седиментатора должны соответствовать "Правилам безопасности при геологоразведочных работах", М., Недра, 1979, утвержденных Госгортехнадзором 20 марта 1979 года, настоящему разделу и ГОСТ 12.1.019-79 и ГОСТ 12.1.030-81.

2. Корпус седиментатора и пульт управления должны быть подключены к заземлению. Общее сопротивление заземления должно быть не более 4 Ом.

3. При загрузке материала пробы обязательно использовать лестницу, оборудованную перилами и имеющую площадку не менее 60х60 см. ЗАПРЕЩАЕТСЯ вместо лестницы использовать стулья, табуретки и прочие предметы.

4. При проведении технического обслуживания седиментатор и пульт управления необходимо отключить от электрической сети и принять меры предосторожности против ошибочного включения в сеть.

5. К работе с седиментатором и его пультом управления допускается оператор (лаборант), прошедший стажировку и сдавший экзамен безопасного ведения работ.

6. Применять седиментатор и его пульт управления допускается в соответствии с назначением, указанным в паспорте ГС-I и в техническом описании и инструкции по эксплуатации седиментатора ГС-I.

7. ЗАПРЕЩАЕТСЯ осуществлять эксплуатацию седиментатора и его пульта управления в местах, доступных воздействию химических активных веществ, разрушающих металлы, а также во взрывоопасных помещениях.

3.5. Указание по сборке и размещению

I. Вскройте транспортные тары и осмотрите упакованные единицы прибора и проверьте комплектность.

2. Внимательно ознакомьтесь с паспортом и техническим описанием и инструкцией по эксплуатации, а затем приступайте к сборке и вводу в эксплуатацию седиментатора и его пульта управления.

3. Седиментатор рекомендуется разместить с учетом обеспечения удобства обслуживания и эксплуатации.

Для размещения одного седиментатора и дополнительного оборудования (весы, сушильный и вытяжной шкафы, шкаф для посуды, рабочий стол и т.д.) к нему площадь помещения должна быть не менее 10 $м^2$, а его высота более 3 м. Пол в помещении должен иметь покрытие из линолеума или кафельных плиток. Рекомендуется помещение обеспечить системой вентиляции и канализацией (раковина для мытья посуды и т.д.).

Температура воздуха в помещении должна быть в пределах 20°С (±5°С) и не должна изменяться в процессе работы не более чем на 2°С в течение 1-го часа.

Вибрация в помещении не должна превышать по амплитуде 1 мм в диапазоне частот до 25 Гц.

Освещенность рабочих мест оператора (ов) должна быть 190-200 лк.

В воздухе не должны содержаться вредные примеси, вызывающие коррозию металла.

Седиментатор не должен подвергаться одностороннему нагреву, поэтому сушильный шкаф и другие нагревательные приборы должны быть удалены на расстояние не менее 1 м.

4. Распакованные сборочные единицы и узлы седиментатора тщательно вычистите от пыли и заводской смазки. Цилиндры 20 и 21, корпус 1, поворотный стол 4 и кюветы 5 тщательно промыть сначала мыльной водой, затем чистой водой.

5. Произвести сборку седиментатора по рис.3.1 и 3.2. На крышке 6 седиментатора закрепить фланец 17 и нижний седиментационный цилиндр 20. Соединить фланцы нижнего и двух верхних 21 седиментационных цилиндров с помощью прокладок между ними и болтов с гайками.

Собрать штанги 25, для чего соединить штангу КИФГ.048.000.008 и КИФГ.048.000.048 резьбовой муфтой КИФГ.048.000.009. После этого установить каждую штангу 25 в направляющие втулки корпуса 1. Закрепить верхний цилиндр 21 скобой 26 к планке 27.

6. Установить седиментатор на подставке или на столе высотою 35-45 см. Приготовить кюветы и сливные емкости.

7. Соединить сливной кран 19 через гибкий шланг со сливной раковиной.

8. Установить водоналивной бак объемом не менее 120 литров

на подставке или на кронштейне, заделанном в капитальной стене, при этом дно бака должно быть на 5-10 см выше уровня верхней плоскости седиментационного цилиндра. Соединить гибким шлангом кран наливного бака с краном 24 для заполнения седиментатора. Контрольный слив бака соединить с трубопроводом или с гибким шлангом, второй конец которого должен быть выведен над сливной раковиной или в другой элемент канализации. Наполнить бак водой из водопроводной сети и отстоять воду не менее 1 часа.

9. Заземлить корпус седиментатора и пульт управления согласно схемы электрической подключения КЛФГ.048.000.00095 электропроводом, например НБМ 1,5 4 500 ГОСТ 17515-72.

10. Проверить герметичность всех стыков и соединений седиментатора. Для этого заполнить седиментатор водой из наливного бака, открыв кран этого бака и кран 24 (рис.3.1 и 3.2). Кран 19 для слива воды из седиментатора должен быть закрыт. После заполнения седиментатора водой кран 24 должен быть закрыт.

После окончания проверки герметичности воду из седиментатора слить через кран 19 в сливную раковину, а кран 19 закрыть.

11. Выполнить подключение седиментатора к пульту управления согласно схемы электрической подключения КЛФГ.048.000.000.95.

12. Установить в исходное положение верхний храповик 9. Зуб № 1 храповика должен находиться в сцеплении с чекой фиксатора 13. Для этого ручку 10 перевести по часовой стрелке на величину хода якоря электромагнита и затем вернуть ее в исходное положение. Верхний и нижний храповики повернутся на 1 зуб. Так делать до тех пор пока храповики и поворотный стол повернутся на 360°, а зуб № 1 установится в исходное положение.

13. На этом ручная проверка сборки седиментатора заканчивается.

14. Проверка сборки седиментатора с подключенным пультом управления осуществляется в процессе хода выполнения контрольного гранулометрического анализа.

3.6. Определение (градуировка) высоты столба эмульсии со взвешенными частицами, последовательно сливаемой в сборные емкости

Как указывалось выше с целью сокращения времени в 10-15 раз классификацию материала осуществляют путем последовательного слива требуемого объема воды со взвешенным в ней тонкодисперсным материалом узких классов (табл.3.3). При расчете принималась скорость свободного осаждения частиц с размерностью узких классов: 0,04-0,0315-0,025-0,02-0,016÷0,0125÷0,01 мм или 0,175÷0,1 -: 0,065÷0,04÷0,024÷0,015÷0,0092 см/сек.

Расчет высоты столба воды, сливаемой с материалом каждого класса, рассмотрим на конкретном примере при температуре воды равной 20°С и нормальной вязкости ее. Сначала на прозрачной стенке цилиндра сверху-вниз наносят риски через 20 см. Затем наполняют цилиндр седиментатора водой до отметки 215 см, открывают кран 22 и одновременно включают счетчик времени, например, секундомер. На отметке уровня зеркала воды в цилиндре равной 195 см записывают отсчет времени с момента начала слива, затем записывают показание времени на отметке 175 см и т.д. В результате получают следующие данные:

на слив столба воды	215-195 см	=	20 см	потребовалось	20
то же	215-175	=	40	"	42
"	215-155	=	60	"	64
"	215-135	=	80	"	86
"	215-115	=	100	"	112
"	215-95	=	120	"	144
"	215-75	=	140	"	173
"	215-55	=	160	"	205
"	215-35	=	180	"	240
"	215-15	=	200	"	260
"	215-0	=	215	"	275

Для вычисления интервалов слива эмульсии со взвешенными частицами 20-го; 21-го, 22-го, 23-го, 24-го и 25-го класса строят кривую (рис.3.5). При этом на оси абсцисс откладывают данные отсчета времени, а по оси ординат - данные интервалов слива.

На момент начала слива взвешенный материал распределится по высоте цилиндра следующим образом. Время осаждения материала 20-го класса составляет 1230 сек. (табл.3.3). За это время

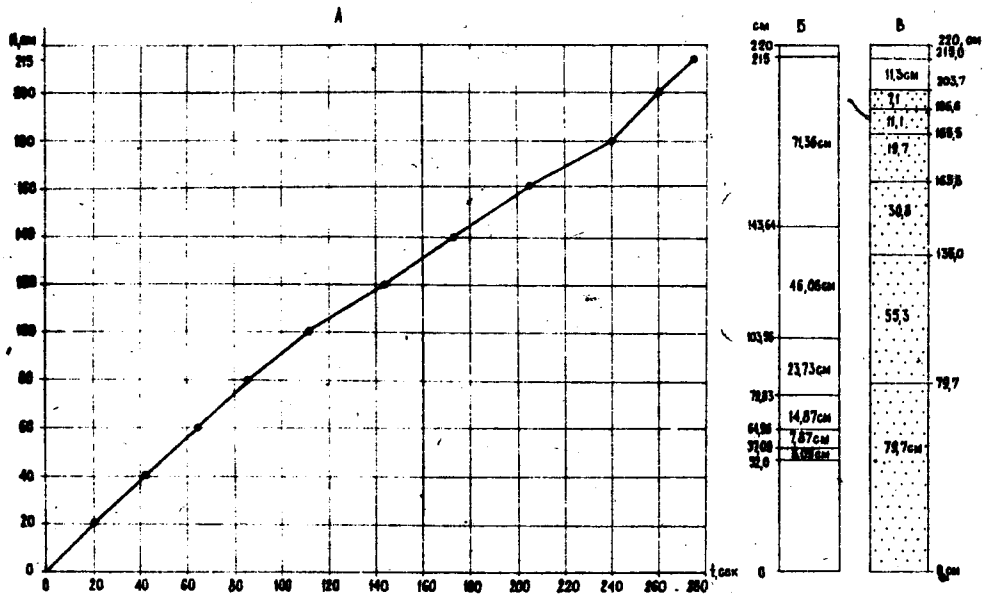


Рис.3.5. Диаграмма скорости слива воды из седиментационного цилиндра (А) отметки снижения зеркала воды при сливе эмульсии с частицами классов: 0,04-0,0315-0,025-0,02-0,016-0,0125-0,01 мм и мокс (Б) и распределение материала классов по высоте цилиндра на момент начала последовательного слива эмульсии из цилиндра (В).

Таблица 3.3

Размерность классов, полученных при гидравлической классификации сыпучего материала седиментационным способом с помощью седиментатора ГС-I

№ классов или кювет	Размерность классов по диаметру зерен, эквивалентных шарообразным частицам кварца, мм	Контрольный участок (высота столба воды I70 см)			Седиментатор ГС-I (высота столба воды 2I5 см)		
		Время осаждения шарообразных частиц кварца и шариков стекла от начала отсчета, с	Классы по скорости осаждения шарообразных частиц кварца и шариков стекла, см/с	Интервал времени осаждения частиц в соответствующую кювету, с	Время осаждения шарообразных частиц кварца и шариков стекла от начала отсчета, с	Классы по скорости осаждения шарообразных частиц кварца и шариков стекла, см/с	Интервал времени осаждения частиц в соответствующую кювету, с
I	2	3	4	5	6	7	8
I	2,5-2,0	5,6-6,5	30,5-26,2	0,9	7-8,2	30,5-26,2	I,2
2	2,0-I,6	6,5-7,6	26,2-22,4	I,I	8,2-9,6	26,2-22,4	I,4
3	I,6-I,25	7,6-9,0	22,4-I9,0	I,4	9,6-II,3	22,4-I9,0	I,7
4	I,25-I,00	9,0-I0,6	I9,0-I6,0	I,6	II,3-I3,4	I9,0-I6,0	2,I
5	I,00-0,8	I0,6-I2,8	I6,0-I3,3	2,2	I3,4-I6,2	I6,0-I3,3	2,8
6	0,8-0,63	I2,8-I5,8	I3,3-I0,8	3,0	I6,2-I9,9	I3,3-I0,8	3,7
7	0,63-0,50	I5,8-I9,5	I0,8-8,7	3,7	I9,9-24,7	I0,8-8,7	4,8
8	0,5-0,4	I9,5-24,8	8,7-6,8	5,3	24,7-3I,2	8,7-6,8	6,7
9	0,4-0,3I5	24,8-3I,5	6,8-5,4	6,7	3I,4-39,8	6,8-5,4	8,4

Продолжение табл. 3.3

I	2	3	4	5	6	7	8
I0	0,3I5-0,250	3I,5-4I,5	5,4-4,I	I0,0	39,8-52,5	5,4-4,I	I2,7
II	0,25-0,2	4I,5-55,7	4,I-3,05	I4,2	52,5-70,0	4,I-3,05	2I,5
I2	0,2-0,I6	55,7-77,3	3,05-2,2	2I,6	70,0-98	3,05-2,2	28
I3	0,I6-0,I25	67,3-II0	2,2-I,55	32,7	98-I40	2,2-I,55	42
I4	0,I25-0,I	II0-I62	I,55-I,05	52,0	I40-205	I,55-I,05	65
I5	0,I-0,08	I62-243	I,05-0,7	8I,0	205-307	I,05-0,7	I02
I6	0,08-0,063	243-370	0,7-0,46	I27,0	307-467	0,7-0,46	I60
I7	0,063-0,05	370-630	0,46-0,27	260,0	467-796	0,46-0,27	329
I8	0,05-0,04	630-970	0,27-0,I75	340,0	796-I230	0,27-0,I75	434
I9	0,04-0,03I5	970-I545	0,I75-0,II	575,0	I230-I955	0,I75-0,II	725
20	0,03I5-0,025	I545-2615	0,II-0,065	1070,0	I955-33I0	0,II-0,065	I355
2I	0,025-0,02	26I5-4250	0,065-0,04	I635,0	38I0-5375	0,065-0,04	2065
22	0,02-0,0I6	4250-7035	0,04-0,024	2835,0	5375-8960	0,04-0,024	3585
23	0,0I6-0,0I25	7035-II335	0,024-0,0I5	4250,0	8960-I4330	0,024-0,0I5	5470
24	0,0I25-0,0I	II385-I8480	0,0I5-0,0092	7I25,0	14330-23370	0,0I5-0,0092	8940

частицы 0,0315 мм осядут на глубину:

1230 с x 0,11 см/с = 135,3 см

Отсюда материал 20-го класса (0,04-0,0315 мм) будет взвешен в нижней части цилиндра по высоте:

215 см - 135,3 см = 79,7 см

Материал 21-го класса (0,0315-0,025 мм) - расположится во взвеси выше, так как

1230 с x 0,065 см/с = 79,95 ≈ 80 см

Отсюда 135,3 см - 80 см = 55,3

В процессе слива эмульсии частицы будут осаждаться, уменьшая сливаемый интервал с частицами каждого класса.

Определим поправку на высоту сливаемого интервала 20-го класса следующим расчетом.

За время слива эмульсии с частицами 20-го класса (0,04÷0,0315 мм) частицы размерностью 0,0315 мм осядут на:

$\Delta h_{0,0315}$ = 86 с x 0,11 см/с = 9,46 см.

Время слива столба эмульсии высотой 9,46 см найдем из пропорциональной зависимости:

$$\frac{80 \text{ см}}{86 \text{ с}} = \frac{9,46 \text{ см}}{\Delta t_{20}}.$$

Откуда

$$\frac{86 \times 9,46}{80} = 10,17 \text{ с}.$$

Отсюда время слива интервала эмульсии с частицами 20-го класса составит

86 с - 10,17 с = 75,83 с,

а поправка к интервалу осаждения частиц 0,0315 мм за это время составит

75,83 с x 0,11 см/с = 8, 34 см.

Вычитают из интервала эмульсии 20-го класса к моменту слива эту поправку и получают искомый интервал, равный

79,7 см - 8, 34 см = 71,36 см,

который отмеряют от уровня зеркала воды в цилиндре. На цилиндре наносят риску или указатель глубины слива 20-го класса.

Для определения интервала слива эмульсии с частицами 21-го класса (0,0315-0,025 мм) сначала на графике от ординаты 71,36 см по оси ординат откладывают высоту слива этого интервала, равную 55,3 см, то есть ординату 71,36 см + 55,3 см = 126,66 см. Из

точки пересечения этой ординаты с кривой опускают перпендикуляр на ось абсцисс и определяют величину требуемого времени слива эмульсии с частицами этого класса, равную 154 с. Отсюда поправка на осаждение частиц размерностью 0,025 мм составит:

$$\Delta h_{0,025} = 154 \text{ с} \times 0,065 \text{ см/с} = 10,01 \text{ см}.$$

Из пропорциональной зависимости

$$\frac{126,66 \text{ см}}{154 \text{ с}} = \frac{10,01 \text{ см}}{\Delta t_{21}}$$

находят время слива эмульсии по высоте равной 10,01 см, а именно

$$\Delta t_{21} = \frac{154 \text{ с} \times 10,01 \text{ см}}{126,66 \text{ см}} = 12,17 \text{ с}.$$

Отсюда поправка к интервалу осаждения частиц 0,025 мм за время

$$154 \text{ с} - 12,17 \text{ с} = 141,83 \text{ с}$$

составит

$$141,83 \text{ с} \times 0,065 \text{ см/с} = 9,22 \text{ см},$$

а искомый интервал определяют по разности 55,3 см - 9,22 см = = 46,08 см. На цилиндре наносят риску или указатель глубины слива эмульсии 21-го класса на расстоянии

$$71,36 \text{ см} + 46,08 \text{ см} = 117,44 \text{ см}$$

от зеркала воды в цилиндре.

Искомый интервал слива эмульсии с частицами 22-го класса (0,025÷0,02 мм) вычисляют таким же образом. Сначала по точке пересечения ординаты, равной

$$71,36 \text{ см} + 46,08 \text{ см} + 30,8 \text{ см} = 148, 24 \text{ см},$$

с кривой определяют абсциссу, то есть время слива, которое равно 186 с. Затем определяют поправку на осаждение частиц размерностью 0,02 мм, которая составит

$$\Delta h_{0,02} = 186 \text{ с} \times 0,04 \text{ см/с} = 7,44 \text{ см}.$$

Из пропорциональной зависимости

$$148 \text{ см} : 186 \text{ с} = 7,44 \text{ см} : \Delta t_{22}$$

определяют время слива эмульсии по высоте, равной 7,44 см, а именно

$$\Delta t_{22} = 186 \text{ с} \times 7,44 \text{ см} : 148 \text{ см} = 9,35 \text{ с}.$$

Отсюда поправка к интервалу осаждения частиц 0,020 мм за время

$$186 \text{ с} - 9{,}35 \text{ с} = 176{,}65 \text{ с}$$

составит

$$176{,}65 \text{ с} \times 0{,}04 \text{ см/с} = 7{,}07 \text{ см},$$

а искомый интервал будет равен

$$30{,}8 \text{ см} - 7{,}07 \text{ см} = 23{,}73 \text{ см}.$$

На цилиндре наносят риску или указатель глубины слива эмульсии 22-го класса на расстоянии

$$71{,}36 \text{ см} + 46{,}08 \text{ см} + 23{,}73 \text{ см} = 141{,}17 \text{ см}$$

от зеркала воды в цилиндре.

Материал 22-го класса (0,025-0,02 мм) во взвеси будет расположен еще выше и распределен по высоте цилиндра равной

$$1230 \text{ с} \times 0{,}04 \text{ см/с} = 49{,}2 \text{ см}; \quad 80 \text{ см} - 49{,}2 \text{ см} = 30{,}8 \text{ см}.$$

Материал 23-го, 24-го и 25-го классов (соответственно 0,02-0,016 мм; 0,016-0,0125 мм и 0,0125-0,01 мм) будет распределен соответственно на уровнях от зеркала воды в седиментационном цилиндре

$$49{,}2 \text{ см и } 1230 \text{ см} \times 0{,}024 \text{ см/с} = 29{,}52 \text{ см};$$

$$29{,}52 \text{ см и } 1230 \text{ см} \times 0{,}015 \text{ см/с} = 18{,}45 \text{ см};$$

$$18{,}45 \text{ см и } 1230 \text{ см} \times 0{,}0092 \text{ см/с} = 11{,}32 \text{ см};$$

и по высоте соответственно равной:

для 23-го класса - 49,2 см - 29,52 см = 19,68 см,

для 24-го класса - 29,52 см - 18,45 см = 11,07 см,

для 25-го класса - 18,45 см - 11,32 см = 7,13 см.

Слой воды между ее зеркалом и уровнем ниже на 11,32 см не будет содержать частицы крупнее 0,01 мм (см. колонку на рис. 3.5).

Искомый интервал слива эмульсии с частицами 23-го класса (0,02-0,016 мм). Для этого определяют ординату суммированием полученных интервалов слива 20-го, 21-го, 22-го классов и интервала к моменту начала сливов, а именно 141,17 см + 19,68 см = =160,85 см. По ординате на кривой определяют абсциссу - время слива, которое получают равным 207 с. Определяют поправку на осаждения частиц 0,016 мм за 207 с, которая составит:

$$\Delta h_{0{,}016} = 207 \text{ с} \times 0{,}024 \text{ см/с} = 4{,}97 \text{ см}.$$

Время слива эмульсии по высоте, равной этой поправке находят из пропорции 160,85 с/207 с = 4,97 см/Δt_{23}, которое составляет Δt_{23} = 6,4 с.

Отсюда поправка к искомому интервалу за время (207 с - 6,4 с = 200,6 с) осаждения частиц 0,016 мм составит 200,6 с x x 0,024 см/с = 4,81 см, а искомый интервал слива 23-го класса будет 19,68 см - 4,81 см = 14,87 см. Риска или указатель слива эмульсии 23-го класса должны быть нанесены ниже первоначального зеркала воды на расстоянии 71,36 см + 46,08 см + 23,73 см + + 14,87 см = 156,04 см.

Искомый интервал слива эмульсии с частицами 24-го класса (0,016-0,0125 м). Сначала по ординате, равной 71,36 см + 46,08 см + + 23,73 см + 14,87 см + 11,07 см = 167,11 см определяют соответствующую ей на кривой абсциссу время слива, которая будет равна 218 секунд. Затем определяют $\Delta h_{0,0125}$ = 218 с x 0,015 см/с = 3,27 см, а также Δt_{24} = 218 с x 3,27 см/167,11 см = = 4,27 с. Отсюда поправка к искомому интервалу за время (218 с - 4,27 с = 213,73 с) осаждения частиц 0,0125 мм составит 213,73 с x 0,015 см/с = 3,20 см, а искомый интервал слива 24-го класса будет 11,07 см - 3,20 см = 7,87 см. Риска или указатель слива эмульсии 24-го класса должна быть нанесена ниже первоначального уровня зеркала воды в цилиндре на расстоянии 71,36 см + 46,08 см + 23,73 см + 14,87 см + 7,87 см = 163,91 см.

Искомый интервал слива эмульсии с частицами 25-го класса (0,0125-0,01 мм). Также по ординате 163,91 см + 7,13 см=172,04 см на кривой определяют соответствующую ее величину время слива на оси абсцисс, равную 225 секунд. Затем определяют поправку $\Delta h_{0,01\ м}$ = 225 с x 0,0092 см/с = 2,07 см, а также Δt_{25} = = 225,0 с x 2,07 см/172,04 см = 2,71 с. Отсюда поправка к искомому интервалу за время (225 с - 2,71 с = 222,29 с) осаждения частиц 0,01 мм составит 222,29 с x 0,0092 см/с = 2,04 см, а интервал слива 25-го класса будет равен 7,13 см - 2,04 см=5,09 см≈ ≈ 5,1 см. Риска или указатель слива эмульсии 25-го класса должна быть нанесена ниже первоначального уровня зеркала воды в цилиндре на расстоянии: 71,36 см + 46,08 см + 23,73 см + 14,87 см+ + 7,87 см + 5,09 см = 169,0 см.

Проверка определения интервалов слива эмульсии с частицами 20÷25-го классов. Для этого к сумме полученных интервалов слива эмульсии с частицами 20÷25-го классов прибавляют интервал осаж-

дения частиц 0,01 мм за время от начала классификации до начала слива 20-го класса и получают

169,0 см + 123,0 с x 0,0092 см/с = 180,32 см.

К этой сумме (180,32 см) прибавляют сумму поправок к каждому интервалу слива и получают: 180,32 см + 8,34 см + 9,22 см + 7,07 см + 4,81 см + 3,20 см + 2,04 см = 215,0 см.

3.7. Ход работы по дробному разделению сыпучего материала проб

1. Открыть крышку люка 15.

2. Установить кюветы 5 через люк в крышке 6 седиментатора. Для этого при исходном положении зуба № 1 верхнего храповика вставить кювету № 6 в желоб поворотного стола 4 до упора пластину, закрепленную в этом столе. Затем, переводя храповик в положение зуба № 2 поворотом ручки 10 по часовой стрелке, установить кювету № 7 в желоб стола до упора в боковую часть кюветы № 6 и т.д. Установку кювет осуществить в соответствии табл. 3.4.

Таблица 3.4

Установка кювет в желобе поворотного стола

Положение зуба храповика, № зуба	№ кюветы, устанавливаемой в желоб стола	Положение зуба храповика, № зуба	№ кюветы, устанавливаемой в желоб стола
1	6	11	16
2	7	12	17
3	8	13	18
4	9	14	19
5	10	15	20
6	11	16	1
7	12	18	3
9	14	19	4
10	15	20	5

таким же образом установить все кюветы, а в образовавшийся зазор установить компенсационную пластину. Закрыть герметично люк крышкой 15.

3. Заполнить водой седиментатор, открыв кран 24 и кра

наливного бака. Заполнение седиментатора водой осуществить до уровня на 30-35мм ниже уровня верхнего фланца верхнего седиментационного цилиндра 21. После заполнения кран 24 и кран наливного бака закрыть.

4. Выпустить воздух (то есть удалить воздушный пузырь под крышкой корпуса) из корпуса седиментатора. Для этого открыть воздушный кран 16, установленный на крышке люка 15. Как только из крана потечет вода, кран закрыть.

Для контроля осуществить поворот стола на 360°, от первоначального исходного положения зуба № 1 на повторное исходное положение этого зуба. Затем открыть воздушный кран и удалить воздушный пузырь и кран закрыть.

5. Проверить уровень воды в седиментационном цилиндре. Если он оказался ниже требуемого уровня, открыть кран 24 и кран наливного бака и долить водой до требуемого уровня в цилиндре. Оба крана закрыть.

6. Подготовить навеску материала пробы к седиментационному разделению на узкие классы. Для этого предварительно взвешенную песчано-алевритовую часть, отмытую от глинистого материала, пробы смачивают водой и растирают пальцами в чашке до разъединения слипшихся зерен. При необходимости в чашку добавляют несколько капель пепсикатора.

7. На пульте управления на блоках переключателей временных интервалов (нумерация блоков с 1 по 20 приведена на передней панели) установить время седиментации материала соответственно в 1-ю, 2-ю,...,20-ю кюветы. На первом блока можно установить время от 0,0 до 9,9 с, на двадцатом от 0000 до 9999 с.

8. После набора требуемого времени (например, согласно таблицы 3.3, графе 6) последовательно на всех блоках включить вилку (в сеть) в розетку с напряжением 220 В и частотой тока 50 Гц.

9. Затем включить тумблер АВТОМАТИКА. При этом загорается сигнальный светодиод, сигнализирующий о подаче сетевого напряжения на трансформатор питания схемы автоматического управления. Загораются индикаторы ВРЕМЯ ПРОЦЕССА и НОМЕР КЮВЕТЫ.

10. Нажать кнопку УСТАНОВКА 0. На индикаторах ВРЕМЯ ПРОЦЕССА и НОМЕР КЮВЕТЫ загораются нули. Схема управления (пульт управления) готова к работе.

11. Включить тумблер ЭЛЕКТРОМАГНИТ при этом загорится све-

тодиод, который сигнализирует о подаче сетевого напряжения на электромагнит.

I2. Включить тумблер СИГНАЛИЗАЦИЯ.

I3. Установить загрузочное устройство 23 на верхний фланец верхнего седиментационного цилиндра 2I. Включить вилку РШ2Н-I-5 (X7) (см.схему электрическую подключения в паспорте ГС-I) в розетку РГIН-I-I (XI0).

I4. Переместить ручку загрузочного устройства влево до упора с одновременным нажатием на кнопку КМI-I (S2) ПУСК. С момента нажатия кнопки ПУСК начинается отсчет интервалов времени, установленных на блоках временных интервалов. При этом последовательно срабатывает электромагнит, перемещающий кюветы. С каждым перемещением кюветы на индикаторных лампочках загорается номер перемещенной кюветы.

Процесс седиментации материала происходит в непрерывном режиме, при этом процесс разделения материала на узкие классы осуществляется в автоматическом цикле. Происходит разделение навески песчано-алевритового материала на I9 классов. Каждый класс осаждается в свою кювету. Так, I-й класс осаждают в I-ю кювету, 2-й класс - во 2-ю кювету, ... , I9-й класс - в I9-ю кювету.

В процессе непрерывной седиментации осуществляется разделение материала на I9 следующих узких классов с размерностью по убывающей геометрической прогрессии со знаменателем I,25, например: >2,5 мм; 2,5÷2,0 мм; 2,0÷I,6 мм; I,6÷I,25 мм; I,25÷I,0 мм; I,0-0,8 мм; 0,8÷0,63 мм; 0,63-0,5 мм; 0,5÷ 0,4 мм 0,4-0,3I5 мм; 0,3I5-0,25 мм; 0,25-0,2 мм; 0,2-0,I6 мм; 0,I6-0,I25 мм; 0,I25-0,I мм; 0,I-0,08 мм; 0,08-0,063 мм; 0,063 - 0,05 мм; 0,05-0,04 мм.

Когда кювета № 20 установится под нижнее сечение седиментационного цилиндра, подается звуковой сигнал. Звуковая сигнализация отключается вручную тумблером СИГНАЛИЗАЦИЯ (рис. 3.3). Индикация времени процесса продолжается до времени, установленном на 20-ом блоке временного интервала (на 20-ом контраверсе).

В седиментационном цилиндре остались частицы размерностью от 0,04 мм до 0,0I мм.

Для разделения частиц с указанными размерами на 6 узких классов (0,04-0,03I5 мм, 0,03I5-0,025 мм; 0,025-0,02 мм; 0,02

0,016 мм; 0,016-0,0125 мм; 0,0125-0,1 мм) и ускорения процесса седиментации в 10-15 раз осуществляют последующую классификацию путем слива эмульсии из седиментационного цилиндра по частям столба эмульсии в нем. Для этого как только кювета № 20 установится под нижним сечением цилиндра и в момент подачи звукового сигнала открывают кран и через него последовательно, по указателям, размеченным на седиментационном цилиндре, сливают эмульсию в маркированные емкости №№ 20, 21, 22, 23, 24 и 25. После слива эмульсии в последнюю емкость (размерность класса 0,0125-0,01 мм) кран закрыть.

15. Выгрузить кюветы. Для этого отвернуть барашки (гайки) крышки люка 15 и снять крышку.

Вынуть кювету через люк, слить воду из кюветы, а материал полученного класса выгрузить в маркированную бюксу с таким же номером как и кювета. Для выемки последующей кюветы ручку 10 повернуть по часовой стрелке на зуб храповика (на ход якоря электромагнита) и затем под воздействием пружины она возвращается в исходное положение. В люке крышки установится следующая кювета. Кювету вынуть, слить чистую воду из нее, а материал класса выгрузить в бюксу с номером, соответствующим номеру кюветы. Таким образом вынимают все 19 кювет, а материал из них выгружают в соответствующие бюксы.

Вынуть последующую кювету № 20, из нее слить чистую воду, а часть материала класса размерностью 0,04-0,0315 мм выгрузить в бюксу № 20.

16. По истечении расчетного времени полного осаждения материала полученных классов на дно емкостей №№ 20, 21, 22, 23, 24 и 25 чистую воду через спускные отверстия слить последовательно из каждой емкости в сливную раковину.

Материал полученного класса из емкости № 20 выгружают в бюксу № 20, объединив с материалом, выгруженным из кюветы № 20. А материал остальных полученных классов из емкостей №№ 21, 22, 23, 24 и 25 выгружают в соответствующие маркированные бюксы.

Все 25 бюксов с материалом полученных классов помещают в сушильный шкаф, высушивают при температуре не превышающей 70-80°С, а затем взвешивают. Результаты взвешивания записывают в журнал.

17. Для проведения следующего анализа необходимо для включения седиментатора в работу только нажать кнопки УСТАНОВ-

КА 0 и ПУСК.

18. Если в процессе классификации пробы произойдет сбой временного интервала или выйдет из строя схема управления, в этом случае необходимо выключить тумблер АВТОМАТИКА, а перемещение кювет произвести вручную, воздействуя на кнопку РУЧНОЕ ПЕРЕМЕЩЕНИЕ или на ручку 10.

19. По окончании работы седиментатора отключить от электросети. Кюветы, емкости, дно и стенки стакана загрузочного устройства вымыть и просушить.

Запрещается оставлять воду в корпусе седиментатора на период выходных дней, а также на более длительный период, обусловленный отсутствием работы для седиментатора по каким-либо другим причинам.

3.8. Техническое обслуживание

1. В процессе эксплуатации седиментатора обслуживающему персоналу необходимо следить постоянно:

- за герметичностью соединений;
- за правильным взаимодействием храповиков, фиксаторов и рычагов;
- за правильной работой пульта управления;
- за надежностью заземления.

2. После разделения 40-50 проб седиментатор следует промыть потоком чистой воды через кран 24 при открытом кране 19.

3. При образовании налетов (пленок) гидроокислов железа на внутренней поверхности седиментационного цилиндра, на кюветах и других элементов, их следует удалить 5% раствором щавелевой кислоты. Для этого седиментатор наполняют раствором на 3-4 часа, затем раствор сливают, а седиментатор промывают чистой водой.

4. Во избежание образования коллоидной слизи на стенках седиментационного цилиндра и на поверхности кювет нельзя оставлять цилиндр наполненным водой, а кюветы в желобе с водой после окончания работы.

5. После производства 250 проб регулярно осуществлять текущий технический осмотр.

6. После производства 2500 проб осуществлять текущий ремон

7. Смазку шаровой опоры (ЦИАТИМ-201 ГОСТ 6267-74) заменять через каждый 6-8 месяцев.

3.9. Возможные неисправности и способы их устранения

Возможные неисправности, возникающие при работе седиментатора, и способы их устранения изложены в таблице 3.5.

Таблица 3.5

Возможные неисправности и способы их устранения

Неисправность	Вероятная причина	Способ устранения
I	2	3
На дне желоба поворотного стола просыпан материал пробы	Неплотное прилегание стенок кювет друг к другу	Кюветы устанавливать плотно друг к другу
	Стенки кювет погнуты.	Выправить стенки кювет
	Не установлена компенсационная пластина	Установить компенсационную пластину
На столе, где установлен седиментатор, разлита вода	Неисправен один из сливных кранов	Подтянуть гайку или заменить набивку сальника в кране
	Просачивание воды через одну из прокладок	Заменить прокладку
Плохая прозрачность стенок седиментационного цилиндра	На стенках цилиндра образовался налет гидроокислов железа	Удалить налет 5%-ным раствором щавелевой кислоты
Суммарные потери материала превышают допустимую норму	Небрежность работы оператора	Выполнение более внимательно проведения анализа на седиментаторе
	Внутренние стенки корпуса седиментатора и стенки кювет покрыты слизью из коллоидов	Седиментатор наполнить 5%-ным раствором щавелевой кислоты на 3-4 часа, затем раствор слить, промыть поверхности чистой водой
Ручка поворота вала стола седиментатора не возвращается в исходное положение	Растянулась пружина или усилие пружины недостаточно	Заменить пружину

Продолжение табл.3.5

1	2	3
Не включается электромагнит при ручном перемещении	Перегорел предохранитель 2	Заменить предохранитель 2
	Нарушен контакт в розетке и вилке электромагнита	Устранить контакт в розетке и вилке электромагнита
Не включается электромагнит при автоматическом режиме работы	Неисправна схема управления электромагнитом	Устранить неисправность схемы управления электромагнитом
При включении тумблера "Автоматика" и "Электромагнит" электромагнит выключается и не включается	Неисправен тиристор в схеме управления электромагнитом	Заменить тиристор в схеме управления электромагнитом
Неисправно работает индикация времени процесса и номера кюветы	Неисправна схема управления счетчиками	Устранить неисправность схем управления и счетчиков в блоках индикации времени и номера кювет
	Неисправны счетчики	

3.10. Рациональная дробность седиментационного разделения материала

Как отмечалось выше, экспериментальными исследованиями установлено, что при одинаковой разности между диаметрами частиц разность между скоростями осаждения этих частиц увеличивается в направлении уменьшения крупности материала. Это обусловлено закономерным увеличением сил вязкости с уменьшением крупности материала по квадратичному закону. Эта зависимость графически отражается постепенным выполаживанием кривой (рис. 3.4) обусловленным тем, что при одинаковых дс х (ΔV) уменьшения скорости осаждения частиц приращения (отрицательное) уменьшения диаметра частиц происходит с одновременным уменьшением величины приращения.

Дробность классификации песчано-алевритового материала, определяемая из требования одинакового пропорционального убывания (или увеличения) скорости осаждения частиц, удобна для статистической обработки данных по скорости осаждения частиц

но не удобна для такой обработки данных по диаметру зерен.

Вместе с этим в геологической практике издавна геологи привыкли иметь дело с линейными размерами диаметров частиц, с одной стороны, а с другой, к настоящему времени накопился огромный фактический материал по гранулометрическому анализу пород ситовым способом, осуществляемым наборами сит. Учет этих данных необходим, так как стало возможным переработка их с учетом разработанной методики гранулометрического анализа седиментационным способом с применением гидравлического седиментатора ГС-I.

Учитывая эту ситуацию, в процессе экспериментальных работ на примере нескольких сотен проб современных и древних песчано-алевритовых пород осуществлена проверка информативности результатов гранулометрического анализа седиментационным способом. Графической обработкой результатов анализа этих проб установлено, что гидравлическая классификация по седиментационному диаметру зерен по шкале с модулем (шагом) I,I2 равным модулю детального набора сит, составленного из сит 20-го ряда (R 20) обладает высокой информативностью. Однако такая классификация материала (размерностью зерен 0,0I-2,5 мм), обеспечивая получение до 50 классов сопряжена с большими затратами труда и времени.

Гидравлическая классификация по седиментацинному диаметру зерен этого же материала по шкале с модулем I,25, равным модулю I9-ти фракционного ситового анализа, является менее трудоемкой, а ее информативность оказалась практически достаточной.

Поэтому для стандартизации седиментационного разделения материала за основу были приняты экспериментальные данные определения скорости массового осаждения материала узких ситовых фракций. При ситовом разделении по мере увеличения несферичности частиц точность измерения среднего диаметра их путем просеивания через отверстия заданного размера уменьшается. Частицы неправильной формы могут случайным образом оказаться в любой из фракций (класса) в диапазоне размеров от ее наибольшего и наименьшего поперечников. При разделении сферических частиц оба метода гранулометрического анализа, то есть седиментационное разделение и ситовой рассев являются эквивалентными. Поэтому выбранный для эксперимента материал был разделен на узкие классы крупности с помощью набора контрольных сит десятого

R 10) и двадцатого (R 20) ряда по ГОСТу 3584-73. Модуль набора - 1,25.

Использовался кварцевый песок и алеврит, содержащие зерна разной окатанности и сферичности. При этом в составе материала преобладали изометричные и близкие к ним зерна кварца со средней плотностью 2,65 г/см^3, а также присутствовали угловатые и пластинчатые частицы кварца и кислого полевого шпата со средней плотностью 2,60-2,70 г/см^3. Кроме этого в состав материала были подмешаны гладкие шарики стекла с плотностью 2,62-2,65 г/см^3.

Эксперименты осуществлялись при постоянной температуре воды 18-20^{0}С. Использовалась водопроводная вода, предварительно отстоявшаяся. Температура воздуха в помещении составляла 18-20^{0}С.

Измерение времени осаждения материала каждого узкого класса (остатков на ситах) осуществлялось на контрольном участке седиментационного цилиндра с точностью до $\mp$0,1 с. При этом время (t_0 - начало отсчета и $t_к$ - конец отсчета) прохождения контрольного участка фиксировалось по наиболее крупным зернам кварца и шарикам стекла, образующим параболический фронт массового осаждения материала узкого ситового класса. Длина контрольного участка по высоте цилиндра составила 170 см. Начало отсчета времени (включение секундомера) осуществлялось после прохождения частицами расстояние равное 45 см, т.е. на отметке +170 см от нижнего сечения фланца.

Скорость свободного осаждения ($V_{кл}$) определялась по формуле

$$V_{кл} = H_к : t^i_{кл} ,$$

где $H_к$ - длина контрольного участка, см; $t^i_{кл}$ - измеренное время осаждения узких классов, с.

Для сравнения осуществлено измерение времени осаждения материала с момента открытия жалюзей до момента прохождения фронта зерен через нижнее сечение цилиндра, то есть по рабочей высоте цилиндра, равной 215 см.

3.II. Использование седиментометра для разделения материала по шкале с другим шагом

Например, исследователь задает ряд классификаций с переменным шагом 2,5÷I,5÷I,0÷0,5÷0,25÷0,I÷0,063÷0,05÷0,04÷0,025÷÷0,02 мм.

На диаграмме, изображенной на рис.3.4, на оси ординат наносят указанные граничные значения размерности классов по диаметру зерен. Из точек проводят линии, параллельные оси абсцисс, до пересечения с кривой А или Б. Из них в свою очередь проводят линии, параллельные оси ординат, до пересечения их с осью абсцисс. На оси определяют значения размерности классов по гидравлической крупности или скорость осаждения частиц.

Определяют время осаждения материала классов по формуле (3.2)

$$t^{i}_{кл} = H_{к} : v^{i}_{кл} = 215\,см : v^{i}_{кл}, \qquad (3.2)$$

где $v^{i}_{кл}$ - найденное нижнее граничное значение скорости свободного осаждения частиц i класса, см/с.

Составляют таблицу, в которой указывают в I-й графе порядковый номер класса.

- во 2-й графе - размерность классов по эквивалентному диаметру зерен (по ситовому рассеву, кривая А или по диаметру шарообразных частиц кварца, кривая Б);

- в 3-й графе - вычисленное время осаждения материала в каждую последующую кювету, начиная от начала его отсчета.

По разности времени осаждения материала вычисляют интервалы времени ($t^{i}_{инт}$) накопления материала в каждую кювету по формуле (3.3):

$$\begin{aligned} t^{1}_{инт} &= t_2 - t_1 \\ t^{2}_{инт} &= t_3 - t_2 \\ &\cdots\cdots\cdots \\ t^{i}_{инт} &= t_i - t_{i-1}, \end{aligned} \qquad (3.3)$$

где $t_1, t_2, t_3, \ldots, t_{i-1}, t_i$ - конечное время от начала его отсчета осаждения материала в каждую последующую кювету, с.

Далее разделение материала на классы по размерности осуществляют по вышеописанному принципу.

3.12. Сравнение результатов дробной классификации одних и тех же проб с помощью седиментатора и стандартного набора сит

Скорость осаждения определялась измерением времени прохождения частицами контрольного участка пути при их осаждении.

Для обеспечения свободного осаждения в седиментационном цилиндре использовались навески материала узких классов до 3-5 грамм, а для обеспечения стесненного осаждения частиц использовались навески материала этих же узких классов весом 20-25 грамм и 40-50 грамм.

Измерение времени осаждения материала узкого класса осуществлялось с помощью секундомера при этом регистрировалось время оседания на дно кюветы (или прохождение нижнего сечения цилиндра): наиболее крупных первых 10-15 зерен (t_0); первых зерен основной массы их ($t_м$), первых зерен второстепенной (разряженной) массы их ($t_{вт}$) и $t_к$ - последних зерен (5-10 зерен в плоскости сечения цилиндра). В соответствии с измерением времени спределены максимальные скорости осаждения: V_0 - наиболее крупных частиц узкого класса; $V_м$ - основной массы частиц его; $V_{вт}$- второстепенной массы частиц класса; $V_к$ - наименее крупных частиц этого класса.

В таблице 3.5 приведены результаты этих измерений в седиментационном цилиндре с площадью сечения равного 144 см^2 при пути осаждения (высоте столба воды) равного 160 см. Как видно из таблицы, максимальные скорости осаждения наиболее крупных частиц узких классов 2,5÷2,0÷1,6÷1,25÷1,0÷0,8÷0,63÷0,5÷0,4÷÷0,315÷0,25÷0,2 мм весом до 5 грамм почти не отличаются от значений величины скорости осаждения отдельных шарообразных частиц (см. табл. 3.5, графу 5). Что касается классов 0,2÷0,16÷÷0,125÷0,1÷0,8 мм, то отмечаются отклонения (увеличение) максимальной скорости этих частиц. Это обусловлено худшей сферичностью и окатанностью зерен указанных классов и наличием в них тяжелых минералов.

Для наглядности на диаграмму (рис.3.6) нанесены данные: скоростей свободного осаждения стеклянных шариков и шарообразных частиц кварца (усл. обозн. I), средних скоростей свободного

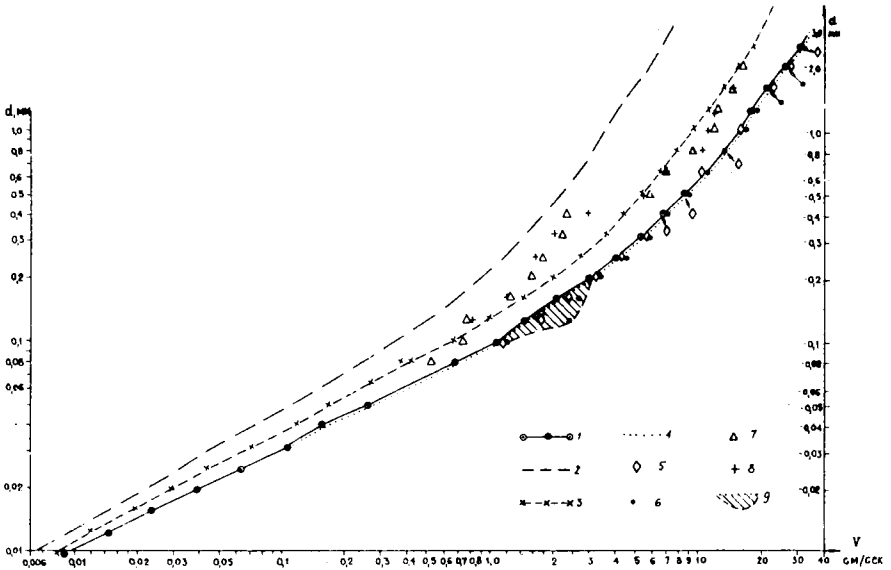


Рис. 3.6. Диаграмма скорости осаждения частиц разной крупности (по К К Гостинцеву, 1983г.).

1-линия свободного осаждения гладких шариков стекла (2.62-2.65 г/см³) и шарообразных частиц кварца (2.65 г/см³); 2-линия наименьших скоростей свободного осаждения частиц темного кварца той же крупности; 3-линия средних скоростей свободного осаждения частиц толщного кварца (по Ричардсу и Т.Г. Фомиенко [1]), 4-линия максимальных скоростей ($V_м$) осаждения наиболее крупных частиц узких ситовых классов, точки максимальных значений скоростей осаждения ($V_м$) частиц кварцевого песка узких ситовых классов; 5-вес навески до 5 граммов, 6-вес навески 20-25 граммов, точки значений скорости осаждения ($V_к$) последних зерен (5-10 зерен в пластости нижнего сечения цилиндра) тех же классов; 7-вес навески до 5 граммов, 8-вес навески 20-25 граммов; 9-участок влияния повышенного содержания тяжелых минералов.

Таблица 3.5

Результаты измерения времени и скорости осаждения сыпучих материалов узких ситовых фракций при высоте столба воды равной 160 см

Размерность классов, мм	Время осаждения навески 3 - 5 г, с				Время осаждения зерен при навеске 20-25 г, с				Время осаждения зерен при навеске 40 г, с				Скорость осаждения зерен при навеске 1-3 г, см/с				Скорость осаждения частиц зерен при навеске 20-25 г, см/с			
	t_0	$t_м$	$t_{вт}$	$t_к$	t_0	$t_м$	$t_{вт}$	$t_к$	t_0	$t_м$	$t_{вт}$	$t_к$	v_0	$v_м$	$v_{вт}$	$v_к$	v_0	$v_м$	$v_{вт}$	$v_к$
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
2,5-2,0	5,2	8,2	9,2	10,0	5,1	8,0	9,0	10,2	5,2	8,0	9,0	10,5	30,7	19,5	17,4	16,0	31,4	20,0	17,8	15,7
2,0-1,6	6,0	8,3	9,5	11,0	5,9	8,2	9,4	11,0	5,8	9,4	9,5	11,6	26,7	19,3	16,8	14,5	27,1	19,5	17,0	14,5
1,6-1,25	7,36	11,31	12,0	13,0	7,3	11,3	12,0	13,5	7,3	11,2	11,7	12,0	21,7	14,2	13,3	12,3	21,9	14,2	13,3	11,9
1,25-1,0	3,62	11,62	12,62	13,62	8,5	11,5	12,5	14,5	8,4	11,4	12,4	13,4	18,6	13,8	12,7	11,7	16,8	13,9	12,8	11,0
1,0-0,8	10,0	14,0	15,0	17,0	9,6	12,6	13,6	15,6	9,8	14,8	16,8	18,8	16,0	11,4	10,7	9,4	16,7	12,8	11,8	10,3
0,8-0,63	12,0	18,0	20,0	23,0	12,0	18,0	20,0	23,0	12,0	18,0	20,0	23,0	13,3	8,9	8,0	7,0	13,3	8,9	8,0	7,0
0,63-0,5	15,2	22,2	25,5	27,2	14,8	20,8	24,8	29,8	14,1	20,1	24,1	28,1	10,5	7,2	6,3	5,9	10,8	7,7	6,9	5,4
0,5-0,4	18,6	26,8	38,6	68,6	18,0	24,0	34,0	54,0	16,5	26,5	36,0	66,0	8,6	6,0	4,1	2,3	8,9	6,7	4,7	3,0
0,4-0,315	23,5	28,0	53,0	75,0	22,1	27,0	51,0	78,0	21,2	26,0	51,0	78,0	6,8	5,7	3,0	2,1	7,2	5,9	3,2	2,0
0,315-0,25	29,3	34,3	59,3	90,0	27,5	85,5	62,8	97,0	25,5	33,2	58,2	83,2	5,5	4,7	2,7	1,8	5,8	4,5	2,6	1,7
0,25-0,2	39,4	44,4	64,4	100,0	37,4	45,1	75,1	100,1	35,4	41,4	72,0	97,0	4,1	3,6	2,5	1,6	4,5	3,6	2,1	1,6
0,2-0,16	50,0	58,0	80,0	120,0	47,1	54,0	90	130,0	43,7	-	-	-	3,2	2,8	2,0	1,3	3,4	2,9	1,8	1,2
0,16-0,125	65,0	75,0	120	200,0	59,1	82,0	120	190,0	50,0	70,0	120,0	190,0	2,5	2,1	1,3	0,8	2,7	1,95	1,3	0,9
0,125-0,1	90,0	100,0	130	210,0	66,6	73,6	108,6	240,0	-	-	-	-	1,8	1,6	1,2	0,76	2,4	2,17	1,47	0,67
0,1-0,08	155	180	250	300,0	128,6	160,6	250	420,0	-	-	-	-	1,1	0,9	0,8	0,53	1,24	1,0	0,64	0,38

Примечание. Время осаждения: t_0 - наиболее крупных зерен, $t_м$ - основной массы зерен; $t_{вт}$ - второстепенной массы зерен, $t_к$ - последних зерен. Скорость осаждения: v_0 - крупных зерен, $v_м$ - основной массы зерен, $v_{вт}$ - второстепенной массы зерен и $v_к$ - последних зерен.

осаждения зерен продукта дробления кварца по Ричардсу [37] и по Т.Г.Фоменко (1952).

Как видно на диаграмме графическая линия максимальных скоростей (V_0) наиболее крупных частиц узких ситовых классов прослеживается параллельно линии свободного осаждения гладких шариков стекла и шарообразных частиц кварца. Заметное отклонение - увеличение максимальной скорости наиболее крупных частиц 2-х ситовых классов 0,1-0,125 мм и 0,125-0,16 мм обусловлено примесью тяжелых минералов в составе основного кварцевого материала. По этим частицам, а не по зернам кварца было зарегистрировано время прохождения контрольного участка пути (160 см столба воды).

Сравнение результатов гранулометрического анализа одних и тех же проб, осуществленного с помощью седиментатора и стандартного набора сит с использованием ротапа фирмы "Фрич" и ротапов, выпускаемых в СССР, приведено в таблице 3.6.

Указанное сравнение дается на примере пяти проб, причем три из них (пробы № 99500, 99525, 99530) имеют песчано-алевритовый состав, а две из них (пробы № 31 и 38) - в основном, песчаный состав. В первых 3-х пробах в результате рассева отмечается дефицит весового содержания класса 0,125÷0,1 мм (остаток на сите 0,1 мм). Этот дефицит обусловлен низким качеством этого сита, через которое просеилась часть материала с размерностью класса 0,125÷0,1 мм. Некачественная работа сита 0,1 мм четко выявляется в результате сравнения с гранулометрическим составом этих проб, полученным седиментационным методом с помощью седиментатора ГС-1. Это подтверждается данными гранулометрического состава пробы № 31 и № 38, полученного в результате рассева с помощью других наборов сит (графы 9 и 11). Недостаток весового содержания материала в ситовом классе 0,125÷0,1 мм составляет 50% веса ситового класса 0,1-0,08 мм во всех трех пробах (№№ 99500, 99525 и 99530). Устранив этот дефицит путем прибавления материала из класса 0,1-0,08 мм в навеску материала класса 0,125÷0,1 мм, получим закономерное распределение гранулометрического состава этих проб сходное с распределением гранулометрического состава этих же проб, полученного седиментационным методом, но с уменьшением размерности на один размерный класс. Уменьшение размерности классов по эквивалентному диаметру зерен обосновано разработанной методикой.

Важным достижением разработки седиментатора по сравнению с ситовым гранулометрическим анализом является возможность получения узких классов в диапазоне частиц 0,04–0,01 мм и увеличения качества и точности разделения материала.

Как видно из табл. 3.6 сумма веса материала тонкодисперсных классов (0,04÷0,0315÷0,025÷0,02÷0,016÷0,0125÷0,01 мм), полученных при седиментационном разделении, почти в 2 раза превышает вес остатков материала на поддоне (фракция 0,04÷0,01 мм), полученных при рассеве с помощью стандартного набора сит и ротапа фирмы "Фрич". При употреблении ротапов отечественного производства вес остатков (0,04÷0,01 мм) на поддоне по сравнению с суммой указанных тонкодисперсиных классов уменьшается в 3 и даже 8 раз (см.табл. 3.6 графы 9 и 11). Этот недостаток обусловлен прилипанием тонких частиц к стенкам сит и к их ткани, а также к более крупным частицам.

3.13. Воспроизводимость результатов гранулометрического анализа с применением седиментатора ГС-1

Как было рассмотрено выше, определение времени осаждения частиц узких гидравлических классов осуществлялось по максимальной скорости осаждения наиболее крупных частиц узких ситовых классов, т.е. по скорости осаждения частиц фронтальной части оседающего взвешенного материала. Как видно из табл. 3.6 значительная часть материала соседних ситовых классов при осаждении смешивается и оседает, образуя узкий гидравлический класс иного состава, в котором присутствуют несферические частицы из более крупноразмерных ситовых классов и сферические частицы из ситовых классов меньшей размерности. Поэтому несколько проб были подвергнуты многократному разделению для определения воспроизводимости анализа.

Результаты воспроизводства гранулометрического анализа пяти проб древних отложений показаны в таблицах 3.7÷3.11.

Как видно из табл. 3.7 и 3.8, при 5-кратном определении гранулометрического состава проб №№ 99526 и 92597 квадратичное отклонение от среднего арифметического определения веса каждого узкого класса по эквивалентному диаметру зерен не превышает 0,08–0,11 грамма при среднем весе узких классов от 2 г до 5 г. Минимальные и нулевые значения квадратичных отклонений свой-

Таблица 3.6

Сравнение результатов гранулометрического анализа одних и тех же проб, осуществленного с помощью седиментатора ГС-I и стандартного набора сит

Размерность классов, мм	Проба 99500		Проба 99525		Проба 99530		Проба 3I		Проба 38 (девон, Тиман)		
	Седиментация ГС-I	Ситовой рассев Ротап "Фрич"	Седиментация ГС-I	Ситовой рассев Ротап "Фрич"	Седиментация ГС-I	Ситовой рассев Ротап "Фрич"	Ситовой рассев Ротап СССР	Седиментация ГС-I	Ситовой рассев РОТАП Усманского завода	Седиментация ГС-I	Ситовой рассев Ротап "Фрич"
I	2	3	4	5	6	7	8	9	I0	II	I2
2,0-I,60	-	-	-	-	-	-	-	-	0,0I	0,0I	0,0I
I,60-I,25	-	-	-	-	-	-	-	-	0,0I	0,0I	0,0I
I,25-I,0	-	-	-	-	-	-	0,I6	0,07	0,03	0,03	0,03
I,0-0,8	-	-	-	-	-	-	0,I9	0,0I	0,0I	0,02	0,02
0,8-0,63	-	-	-	-	-	-	0,34	0,03	0,05	0,0I	0,05
0,63-0,5	-	-	-	-	-	-	0,40	0,I0	0,07	0,0I	0,07
0,5-0,4	-	-	-	-	-	-	0,74	0,22	0,24	0,03	0,I5
0,4-0,3I5	-	-	-	-	-	-	I,I9	0,28	0,72	0,07	0,I5
0,3I5-0,25	-	0,I6	-	0,03	-	0,07	4,55	0,60	3,4I	0,22	I,85
0,25-0,2	0,03	I,50	-	0,I9	-	0,3I	8,97	4,74	6,75	3,52	5,97
0,2-0,I6	0,46	4,4I	0,03	2,87	0,07	I,86	I0,74	9,33	I2,I5	9,5I	I4,68
0,I6-0,I25	4,46	3,25	2,86	4,25	I,30	3,22	8,28	I0,45	I0,85	I0,32	8,52
0,I25-0,I	3,65	I,33	4,56	I,80	3,78	I,66	2,40	7,66	4,42	8,04	2,5I
0,I-0,08	2,74	2,65	3,24	3,45	4,33	5,I9	2,I8	3,II	I,96	4,5I	4,03
0,08-0,063	I,53	I,09	I,53	I,I6	2,62	I,9I	I,8I	I,50	I,37	I,90	I,34
0,063-0,05	I,I3	0,53	I,0I	0,56	I,53	0,76	0,80	I,I6	0,59	I,22	0,67
0,05-0,04	0,74	0,37	0,80	0,38	I,II	0,50	0,6I	0,83	0,43	0,77	0,59
0,04-0,03I5	0,54	I,I8	0,58	I,46	0,63	I,I8	0,70	0,64	0,2I	0,43	0,99
0,03I5-0,025	0,78	-	0,80	-	0,7I	-	-	I,II	-	0,59	-
0,025-0,02	0,25	-	0,32	-	0,27	-	-	0,30	-	0,22	-
0,02-0,0I6	0,24	-	0,27	-	0,24	-	-	0,2I	-	0,20	-
0,0I6-0,0I25	0,I4	-	0,20	-	0,I6	-	-	0,I3	-	0,I3	-
0,0I25-0,0I	0,I4	-	0,I4	-	0,I4	-	-	0,I2	-	0,II	-
Сумма	I6,76	I6,47	I6,34	I6,I5	I6,89	I6,66	44,06	42,6	43,29	4I,98	4I,69
Вес исходной навески, г	I6,75	I6,79	I6,4I	I6,26	I6,93	I6,68	44,06	44,00	43,29	42,24	

Таблица 3.7

Результаты воспроизводства гранулометрического состава пробы № 99526

Размерность классов, мм	Гранулометрический состав по эквивалентному диаметру зерен. Варианты, г					Среднее арифметическое (A)	Квадратичное отклонение S(A)	Квадратичное отклонение с учетом коэффициента Стьюдента t·S(A)	Относительное квадратичное отклонение $\frac{S(A) \cdot 100}{(A)}$
	I	П	Ш	IУ	У				
I	2	3	4	5	6	7	8	9	I0
0,3I5-0,25	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0,25-0,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0,2-0,I6	0,06	0,06	0,06	0,05	0,06	0,06	0,002	0,006	I0,0
0,I6-0,I25	2,50	2,55	2,50	2,49	2,48	2,50	0,0I	0,03	I,20
0,I25-0,I	5,28	5,06	5,I2	5,08	5,I0	5,I2	0,03	0,08	I,50
0,I-0,08	3,96	3,90	3,94	3,92	3,96	3,92	0,0I	0,03	0,80
0,8-0,063	I,54	I,57	I,55	I,5I	I,52	I,54	0,0I	0,03	2,0
0,063-0,05	0,94	0,97	0,95	0,94	0,92	0,94	0,0I	0,03	3,20
0,05-0,04	0,77	0,78	0,80	0,79	0,77	0,78	0,0I	0,03	4,0
0,04-0,03I5	0,47	0,50	0,5I	0,52	0,50	0,50	0,0I	0,03	6,0
0,03I5-0,025	0,95	0,90	0,88	0,87	0,89	0,90	0,0I	0,03	3,80
0,025-0,02	0,24	0,25	0,23	0,25	0,23	0,24	0,004	0,0I	4,20
0,02-0,0I6	0,22	0,20	0,20	0,2I	0,20	0,2I	0,004	0,0I	4,80
0,0I6-0,0I25	0,I3	0,I3	0,II	0,I2	0,I2	0,I2	0,004	0,0I	8,50
0,0I25-0,0I	0,II	0,I0	0,I0	0,I2	0,I0	0,II	0,004	0,0I	9,0
Сумма	I7,I2	I6,97	I6,95	I6,87	I6,79	I6,94	0,06	0,I7	I,00
Исходный вес (P_{AII})	I7,I2	I6,97	I6,95	I6,90	I6,85	I6,96	0,05	0,I4	0,80

Таблица 3.8

Результаты воспроизводства гранулометрического состава пробы № 92597

Размерность классов, мм	Гранулометрический состав по эквивалентному диаметру зерен. Варианты, г					Среднее арифметическое (A)	Квадратичное отклонение S(A)	Квадратичное отклонение с учетом коэффициента Стьюдента t·S(A)	Относительное квадратичное отклонение $\frac{t \cdot S(A)\ 100\%}{(A)}$
	I	П	Ш	IУ	У				
I	2	3	4	5	6	7	8	9	I0
0,3I5-0,25	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0,25-0,2	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0	0	0
0,2-0,I6	0,05	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0	0	0
0,I6-0,I25	0,29	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0	0	0
0,I25-0,I	2,I2	2,06	2,0I	2,05	2,00	2,05	0,02	0,05	2,5
0,I-0,08	3,3I	3,25	3,20	3,I8	3,I5	3,22	0,03	0,08	2,5
0,08-0,063	3,44	3,40	3,43	3,39	3,40	3,4I	0,0I	0,03	I,0
0,063-0,05	2,54	2,48	2,46	2,40	2,48	2,47	0,02	0,05	2,0
0,05-0,04	I,82	2,00	2,08	I,98	I,96	I,97	0,04	0,II	5,50
0,04-0,03I5	0,9I	0,90	0,89	0,87	0,90	0,89	0,0I	0,03	3,5
0,03I5-0,025	0,90	0,85	0,80	0,86	0,85	0,85	0,02	0,05	6,0
0,025-0,02	0,62	0,56	0,47	0,52	0,50	0,53	0,03	0,08	I5,0
0,02-0,0I6	0,I7	0,I7	0,I7	0,I7	0,I7	0,I7	0	0	0
0,0I6-0,0I25	0,I4	0,I4	0,I4	0,I4	0,I4	0,I4	0	0	0
0,0I25-0,0I	0,I3	0,II	0,I3	0,I3	0,II	0,I2	0,0I	0,03	25,0
Сумма	I6,44	I6,23	I6,08	I6,04	I5,93	I6,I4	0,I9	0,25	I,5
Исходный вес ($P_{АП}$)	I6,50	I6,3I	I6,I8	I6,08	I6,04	I6,22	0,08	0,22	I,5

Таблица 3.9

Результаты воспроизводства гранулометрического состава пробы № I0458

Размерность классов, мм	Гранулометрический состав (варианты), г				Среднее арифметическое отклонение (A)	Среднее квадратичное отклонение S(A)	Квадратичное отклонение с учетом коэффициента Стьюдента t·S·(A)	Относительное квадратичное отклонение $\frac{t \cdot S \cdot (A)\ 100\%}{(A)}$
	I	П	Ш	IУ				
I	2	3	4	5	6	7	8	9
0,3I5-0,25	-	-	-	-	-	-	-	-
0,25-0,2	-	-	-	-	-	-	-	-
0,2-0,I6	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0	0	0
0,I6-0,I25	3,27	3,07	2,93	2,95	3,06	0,08	0,25	8,0
0,I25-0,I	5,4I	5,50	5,44	5,40	5,44	0,02	0,06	I,0
0,I-0,08	3,72	3,86	3,84	3,75	3,79	0,03	0,I0	2,0
0,08-0,063	I,28	I,3I	I,36	I,35	I,33	0,02	0,06	4,0
0,063-0,05	0,73	0,75	0,78	0,78	0,76	0,0I	0,03	3,0
0,05-0,04	0,52	0,62	0,6I	0,53	0,57	0,03	0,I0	I7,0
0,04-0,03I5	0,69	0,60	0,6I	0,66	0,64	0,02	0,06	9,0
0,03I5-0,025	0,88	0,70	0,67	0,78	0,76	0,05	0,I6	2I,0
0,025-0,02	0,I5	0,I6	0,I5	0,I6	0,I6	0,004	0,0I	6,0
0,02-0,0I6	0,I2	0,I2	0,I3	0,I3	0,I3	0,004	0,0I	8,0
0,0I6-0,0I25	0,07	0,07	0,08	0,08	0,08	0,004	0,0I	I2,0
0,0I25-0,0I	0,06	0,06	0,08	0,07	0,07	0,005	0,02	I4,0
Сумма	I6,92	I6,86	I6,72	I6,65	I6,79	0,06	0,I9	I,0
Исходный вес (P_{AII})	I7,04	I6,90	I6,74	I6,72	I6,85	0,08	0,25	I,5

Таблица 3.10

Результаты воспроизводства гранулометрического состава пробы № 99506

Размерность классов, мм	Гранулометрический состав (варианты, г)				Среднее арифметическое отклонение (A)	Квадратичное отклонение S(A)	Квадратичное отклонение с учетом коэффициента t·S·(A)	Относительное квадратичное отклонение с учетом $\frac{t \cdot S(A) \cdot 100\%}{(A)}$
	I	II	III	IУ				
I	2	3	4	5	6	7	8	9
0,25-0,2	-	-	-	-	-	-	-	-
0,2-0,16	-	-	-	-	-	-	-	-
0,16-0,125	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0	0	0
0,125-0,1	2,56	2,54	2,58	2,48	2,54	0,02	0,06	2,0
0,1-0,08	5,06	5,11	5,15	5,11	5,11	0,02	0,06	1,0
0,08-0,063	4,25	4,20	4,08	4,15	4,17	0,04	0,13	3,0
0,063-0,05	1,50	1,52	1,49	1,48	1,50	0,01	0,03	2,0
0,05-0,04	0,80	0,78	0,76	0,75	0,77	0,01	0,03	3,0
0,04-0,0315	0,68	0,65	0,66	0,67	0,67	0,01	0,03	4,0
0,0315-0,025	0,45	0,48	0,45	0,40	0,45	0,02	0,06	13,0
0,025-0,02	0,70	0,65	0,64	0,68	0,67	0,01	0,03	4,0
0,02-0,016	0,17	0,18	0,18	0,18	0,18	0,003	0,01	5,0
0,016-0,0125	0,17	0,16	0,17	0,17	0,17	0,003	0,01	6,0
0,0125-0,01	0,11	0,10	0,11	0,11	0,11	0,003	0,01	9,0
0,01	0,09	0,09	0,09	0,10	0,09	0,003	0,01	11,0
Сумма	16,58	16,50	16,40	16,35	16,46	0,05	0,16	1,0
Исходный вес (в г)	16,68	16,56	16,48	16,40	16,52	0,05	0,16	1,0

Таблица 3.II

Результаты воспроизводства гранулометрического состава пробы № 3424

Размерность классов, мм	Гранулометрический состав (варианты, г)				Среднее арифметическое отклонение (A)	Квадратичное отклонение S(A)	Квадратичное отклонение с учетом коэффициента Стьюдента tS(A)	Относительное квадратичное отклонение $\frac{tS(A)\ 100\%}{(A)}$
	I	II	III	IУ				
I	2	3	4	5	6	7	8	9
0,3I5-0,25	-	-	-	-	-	-	-	-
0,25-0,2	-	-	-	-	-	-	-	-
0,2-0,I6	0,05	0,05	0,04	0,05	0,05	0,003	0,04	20,0
0,I6-0,I25	I,I8	I,I0	0,96	I,0I	I,06	0,05	0,I6	I5,0
0,I25-0,I	3,0I	3,09	3,I9	3,06	3,09	0,04	0,I3	4,4
0,I-0,08	3,06	3,I0	3,2I	3,II	3,I2	0,03	0,I0	3,2
0,08-0,063	2,43	2,38	2,33	2,38	2,38	0,02	0,06	2,5
0,063-0,05	I,83	I,86	I,89	I,84	I,86	0,0I	0,03	I,6
0,05-0,04	I,52	I,46	I,35	I,40	I,43	0,04	0,I3	9,0
0,04-0,03I5	I,20	I,I7	I,00	I,I2	I,I2	0,04	0,I3	II,6
0,03I5-0,025	0,82	0,86	0,9I	0,85	0,86	0,02	0,06	7,0
0,025-0,02	0,29	0,28	0,27	0,29	0,28	0,005	0,02	7,0
0,02-0,0I6	0,2I	0,20	0,20	0,2I	0,2I	0,004	0,0I	5,0
0,0I6-0,0I25	0,II	0,II	0,II	0,II	0,II	0	0	0
0,0I25-0,0I	0,I0	0,I0	0,09	0,I0	0,I0	0,003	0,0I	I0,0
Сумма	I5,83	I5,76	I5,55	I5,53	I5,67	0,08	0,25	I,60
Исходный вес ($P_{АП}$)	I5,85	I5,80	I5,6I	I5,56	I5,7I	0,07	0,22	I,40

ственны классам, состоящим как из более крупных частиц так и из более тонкого материала.

Относительные ошибки определения веса узких классов колеблются от 0,7% до 25,0%. При этом наибольшие значения 15-25% этих ошибок фиксируются среди тонкодисперсных классов и обусловлены потерей материала при выгрузке классов в бюксы для сушки, а также при взвешивании, сопровождаемого необходимостью пересыпания материала в чаши весов и наоборот.

Анализ результатов воспроизводства гранулометрического состава других 3-х проб (№№ 10458, 99506 и 3424), сведенных в таблицы 3.9, 3.10 и 3.11 показал те же тенденции колебания значений как квадратичных ошибок, так и относительных ошибок в определении веса материала каждого узкого класса, а именно точность определения каждого класса зависит от его содержания и изменяется от 0 до 21 относительных процентов или от 0 до 0,25 грамм абсолютного весового содержания классов.

Что касается суммарных потерь материала в результате 4-х и 5-кратных повторных определений, то они составляют:

для пробы № 99526 - 0,33 г
для пробы № 92597 - 0,47 г
для пробы № 10458 - 0,39 г
для пробы № 99506 - 0,28 г
для пробы № 3424 - 0,32 г

Отсюда средние потери материала в результате каждого определения не превышает 0,10 г.

Точность определения суммарного веса полученных классов указанных проб изменяется от 1,0 до 1,6 относительных процентов, а уменьшения веса исходных навесок проб характеризуется относительной ошибкой от 0,83 до 1,48%.

Учитывая, что объем (вес) потерянного материала как при малых навесках проб так и при навесках до 40-50 г не превышает указанные выше потери, то количественная оценка точности воспроизводства гранулометрического анализа с помощью седиментатора ГС-1 улучшится в 2,5-3 раза, т.е. величины квадратичных ошибок уменьшатся в 2,5-3,0 раза.

Что касается малых исходных навесок весом до 5 г, то при таком количестве материала информативность определений гранулометрического состава снижается, с одной стороны, а с другой появляется строгая необходимость более тщательного выполнения

всех операций, что в итоге увеличивает суммарное время производства анализа в 2-3 раза. При малых исходных навесках менее 5 грамм выгрузку тонкодисперсных классов с частицами менее 0,I мм необходимо осуществлять на фильтры. Фильтры предварительно взвешивают, затем высушивают вместе с материалом полученного класса, по разности определяют вес полученного класса. Отсюда повторный анализ осложняется необходимостью сбора материала с фильтра (например, сжиганием фильтра и т.п.). Точность определения веса полученных классов должна быть увеличена до 0,00I г и даже 0,I мг.

Таким образом, методика производства гранулометрического анализа с помощью седиментатора ГС-I по показателям воспроизводства на примере изучения 5 проб древних отложений может быть с полной уверенностью отнесена к методикам, используемым при количественном анализе, так как относительная ошибка не превышает 30%.

4. МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА И ИНТЕРПРЕТАЦИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ДРОБНОГО ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКОГО АНАЛИЗА

4.I. Вводная часть

Результаты дробного гранулометрического анализа представляют собой достаточно большую по общему объему совокупность численных данных, характеризующих состав исследуемого образца горной породы. Для решения практических геолого-геофизических задач в каждом конкретном случае необходимо провести значительное количество анализов, при этом суммарный объем количественных данных многократно возрастает. Для успешной обработки и интерпретации этих данных необходимо использовать математические методы с применением ЭВМ, позволяющие уменьшить время обработки, сократить трудоемкость, повысить качество интерпретации и надежность геолого-геофизических выводов.

Применение тех или иных методов математической обработки данных определяется кругом решаемых геолого-геофизических задач и целями интерпретации. Однако существует совокупность базовых методов математической обработки, которые необходимо применять практически во всех случаях. В данной главе рассматриваются именно такие методы, при этом большое внимание уделяется их

реализации в виде алгоритмов и программ на ЭВМ.

Предлагаемые методы обработки, алгоритмы и программы прошли широкое опробование при обработке результатов дробных гранулометрических анализов, показали свою практическую ценность и эффективность. Они составляют основу методики математической обработки результатов дробного гранулометрического анализа. Часть предлагаемых методов обработки традиционно используется, часть является новыми. При изложении материала, нас не будет интересовать способ получения гранулометрических данных, так как предлагаемая методика обработки в равной степени пригодна для всех существующих в настоящее время способов производства анализов.

4.2. Основные цели и методы обработки гранулометрических данных

Вне зависимости от способа производства гранулометрического анализа, его результат представляет собой вектор (множество) измеренных значений весов $\vec{P}$ с компонентами P_1, P_2, ..., P_N навески исследуемого образца с известным весом P. В результате проведения анализа, значения P_1, P_2, ..., P_N распределяются по секциям классификатора с номерами $n = 1, 2, \ldots, N$, где N- общее количество секций. Под секцией классификатора мы будем понимать физическое пространство, в котором происходит накопление материала данного класса. Распределение материала по секциям зависит от выбранного параметра классификации, типа классификации и способа производства анализов. Будем считать, что классификация производится по какому-либо физическому параметру d, способ производства анализов и техническая реализация типа классификатора произвольны. В любом случае, на границах секций классификации мы будем иметь упорядоченное множество $\vec{D}$ значений параметра классификации с компонентами $d_0, d_1, d_2, \ldots, d_N$. Эти значения образуют шкалу наблюдений. Каждой n-ой секции классификации отвечает значение нижней d_n и верхней d_{n-1} границ, интервал между d_n и d_{n-1} называется классом (фракцией), при этом $n = 1, 2, \ldots, N$, N- общее количество фракций в анализе. Таким образом, способ, детальность и результат классификации определяются параметрами P, $\vec{P}$, $\vec{D}$, N.

Все известные, традиционно применяемые методы обработки результатов гранулометрических анализов формально сводятся к переходу от величин $P, \vec{P}, \vec{D}, N$ к другим величинам, соответственно, $Q, \vec{Q}, \vec{\theta}, K$.

При этом, преобразование типа $P, \vec{P}, \vec{D}, N \rightarrow I, \vec{Q}, \vec{D}, N$ осуществляет пересчет весовых данных в относительные значения (проценты); преобразование $P, \vec{P}, \vec{D}, N \rightarrow Q, \vec{Q}, \vec{D}, N$ - осуществляет переход от прямых измерений к косвенным; преобразование $P, \vec{P}, \vec{D}, N \rightarrow P, \vec{P}, \vec{Q}, N$ - есть преобразование шкал наблюдений; преобразование $P, \vec{P}, \vec{D}, N \rightarrow P, \vec{P}, \vec{D}, K$ - переход от N-фракционного анализа к K-фракционному.

Кроме вышеперечисленных, мы также рассмотрим:

а) способы графического представления результатов гранулометрической классификации.

б) практику пересчета исходных гранулометрических данных в гранулометрические коэффициенты (гранулометрические статистики) - вторичные признаки исходного экспериментального материала.

Исходя из видов обработки данных, их можно разделить на пять групп, при этом цели обработки в различных группах могут оказаться взаимосвязанными. При выборе того или иного способа преобразований результатов анализов необходимо учитывать, что каждый акт обработки не увеличивает (как правило уменьшает) объем полезной информации, полученной в результате эксперимента, поэтому преобразования исходного экспериментального материала необходимо проводить с известной осторожностью, а потери информации сводить к минимуму путем выбора оптимальной схемы обработки данных.

Группа I. Преобразования результатов измерений.

А. Широко используется преобразование результатов анализов из абсолютных значений весов в относительные (процентные) значения. Это преобразование является полезным, так как оно фактически позволяет исключить один из параметров гранулометрических анализов - вес исходной навески, что обеспечивает также удобную визуализацию и сравнение результатов в сопоставимых значениях.

Б. Переход от весовых значений к косвенному счету зерен. Осуществляется делением весовых значений фракций на вес среднего по диаметру зерна во фракции при известной фиксированной его плотности. Метод может быть использован для грубого сопостав-

ления результатов анализов в шлифах с другими видами анализов [66]. Переход от весовых значений к косвенному счету является информационно бессодержательной процедурой, значительно ухудшает оценки вторичных признаков, требует применения специальных регуляризирующих и сглаживающих процедур при анализе хвостов распределений в области тонких фракций [54]. Метод может быть рекомендован только в том случае, если данные по счету зерен будут являться параметрами в соответствующих моделях сред седиментации.

Группа П. Преобразования шкал наблюдений.

Известные шкалы наблюдений - шкала $\Phi = -\log_2 \bar{d}$ (Крумбейн); шкала $\gamma = -10 \lg \bar{d}$ (Батурин); шкала натуральных логарифмов - $-\ln \bar{d}$, где $\bar{d}$ - среднее значение диаметра зерна во фракции, и другие логарифмические шкалы используются для преобразования исходных шкал наблюдений в равномерные, что обеспечивает удобство графического представления результатов классификации и простоту определения гранулометрических статистик. В результате логарифмического преобразования шкала наблюдений становится равномерной в том случае, если границы интервалов классификации исходной шкалы являются членами геометрической прогрессии. Поскольку гидравлический классификатор позволяет проводить анализы по любым произвольно задаваемым шкалам наблюдений, логарифмические преобразования не всегда будут обеспечивать равномерность шкал результатов. Использование логарифмических шкал для упрощения оценки гранулометрических статистик в настоящее время не представляется целесообразным, так как эти вычисления легко реализуются на ЭВМ при любых исходных шкалах наблюдений. Из всего сказанного следует, что логарифмические преобразования шкал наблюдений могут рассматриваться лишь как дань традиции.

Группа Ш. Преобразования, приводящие к изменению количества фракций в анализе.

Подобные преобразования позволяют по результатам многофракционного анализа произвести расчет суммарного содержания песчано-алевритовой, песчаной, алевритовой размерности, а также провести укрупненный анализ песчаной и алевритовой размерности по принятой в геологии классификации зерен по диаметрам.

В настоящее время накоплен большой фактический материал результатов гранулометрических анализов различной детальности по фракциям, с применением разнообразных шкал наблюдений. Гид-

равлический седиментометр также позволяет проводить гранулометрические анализы в различных шкалах. Для сопоставления и обобщения всех результатов возникает необходимость приведения их к стандартизованному виду. Эта задача может быть решена путем пересчета на ЭВМ по специальному алгоритму результатов классификации из одних шкал в другие, в том числе отличающиеся по количеству фракций. Такой алгоритм реализован в программе обработки результатов гранулометрических анализов, предлагаемой ниже. Результаты осуществляемых преобразований являются точными при выполнении предположения о равномерности распределения материала внутри фракций.

Группа IУ. Графические методы представления результатов гранулометрических анализов.

Цель обработки - визуализация результатов, а также реализация возможности применения графоаналитических методов оценки гранулометрических параметров. Основные виды графических представлений (рис.4.I):

А. Гистограмма. Наиболее простой и наглядный способ визуализации результатов гранулометрических анализов, обеспечивает возможность автоматизированного построения на ЭВМ всех типов на штатных алфавитно-цифровых печатающих устройствах. При построении гистограмм не обязательно преобразование шкал наблюдений в равномерные.

Б. Кривая распределения. Строится на основе аппроксимации гистограммы, требует использования алгоритмов аппроксимации, графопостроителя. При построении кривых распределения неизбежно происходит искажение экспериментальных данных.

В. Кумулятивная кривая. Строится на основе суммирования гистограммы и сглаживания результата, что приводит к уменьшению информативности кривой. Для целей визуализации из-за меньшей информативности, кумулятивная кривая также менее предпочтительна, чем гистограмма. Традиционно применяется для определения графоаналитическими методами гранулометрических параметров (квантилей, моментов). Применение таких методов в настоящее время нецелесообразно, так как гранулометрические параметры точнее, проще и быстрее вычисляются на ЭВМ.

Г. Циклограмма (круговая диаграмма), треугольная диаграмма - специальные виды графического представления результатов гранулометрических анализов, широкого распространения не имеют.

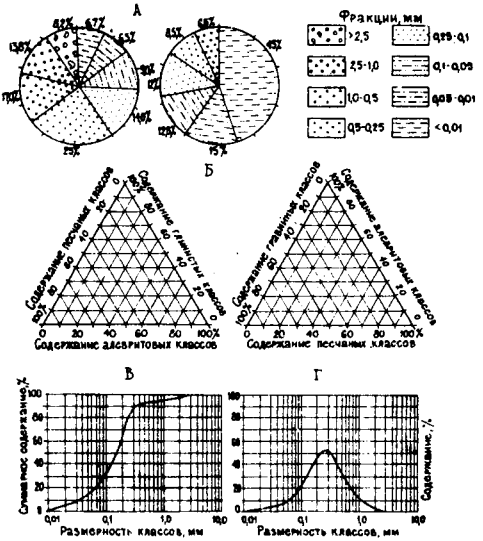


Рис 4.1 Схемы графического изображения гранулометрического состава овломочных пород.

А-циклограммы, Б-треугольники, В-кумулятивная (интегральная) кривая, Г-кривая распределения (ЭПР-эмпирический полигон распределения).

Группа У. Вычисление гранулометрических статистик.

Гранулометрические статистики широко используются для количественной характеризации отличий результатов анализов в различных условиях осадконакопления. Широкое применение гранулометрических статистик связано с тем, что их оценки являются весьма устойчивыми по сравнению с ошибками экспериментальных результатов. Использование статистик в логарифмических шкалах связано с традиционным, неоправдавшимся предположением о логнормальности гранулометрических распределений. При использовании высокоточных гранулометрических исследований нет необходимости применять для их представления гранулометрические статистики. Однако, учитывая тот факт, что модели сред осадконакопления не содержат единых геолого-геофизических реальных параметров, гранулометрические статистики по-прежнему формально используются в качестве таковых. Вычисление гранулометрических статистик на ЭВМ в любых шкалах наблюдений не представляет никаких проблем, поэтому в вопросе использования тех или иных статистик или других вторичных признаков необходимо руководствоваться только геолого-геофизическими соображениями.

4.3. Алгоритм и программа предварительной обработки результатов дробного гранулометрического анализа

В результате выполнения дробного гранулометрического анализа, производимого на гидравлическом седиментаторе путем классификации исходной навески пробы массой P, мы получаем вектор $\vec{P}$ измеренных после высушивания и взвешивания классов с массами P_1, P_2, ... , P_N и номерами 1,2, ... ,N , где N- общее количество классов. Как известно, классификация образца в седиментаторе производится по эквивалентному диаметру. Граничные значения эквивалентных диаметров, соответствующие требуемым классам, задаются до начала эксперимента и представляют собой вектор $\vec{D}$ значений с компонентами d_0, d_1 , d_2 , ..., d_N. Таким образом, совокупность данных P, $\vec{P}$ и $\vec{D}$ представляет собой результат дробной гранулометрической классификации образца на гидравлическом седиментаторе, при этом упорядоченное множество $\{D\}$ компонент вектора $\vec{D}$ называется шкалой классификации.

Исходные результаты дробного гранулометрического анализа

непосредственно для геолого-геофизической интерпретации не применяются, для осуществления их интерпретации необходим пересчет данных.

Совокупность преобразований исходных данных, которую необходимо произвести для использования их при геолого-геофизической интерпретации мы будем называть алгоритмом предварительной обработки результатов дробного гранулометрического анализа.

Алгоритм предварительной обработки результатов дробного гранулометрического анализа включает в себя следующие основные этапы:

I. Пересчет результатов дробного гранулометрического анализа из весовых значений в безразмерные (процентные).

Данное преобразование сводится к делению значений масс P в каждом классе и на величину массы исходной навески по формуле

$$\begin{cases} q_n = P_n / P, \\ n = 1, 2, \ldots, N, \end{cases} \qquad (4.I)$$

где N - общее количество классов.

С помощью данного преобразования, мы исключаем такой параметр, как массу исходной навески P из результатов классификации. При этом, появляется возможность сопоставлять результаты гранулометрических анализов образцов с различными навесками. После выполнения данного преобразования результаты гранулометрической классификации представляются в виде вектора $\vec{Q}$ безразмерных величин $q_1, q_2, \ldots, q_N$, распределенных по интервалам классификации в шкале наблюдений $\{D\}$.

2. Преобразование шкал наблюдений.

Гидравлический седиментатор позволяет проводить классификацию гранулометрического состава в широком произвольно задаваемом диапазоне интервалов классификации на различное требуемое количество классов (фракций). В настоящее время накоплен большой фактический материал результатов гранулометрических анализов различной детальности по фракциям, с применением разнообразных шкал классификации.

Для сопоставления и обобщения всех результатов возникает необходимость приведения их к единому (стандартизированному) виду по количеству фракций в анализе и размерностям классов в них. Эта задача может быть решена на основе применения алгорит-

ма пересчета результатов классификации из произвольно задаваемых шкал в требуемую шкалу. Применение алгоритма пересчета позволяет также привести к единым шкалам измерения, проведенные при различных температурах воды в седиментаторе, что позволит исключить влияние температуры воды, как мешающего параметра, при классификации материала. В настоящей работе предлагается алгоритм пересчета, который дает точные результаты при выполнении предположения о равномерности распределения материала внутри фракций.

3. Построение графиков распределений гранулометрического состава.

Визуальное представление результатов гранулометрического состава в виде графиков распределений по фракциям является важной составной частью подготовки результатов анализов для их интерпретации. Алгоритм предварительной обработки результатов гранулометрических анализов должен в обязательном порядке предусматривать графическое представление данных. При использовании программы для ЭВМ, реализующей алгоритм обработки, этот этап может выполняться в автоматизированном режиме с использованием штатных устройств алфавитно-цифрового представления информации.

4. Вычисление гранулометрических статистик (вторичных признаков) результатов гранулометрических анализов.

Гранулометрические статистики широко используются для характеризации отличий результатов анализов в различных условиях осадконакопления. Наиболее часто они применяются для целей геолого-геофизической интерпретации в виде пар вторичных признаков - генетических диаграмм. Широкое применение гранулометрических статистик связано также с тем, что их оценки являются весьма устойчивыми по отношению к ошибкам экспериментальных данных.

Наиболее часто использующиеся при интерпретации сред седиментации гранулометрические статистики вычисляются в логнормальной и равномерной шкалах наблюдений по следующим формулам:

$$\bar{d}_{\ell n} = 0{,}01 \sum_{n=1}^{N} q_n h_n , \qquad (4.2)$$

$$S_{\ell n} = \sqrt{0{,}01 \sum_{n=1}^{N} (h_n - \bar{d}_{\ell n})^2 q_n} , \qquad (4.3)$$

$$V_{\ell n} = S_{\ell n} / \bar{d}_{\ell n}, \tag{4.4}$$

$$As = 0{,}01 \sum_{n=1}^{N} [(h_n - \bar{d}_{\ell n})/S_{\ell n}]^3 q_n, \tag{4.5}$$

$$E_x = \{0{,}01 \sum_{n=1}^{N} [(h_n - \bar{d}_{\ell n})/S_{\ell n}]^4 q_n\} - 3, \tag{4.6}$$

$$H = -\sum_{n=1}^{N} q_n \ln q_n, \tag{4.7}$$

$$HR = H / |\ln m|, \tag{4.8}$$

$$\bar{d} = 0{,}01 \sum_{n=1}^{N} q_n \bar{d}_n, \tag{4.9}$$

$$S = \sqrt{0{,}01 \sum_{n=1}^{N} (\bar{d}_n - \bar{d})^2 q_n}, \tag{4.10}$$

$$V_{ar} = S / \bar{d}, \tag{4.11}$$

где $n = 1, 2, \ldots, N$ – номера интервалов классификации, N – общее количество интервалов классификации, q_n – относительные значения результатов классификации по интервалам в процентах к массе исследуемой навески.

$$h_n = -\ln[(d_{n-1} + d_n)/2]; \quad \bar{d}_n = (d_{n-1} + d_n)/2;$$

m – количество фракций в анализе; $\bar{d}_{\ell n}$ – среднее значение диаметра в логнормальной шкале наблюдений; $S_{\ell n}$, $V_{\ell n}$ – логнормальный стандарт и вариация; As, Ex – асимметрия и эксцесс в логномарльной шкале; H, HR – абсолютная и относительная энтропия распределения результатов гранулометрической классификации; $\bar{d}$, S, V_{ar} – соответственно, среднее значение, стандарт и вариация распределения результатов гранулометрической классификации в линейной шкале.

Кроме вышеперечисленных гранулометрических статистик, часто при геолого-геофизической интерпретации применяют квантили различных порядков распределений алеврито-песчаной части образцов. Данные характеристики легко вычисляются на ЭВМ путем суммирования относительных значений распределений с достаточно малым шагом по шкале диаметров.

Представляет интерес для целей интерпретации также построение распределений в укрупненных интервалах эквивалентных диаметров по фракциям (песчаная, алевритовая, глинистая) и более дробным укрупненным классам (грубозернистый, крупнозернистый, среднезернистый и т.д.). Вычисление распределений гранулометрического состава по фракциям и укрупненным интервалам на ЭВМ на основе результатов детальных гранулометрических анализов не представляется сложным.

Изучение различных видов и методов обработки результатов гранулометрических анализов позволяет выбрать наиболее приемлемую схему обработки с применением программы на ЭВМ. Предлагаемая ниже программа может быть использована в качестве основы комплекса программ по автоматизированной обработке и интерпретации результатов детальной гранулометрической классификации. Она обеспечивает возможность обобщения и накопления единого по структуре банка данных путем включения в него как результатов седиментометрической классификации, так и результатов других видов гранулометрических анализов различной степени детальности. Программа написана на языке ФОРТРАН и ориентирована на применение в диалоговом режиме на микропроцессорном оборудовании, что не исключает также возможности ее применения на ЭВМ любых типов.

Исходными данными для программы являются:

N - количество секций классификации,

K - количество интервалов классификации,

DN1 - массив значений верхних границ секций классификации

DK1 - массив значений верхних границ интервалов классификации.

KV - количество одновременно обрабатываемых в программе результатов классификации различных образцов, далее для KV = I:

Параметры учета образца - номер и шифр (алфавитно-цифровые литералы).

S - значение веса образца (включая вес глинистой части)

PN - массив значений весов образца по секциям классификации.

Последовательность ввода исходных данных иллюстрируется блок-схемой программы, приведенной на рис.4.2. Заглавными буквами в блоках схемы приводятся сообщения, выводимые на терминал. Ввод с клавиатуры терминала параметров управления и требуемых данных в ответ на сообщения терминала, определяет характер обработки данных и задает режим работы программы. Программа может работать в трех режимах.

Режим стандартный. В этом режиме полагается N=K=25, значения границ секций и интервалов классификации равны и соответствуют стандартизованной последовательности диаметров от 2,5 до 0,01 мм с модулем 1,25. Эти параметры заданы в программе в операторе данных. Предполагается, что результаты классификации получены при стандартизованном режиме работы седиментатора и будут обработаны в той же шкале измерений при неизменном количестве классов.

Режим переходный к стандартному. В этом режиме вводится значение N, равное количеству классов исходных результатов классификации и K=25 - количество классов стандартизованной шкалы измерений. Далее производится ввод N значений начального диаметра секций классификации и переход к стандартному режиму обработки в ответ на сообщение терминала. Предполагается, что в этом режиме обработки результаты будут преобразованы в 25-фракционную шкалу измерений.

Режим нестандартный. При использовании программы в этом режиме предполагается, что результаты классификации получены в N произвольно задаваемых секциях классификации, а обработка результатов будет проводиться в требуемой преобразованной шкале измерений, разбитой на K интервалов классификации. При работе в этом режиме количество секций классификации N и интервалов классификации K, а также соответствующее количество значений верхних границ секций и интервалов классификации вводятся в ЭВМ в ответ на соответствующие указания терминала.

При работе программы в различных режимах производится вывод на печать вводимой информации в порядке, указанном блок-схемой программы. Дальнейшая обработка данных во всех режимах производится по одинаковой схеме. В ответ на указания терминала вводятся с пульта и печатаются: количество вариантов K , но-

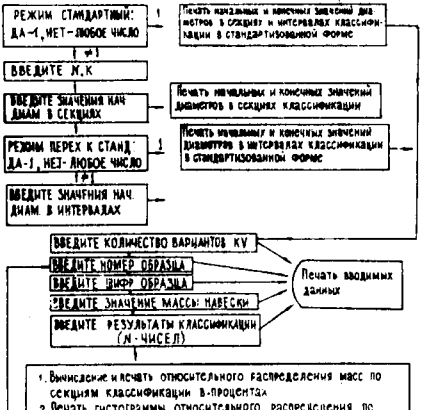


Рис.4.2. Блок-схема программы обработки результатов гранулометрических анализов.

мер образца, шифр, значения веса образца (г) и результаты классификации - распределение весов по секциям классификации - N значений (г). Далее производятся следующие операции:

I) вычисляется и выводится на печать распределения материала навески по секциям классификации в процентах к сумме алеврито-песчаной (АП) части образца.

2) производится пересчет результатов классификации из исходной шкалы наблюдений с N секциями в требуемую шкалу с K интервалами, результаты выводятся на печать в виде гистограммы с указанием интервальных значений распределения масс образца в процентах по отношению к АП-части навески.

3) вычисляется и выводится на печать укрупненное распределение гранулометрического состава образца по фракциям и классам, согласно принятой гранулометрической классификации, по отношению к АП-части и весу всей навески в процентах.

4) производится вычисление и вывод на печать квантилей С АП-части образца с порядками X =0,0I; 0,I; 0,25; 0,5; 0,75. Вычисление квантилей выполняется в специальной подпрограмме путем суммирования процентного содержания АП-части навески с шагом по диаметрам ΔX = 0,000I мм, что обеспечивает достаточную точность оценки результата.

5) вычисляются и печатаются традиционно используемые гранулометрические статистики (вторичные признаки результатов гранулометрической классификации) в логнормальной и равномерной шкалах наблюдений по формулам (4.2 - 4.II).

В случае, если количество одновременно обрабатываемых результатов классификации не превосходит заданного количества K , происходит переход к п.I, в противном случае работа программы прекращается.

Текст вышеописанной программы и входящих в нее подпрограмм приведен на с.123 - 133 и в дополнительных комментариях не нуждается. Приведем лишь краткое описание назначения применяемых подпрограмм:

а) SUBROUTINE SB1 - подпрограмма производит пересчет распределения гранулометрического состава, полученного в интервалах классификации в соответствующей шкале наблюдений в требуемую шкалу, состоящую из K интервалов классификации.

б) SUBROUTINE GRA - осуществляет построение на печатающем устройстве диаграммы распределения гранулометрического

```
      PROGRAM HC1
      REAL DN1(25),DN2(25),DK1(25),DK2(25),PN(25),PK(25)
     1,A(4),B(4),C(8),D(8),RA(25),DC(25),QK(25),RB(3),DL(25)
      BYTE NN(80),NF(80)
      DATA DN1/2.5,2.,1.6,1.25,1.,.8,.63,.5,.4,.315,.25,.2
     1.16,.125,.1,.08,.063,.05,.04,.0315,.025,.02,.016,
     2.0125,.01/,N/25/,K/25/
      DATA A/10.,2.5,.1,.01/,B/2.5,.1,.01,0./,C/10.,2.5,1.0,.5
     1,.25,.1,.05,.01/,D/2.5,1.,.5,.25,.1,.05,.01,0./
      DO 1 I=1,24
      DN2(I)=DN1(I+1)
      DK1(I)=DN1(I)
    1 DK2(I)=DN1(I+1)
      DN2(25)=0.
      DK1(25)=DN1(25)
      DK2(25)=0.
      TYPE *,'РЕЖИМ СТАНДАРТНЫЙ: ДА-1, НЕТ-ЛЮБОЕ  ЧИСЛО'
      ACCEPT *,I
      IF(I.EQ.1)GOTO 100
      TYPE *,'ВВЕДИТЕ N,K'
      ACCEPT *,N,K
      PRINT 2,N,K
    2 FORMAT (7X,16HКОЛ-ВО СЕКЦИЙ N=,I2,18H  КОЛ-ВО ИНТЕРВ.K=,I2)
      TYPE *,'ВВЕДИТЕ ЗНАЧЕНИЯ НАЧ.ДИАМ.В СЕКЦИЯХ (N-ЧИСЕЛ)'
      ACCEPT *,(DN1(I),I=1,N)
      J=N-1
      DO 3 I=1,J
    3 DN2(I)=DN1(I+1)
      DN2(N)=0.
      TYPE *,'РЕЖИМ ПЕРЕХ.К СТАНД.: ДА-1, НЕТ-ЛЮБОЕ ЧИСЛО'
      ACCEPT *,I
      IF(I.EQ.1)GOTO 100
      TYPE*,'ВВЕДИТЕ ЗНАЧЕНИЯ НАЧ.ДИАМ.В ИНТЕРВ.(K-ЧИСЕЛ)'
      ACCEPT *,(DK1(I),I=1,K)
      J=K-1
      DO 4 I=1,J
    4 DK2(I)=DK1(I+1)
      DK2(K)=0.
  100 PRINT *,'        НАЧ.ДИАМ.В СЕКЦИЯХ(ММ.)'
      PRINT 5,(DN1(I),I=1,N)
    5 FORMAT(6X,15F6.3)
      PRINT 6
    6 FORMAT(7X,2ЗНКОНЕЧН.ДИАМ.В СЕКЦИЯХ(ММ.))
      PRINT 5,(DN2(I),I=1,N)
      PRINT *,'        НАЧ.ДИАМ.В ИНТЕРВАЛАХ(ММ.)'
      PRINT 5,(DK1(I),I=1,K)
      PRINT *,'        КОНЕЧН.ДИАМ.В ИНТЕРВАЛАХ(ММ.)'
      PRINT 5,(DK2(I),I=1,K)
      DO 7 I=1,K
      DL(I)=(DK1(I)+DK2(I))/2.0
    7 DC(I)=-ALOG(DL(I))
      TYPE *,'ВВЕДИТЕ КОЛИЧЕСТВО ВАРИАНТОВ KV'
      ACCEPT *,KV
      PRINT 8,KV
    8 FORMAT(6X,25H КОЛИЧЕСТВО ВАРИАНТОВ KV=,I3)
      PRINT 37
      NV=0
  111 NV=NV+1
      IF(NV-KV)222,222,333
  222 TYPE *,'ВВЕДИТЕ НОМЕР ОБРАЗЦА'
```

```
      ACCEPT 223,NNN,(NN(I),I=1,NNN)
  223 FORMAT(Q,80A1)
      TYPE *,'ВВЕДИТЕ ШИФР ОБРАЗЦА'
      ACCEPT 223,NFN,(NF(I),I=1,NFN)
      TYPE *,'ВВЕДИТЕ ЗНАЧЕНИЕ МАССЫ НАВЕСКИ'
      ACCEPT *,S
      PRINT 9,NV
    9 FORMAT(6X,14И ВАРИАНТ НОМЕР,I4)
      TYPE *,'ВВЕДИТЕ РЕЗУЛЬТАТЫ КЛАССИФИКАЦИИ (N-ЧИСЕЛ)'
      ACCEPT *,(PN(I),I=1,N)
      SS=0.
      DO 10 I=1,N
   10 SS=SS+PN(I)
      PRINT 11,(NN(I),I=1,4)
   11 FORMAT (6X,' НОМЕР ОБРАЗЦА: ',4A1,'ШИФР:')
      PRINT 110,(NF(I),I=1,6)
  110 FORMAT(1H+,30X,6A1)
      PRINT 12,S,SS
   12 FORMAT(1H+,44X,'НАВЕСКА(Г): ',F5.2,5X,'ГР + АП (Г): ',F5.2)
      PRINT *,'        МАССА НАВЕСКИ В СЕКЦИЯХ (Г)'
      PRINT 5,(PN(I),I=1,N)
      R=SS/100.
      CALL SB1(N,K,DN1,DN2,DK1,DK2,PN,PK,R)
      PRINT 13
   13 FORMAT(6X,38H ОТНОСИТЕЛЬНОЕ РАСПРЕД.МАСС ПО СЕКЦИЯМ)
      PRINT 5,(PN(I),I=1,N)
      PRINT *,' ИНТ.ДИАМ.(ММ.)                    ОТНОСИТЕЛЬНОЕ'
      PRINT 14
   14 FORMAT(1H+,49X,'РАСПРЕДЕЛЕНИЕ АП-ЧАСТИ В ПРОЦЕНТАХ')
      CALL GRA(K,DK1,DK2,PK)
      CALL SB1(K,4,DK1,DK2,A,B,PK,RA,1.)
      PRINT 15
   15 FORMAT(20X,'ЛИТОЛОГИЧЕСКИЙ СОСТАВ ОБРАЗЦА В ПРОЦЕНТАХ')
      PRINT 16
   16 FORMAT (1X,7HФРАКЦИИ,3X,12HГРАВ.ФРАКЦИЯ,3X,17HПЕСЧАННАЯ ФРАКЦИЯ)
      PRINT 17
   17 FORMAT (1H+,50X,30HАЛЕВР.ФРАКЦИЯ          ГЛИН.ФР.)
      PRINT 18
   18 FORMAT (1X,10HДИАМ.(ММ.),3X,8H10.0-2.5,11X,9H2.5 - 0.1)
      PRINT 19
   19 FORMAT(1H+,50X,10H0.1 - 0.01,7X,13H      0.01-0.0)
      PRINT 20
   20 FORMAT(1X,'ГР + АП')
      PRINT 21,(RA(I),I=1,4)
   21 FORMAT(1H+,4(14X,F6.2))
      R=SS/S
      RA(1)=RA(1)*R
      RA(2)=RA(2)*R
      RA(3)=RA(3)*R
      RA(4)=(1.-R)*100.
      PRINT *,'ВСЯ НАВЕСКА:'
      PRINT 21,(RA(I),I=1,4)
      PRINT 22
   22 FORMAT(1X,38HКЛАССЫ    ГРУБОЗ.    КРУПНОЗ.  СРЕДНЕЗ.)
      PRINT 23
   23 FORMAT(1H+,41X,35HМЕЛКОЗ.    КРУПНОАЛ.МЕЛКОАЛ.    ГЛИН.)
      PRINT 24
   24 FORMAT(1X,39HДИАМ.(ММ.) 2.5-1.0    1.0-0.5    0.5-0.25)
      PRINT 25
   25 FORMAT(1H+,41X,36H0.25-0.1  0.1-0.05  0.05-0.01 0.01-0)
```

```
      CALL SB1(K,8,DK1,DK2,C,D,PK,RA,1.)
      PRINT 20
      PRINT 26,(RA(I),I=2,8)
   26 FORMAT(1H+,7X,7F10.2)
      DO 27 I=1,6
   27 RA(I+1)=RA(I+1)*R
      RA(8)=(1.-R)*100.
      PRINT *,'ВСЯ НАВЕСКА:'
      PRINT 26,(RA(I),I=2,8)
      DO 28 I=1,K
   28 QK(I)=PK(I)/100.
      CALL CVA(K,DK1,DK2,QK,RA)
      PRINT*,'                    КВАНТИЛИ АП ЧАСТИ ОБРАЗЦА
      PRINT 29
   29 FORMAT(6X,11НПОРЯДКИ КВ:,7X,4H0.01,6X,3H0.1,5X,6H  0.25)
      PRINT 30
   30 FORMAT(1H+,53X,5H  0.5,5X,5H 0.75)
      PRINT 31,(RA(I),I=1,5)
   31 FORMAT(6X,'ДИАМЕТРЫ(ММ.)',5F10.3)
      PRINT 32
   32 FORMAT(16X,'ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКИЕ СТАТИСТИКИ')
      CALL VEC(K,DC,QK,RA,RB,DL)
      PRINT 33
   33 FORMAT(8X,'СРЕДН.ЗН. СТАНДАРТ  ВАРИАЦИЯ АСИММЕТРИЯ')
      PRINT 34
   34 FORMAT(1H+,47X,'ЭКСЦЕСС ЭНТРОПИЯ   HR')
      PRINT 35,(RA(I),I=1,7)
   35 FORMAT(2X,'LN :  ',7F9.3)
      PRINT 36,(RB(I),I=1,3)
   36 FORMAT(2X,'MM.:  ',3F9.3)
      PRINT 37
   37 FORMAT(6X,120(1H-))
      GOTO 111
  333 CONTINUE
      STOP
      END
```

```
      SUBROUTINE SB1(N,K,V1,V2,U1,U2,PN,PK,
      REAL V1(27),V2(27),U1(27),U2(27),PN(27),PK(27),DN(27)
      DO 1 I=1,N
      PN(I)=PN(I)/S
    1 DN(I)=PN(I)/(V1(I)-V2(I))
      DO 12 I=1,K
      PK(I)=0.
      DO 11 J=1,N
      IF(V2(J)-U1(I))2,11,11
    2 IF(V1(J)-U2(I)) 11,11,3
    3 IF(V1(J)-U1(I)) 4,7,7
    4 IF(V2(J)-U2(I)) 6,5,5
    5 R=V1(J)-V2(J)
      GOTO 10
    6 R=V1(J)-U2(I)
      GOTO 10
    7 IF(V2(J)-U2(I))8,9,9
    8 R=U1(I)-U2(I)
      GOTO 10
    9 R=U1(I)-V2(J)
   10 PK(I)=PK(I)+R*DN(J)
   11 CONTINUE
   12 CONTINUE
      RETURN
      END
```

```
      SUBROUTINE GRA(K,R1,R2,PK)
      REAL R1(25),R2(25),PK(25),MAS(84),M1,M2,M3,M4,MP
      DATA M1/'(1H+'/,M2/',13X'/,M3/',1H '/,M4/',1X)'/,MP/',1HX'/
      MAS(1)=M1
      MAS(2)=M2
      MAS(84)=M4
      PRINT 1
      PRINT 21
      PRINT 2
      PRINT 22
    1 FORMAT(13X,3H0.0,6X,4H10.0,6X,4H20.0,6X,4H30.0,6X,4H40.0)
   21 FORMAT(1H+,61X,4H50.0,6X,4H60.0,6X,4H70.0,6X4H80.0)
    2 FORMAT(14X,41HI++++I++++I++++I++++I++++I++++I++++I++++I)
   22 FORMAT(1H+,54X,40H++++I++++I++++I++++I++++I++++I++++I)
      DO 4 I=3,83
    4 MAS(I)=M3
      KN=0
    5 KN=KN+1
      IF(KN-K) 6,6,11
    6 X=R1(KN)
      Y=R2(KN)
      IZ=PK(KN)
      Z=PK(KN)
      PRINT 7,X,Y,IZ,Z
    7 FORMAT(1X,F6.3,1H-,F6.3,1H+,9X,1H+,9X,1H+,9X,1H+,9X,1H+,9X,1H+,9)
     11H+,9X,1H+,9X,1H+,3X,I3,3X,F5.2)
      A=0.
      J=50
      DO 9 I=1,81
      A=A+1.
      IF(Z-A)8,9,9
    8 J=I
      GOTO10
    9 CONTINUE
   10 MAS(J+2)=MP
      DO 110 I=1,J
  110 MAS(I+2)=MP
      PRINT MAS
      DO 111 I=1,J
  111 MAS(I+2)=M3
      GO TO 5
   11 CONTINUE
      RETURN
      END
```

```
      SUBROUTINE CVA(K,V1,V2,P,A)
      REAL V1(30),V2(30),P(30),A(25),C(5)
      DATA C/.01,.1,.25,.5,.75/,DX/.0001/,J/1/,S/0./
      J=1
      S=0.
      X=V1(1)
      DO 4 I=1,K
      DS=P(I)*DX/(V1(I)-V2(I))
    1 S=S+DS
      X=X-DX
      IF(X-V2(I))4,2,2
    2 IF(S-C(J))1,3,3
    3 A(J)=X
      J=J+1
      IF(J-5)1,1,5
    4 CONTINUE
    5 CONTINUE
      RETURN
      END
```

```
      SUBROUTINE VEC(K,V,P,A,B,D)
      REAL V(27),P(27),A(20),B(3),D(27)
      DO 1 I=1,20
    1 A(I)=0.0
      B(1)=0.0
      B(2)=0.0
      DO 2 I=1,K
      B(1)=B(1)+P(I)*D(I)
    2 A(1)=A(1)+P(I)*V(I)
      DO 3 I=1,K
      B(2)=B(2)+((D(I)-B(1))**2)*P(I)
    3 A(2)=A(2)+((V(I)-A(1))**2)*P(I)
      A(2)=SQRT(A(2))
      B(2)=SQRT(B(2))
      A(3)=A(2)/A(1)
      B(3)=B(2)/B(1)
      DO 4 I=1,K
    4 A(4)=A(4)+((V(I)-A(1))**3)*P(I)
      A(4)=A(4)/(A(2)**3)
      DO 5 I=1,K
    5 A(5)=A(5)+((V(I)-A(1))**4)*P(I)
      A(5)=A(5)/(A(2)**4)-3.0
      R=0.0
      DO 7 I=1,K
      IF(P(I)-0.1E-10)7,7,6
    6 R=R+1.0
      A(6)=A(6)+P(I)*ALOG(P(I))
    7 CONTINUE
      A(6)=-A(6)
      R=ALOG(R)
      IF(R)9,8,10
    8 A(7)=1.0
      GOTO 11
    9 R=-R
   10 A(7)=A(6)/R
   11 CONTINUE
      RETURN
      END
```

ТАБЛИЦА 4.1

КОЛ-ВО СЕКЦИЙ N=24 КОЛ-ВО ИНТЕРВ.K=25
НАЧ.ДИАМ.В СЕКЦИЯХ(ММ.)
2.000 1.600 1.250 1.000 0.800 0.630 0.500 0.400 0.315 0.250 0.200 0.160 0.125 0.100 0.080
0.063 0.050 0.040 0.031 0.025 0.020 0.016 0.012 0.010
КОНЕЧН.ДИАМ.В СЕКЦИЯХ(ММ.)
1.600 1.250 1.000 0.800 0.630 0.500 0.400 0.315 0.250 0.200 0.160 0.125 0.100 0.080 0.063
0.050 0.040 0.031 0.025 0.020 0.016 0.012 0.010 0.000
НАЧ.ДИАМ.В ИНТЕРВАЛАХ(ММ.)
2.500 2.000 1.600 1.250 1.000 0.800 0.630 0.500 0.400 0.315 0.250 0.200 0.160 0.125 0.100
0.080 0.063 0.050 0.040 0.032 0.025 0.020 0.016 0.013 0.010
КОНЕЧН.ДИАМ.В ИНТЕРВАЛАХ(ММ.)
2.000 1.600 1.250 1.000 0.800 0.630 0.500 0.400 0.315 0.250 0.200 0.160 0.125 0.100 0.080
0.063 0.050 0.040 0.032 0.025 0.020 0.016 0.013 0.010 0.000
КОЛИЧЕСТВО ВАРИАНТОВ KV= 1

ВАРИАНТ НОМЕР 1
НОМЕР ОБРАЗЦА: 38ШИФР: TIHAN НАВЕСКА(Г): 50.00 ГР + АП (Г): 41.98
МАССА НАВЕСКИ В СЕКЦИЯХ (Г)
0.010 0.010 0.030 0.020 0.010 0.010 0.030 0.070 0.220 3.520 9.51010.320 8.040 4.510 1.900
1.220 0.770 0.430 0.690 0.220 0.200 0.130 0.110 0.000
ОТНОСИТЕЛЬНОЕ РАСПРЕД.МАСС ПО СЕКЦИЯМ
0.024 0.024 0.071 0.048 0.024 0.024 0.071 0.167 0.524 8.38522.65424.58319.15210.743 4.526
2.906 1.834 1.024 1.644 0.524 0.476 0.310 0.262 0.000

ИНТ.ДИАМ.(ММ.) ОТНОСИТЕЛЬНОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ АП-ЧАСТИ В ПРОЦЕНТАХ

```
            0.0       10.0      20.0      30.0      40.0      50.0      60.0      70.0      80.0
             I++++I++++I++++I++++I++++I++++I++++I++++I++++I++++I++++I++++I++++I++++I++++I++++I
2.500- 2.000*         +         +         +         +         +         +         +         +     0    0.00
2.000- 1.600*         +         +         +         +         +         +         +         +     0    0.02
1.600- 1.250*         +         +         +         +         +         +         +         +     0    0.02
1.250- 1.000*         +         +         +         +         +         +         +         +     0    0.07
1.000- 0.800*         +         +         +         +         +         +         +         +     0    0.05
0.800- 0.630*         +         +         +         +         +         +         +         +     0    0.02
0.630- 0.500*         +         +         +         +         +         +         +         +     0    0.02
0.500- 0.400*         +         +         +         +         +         +         +         +     0    0.07
0.400- 0.315*         +         +         +         +         +         +         +         +     0    0.17
0.315- 0.250*         +         +         +         +         +         +         +         +     0    0.52
0.250- 0.200*********+         +         +         +         +         +         +         +     8    8.38
0.200- 0.160**********************         +         +         +         +         +         +    22   22.65
0.160- 0.125**********************         +         +         +         +         +         +    24   24.58
0.125- 0.100**********************+        +         +         +         +         +         +    19   19.15
0.100- 0.080**********         +         +         +         +         +         +         +    10   10.74
0.080- 0.063*****     +         +         +         +         +         +         +         +     4    4.53
0.063- 0.050***       +         +         +         +         +         +         +         +     2    2.91
0.050- 0.040**        +         +         +         +         +         +         +         +     1    1.83
0.040- 0.032*         +         +         +         +         +         +         +         +     0    0.91
0.032- 0.025**        +         +         +         +         +         +         +         +     1    1.76
0.025- 0.020*         +         +         +         +         +         +         +         +     0    0.52
0.020- 0.016*         +         +         +         +         +         +         +         +     0    0.48
0.016- 0.013*         +         +         +         +         +         +         +         +     0    0.23
0.013- 0.010*         +         +         +         +         +         +         +         +     0    0.34
0.010- 0.000*         +         +         +         +         +         +         +         +     0    0.00
```

ЛИТОЛОГИЧЕСКИЙ СОСТАВ ОБРАЗЦА В ПРОЦЕНТАХ

ФРАКЦИИ	ГРАВ.ФРАКЦИЯ	ПЕСЧАННАЯ ФРАКЦИЯ	АЛЕВР.ФРАКЦИЯ	ГЛИН.ФР.
ДИАМ.(ММ.)	10.0-2.5	2.5 - 0.1	0.1 - 0.01	0.01-0.0
ГР + АП	0.00	75.75	24.25	0.00
ВСЯ НАВЕСКА:	0.00	63.60	20.36	16.04

КЛАССЫ	ГРУБОЗ.	КРУПНОЗ.	СРЕДНЕЗ.	МЕЛКОЗ.	КРУПНОАЛ.	МЕЛКОАЛ.	ГЛИН.
ДИАМ.(ММ.)	2.5-1.0	1.0-0.5	0.5-0.25	0.25-0.1	0.1-0.05	0.05-0.01	0.01-0
ГР + АП	0.12	0.10	0.76	74.77	18.18	6.07	0.00
ВСЯ НАВЕСКА:	0.10	0.08	0.64	62.78	15.26	5.10	16.04

КВАНТИЛИ АП ЧАСТИ ОБРАЗЦА

ПОРЯДКИ КВ:	0.01	0.1	0.25	0.5	0.75
ДИАМЕТРЫ(ММ.)	0.250	0.199	0.172	0.134	0.101

ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКИЕ СТАТИСТИКИ

	СРЕДН.ЗН.	СТАНДАРТ	ВАРИАЦИЯ	АСИММЕТРИЯ	ЭКСЦЕСС	ЭНТРОПИЯ	HR
LN :	2.095	0.510	0.244	1.372	3.954	2.022	0.645
MM.:	0.137	0.070	0.510				

состава.

в) SUBROUTINE CVA- вычисляет квантили распределений.

г) SUBROUTINE VEC- вычисляет вторичные признаки - гранулометрические статистики распределений.

Результаты обработки гранулометрических данных по описанной программе целесообразно проиллюстрировать на конкретном примере. В таблице 4.I приведена распечатка расчетов по обработке гранулометрических данных анализа на гидравлическом седиментаторе образца № 38 (Тиман). Вес исходной навески - 50,0 г. Результаты получены в N = 24 секциях классификации с интервалами эквивалентных диаметров, приведенными в таблице 4.I. Там же приведен итог суммирования АП-части навески - 4I,98 г, а также исходное и относительное (в процентах) распределение АП-части образца по секциям классификации. Эти значения пересчитаны в стандартизованную шкалу наблюдений, состоящую из K = 25 интервалов классификации, напечатаны значения верхних границ интервалов классификации стандартизованной шкалы. В продолжении распечатки результата обработки приведена гистограмма распределения гранулометрического состава АП-части образца в процентах в интервалах стандартизованной шкалы измерений. Справа отг гистограммы в двух столбцах напечатаны интервальные значения результатов пересчета распределения гранулометрического состава АП части образца в целых значениях процентов и с точностью до сотых долей процента. Гистограмма наглядно отражает распределение АП-части образца по интервалам классификации. В конце распечатки результата обработки приведены расчеты литологическогос состава образца по укрупненным фракциям и классам в процентах к АП-части всей навески, выведены на печать значения квантилей АП-части образца, а также среднее значение, стандарт, вариация, асимметрия, эксцесс в логнормальной шкале; абсолютная и относительная энтропия; среднее, стандарт и вариация в линейной шкале, вычисленные по формулам (4.5 - 4.II).

Опыт широкого использования программы для обработки результатов гранулометрических анализов показал, что результаты расчетов, выполняемых при обработке данных являются достаточными для их дальнейшей геолого-геофизической интерпретации, результаты представляются в удобной, легко обозримой форме.

Таким образом, применение предлагаемой схемы обработки, алгоритма и программы являются завершающим этапом при проведении дробных гранулометрических анализов.

4.4. Статистические алгоритмы интерпретации фациальных обстановок, построенные по результатам дробного гранулометрического анализа

Известно, что динамические особенности сред седиментации являют существенным образом на характер распределения гранулометрического состава отложения, формируемых в данных фациальных обстановках. Однако, формальные взаимосвязи этих факторов не установлены. В существующие в настоящее время геофизические модели, описывающие особенности различных сред седиментации 57, 56 входят параметры сред, достаточно трудно определяемые экспериментально и, как правило, не входят распределения гранулометрического состава отложений, хотя последние можно определить на основе известных и предлагаемых методов с весьма высокой точностью. Это обстоятельство наиболее существенно проявляется при фациальной интерпретации древних отложений, о динамических условиях формирования которых мы можем судить в основном лишь по гранулометрическому составу проб.

В настоящей работе для установления взаимосвязи между фациальной обстановкой формирования отложений и их гранулометрическим составом предлагается использовать статистические алгоритмы и программы. Они основаны на широко развитой в настоящее время статистической теории и методах интерпретации геофизиче-

ских данных,* применение которой позволяет построить наиболее общие статистические модели фациальных обстановок, провести оценку их параметров, построить алгоритмы распознавания фациальных обстановок осадконакопления по гранулометрическим данным или вторичному экспериментальному материалу (гранулометрическим статистикам). Важной особенностью статистических алгоритмов является возможность осуществления оценок точности и надежности получаемых результатов, что позволяет в конечном итоге оценить качество принимаемых геолого-геофизических решений.

Одним из наиболее важных этапов в применении статистической теории интерпретации является построение моделей исследуемых объектов.

При построении статистических моделей интерпретации различных фациальных обстановок мы будем исходить из следующих основных предположений:

I. Существует достаточно устойчивая региональная взаимосвязь между видом фациальной обстановки и результатами гранулометрических анализов проб отложений, сформированных в условиях седиментации, отвечающих ей. Таким образом, распределения гранулометрического состава проб, взятых в пределах данного региона из одинаковых фациальных обстановок, будут отличаться друг от друга с точностью до ошибок разброса, в то время, как распределения гранулометрического состава в различных фациальных обстановках будут отличаться друг от друга существенно.

2. При отсутствии достаточно надежных моделей и возможности прямой оценки входящих в них геолого-геофизических параметров, наиболее полную информацию о фациальных обстановках будут давать распределения гранулометрического состава проб, взятых из них.

В рамках статистической теории интерпретации физических наблюдений, в качестве статистических моделей фациальных об-

---

* Гольцман Ф.М. Статистические модели интерпретации. М.: 1971, 328 с.

Статистическая интерпретация геофизических данных/Гольцман Ф.М., Жетель Н.Ф., Жетель Ю.Н. и др. Л.: Изд. ЛГУ, 1981.

становок принимается наиболее общая аддитивная модель вида:

$$\begin{cases} \vec{q}^{\,m} = \vec{Q}^{\,m} + \Delta\vec{q}^{\,m}, \\ m = 1, 2, \ldots, M, \end{cases} \qquad (4.12)$$

где $\vec{q}^{\,m}$ - распределение гранулометрического состава отложения, взятого из фациальной обстановки с номером m; $\vec{Q}^{\,m}$ - модельное распределение гранулометрического состава фациальной обстановки; $\Delta\vec{q}^{\,m}$ - вектор разброса значений распределений гранулометрического состава в фациальной обстановке с номером m; M - общее количество фациальных обстановок, которые необходимо выделить как отличающиеся в данном регионе.

Обозначая входящие в модель (4.12) величины $\vec{q}^{\,m}$, $\vec{Q}^{\,m}$ и $\vec{q}^{\,m}$ векторами, мы хотим подчеркнуть лишь то, что каждая из них представляет собой множество относительных значений распределений гранулометрического состава по фиксированной шкале наблюдений.

Следует также отметить, что величины $\vec{q}^{\,m}$ являются случайными (с точностью до ошибок разброса) векторами измерений; $\vec{Q}^{\,m}$ - неслучайными, подлежащими оценке неизвестными значениями модельных распределений; $\Delta\vec{q}^{\,m}$ - случайные ошибки разброса.

Ошибки разброса $\Delta\vec{q}^{\,m}$ мы будем считать в наиболее общем виде в рамках статистической теории интерпретации распределенными по многомерному нормальному закону с нулевым средним значением ($\Delta\vec{q}^{\,m} = 0$) и неизвестной матрицей ковариации A_m.

В целях уменьшения вычислений, от наиболее общего вида распределения величины $\Delta\vec{q}^{\,m}$ можно перейти к более простым представлениям:

а) компоненты вектора $\Delta\vec{q}^{\,m}$ можно считать некоррелированными.

б) при построении моделей фациальных обстановок можно использовать не исходный экспериментальный материал - результаты гранулометрического анализа, а вычисленные на его основе гранулометрические статистики - вторичные признаки экспериментального материала. К числу вторичных признаков относятся:

1) моменты различных порядков;

2) квантили результатов классификации;

3) всевозможные статистики типа асимметрии, эксцесса, энтропии и т.д.

Статистические модели фациальных обстановок в пространстве вторичных признаков могут быть также представлены в виде (4.12). Входящие в модель величины при этом будут иметь следующий смысл:

$\vec{q}^{m}$ - измеряемый случайный вектор - набор вторичных признаков результатов классификации образца, принадлежащего модели фации с номером m; $\vec{Q}^{m}$ - неизвестный неслучайный модельный вектор вторичных признаков фациальной обстановки с номером ; - неизвестный неслучайный модельный вектор вторичных признаков фациальной обстановки с номером ; $\Delta\vec{q}^{m}$ - случайный вектор разброса в m -модели фациальной обстановки в терминах вторичных признаков; M - общее количество фациальных обстановок.

При использовании для построения моделей фациальных обстановок вторичных признаков, размерность векторов в модели (4.12) будет равна количеству используемых вторичных признаков. Все сделанные выше предположения о характере распределения случайной компоненты при использовании вторичных признаков остаются в силе. Размерность матрицы ковариации также будет определяться количеством используемых признаков.

Однако, при допущении тех или иных упрощений моделей фациальных обстановок следует помнить, что возможность распознавания (различия) их не увеличивается. Так например, многие авторы делают выводы об условиях и режиме осадконакопления не по результатам классификации, а по вторичным признакам, вычисляемым по исходным результатам. При этом используются, в основном, различные пары вторичных признаков (асимметрия - стандартное отклонение, асимметрия - сортировка, средний размер зерен - стандарт, параметры $CM\alpha$ диаграммы Пассега и т.д.) - парные диаграммы, а на получаемых диаграммах выделяют области, отвечающие различным условиям седиментации. Парные диаграммы позволяют в доступной обозрению форме интерпретировать режим осадконакопления исследуемых регионов. Вместе с тем, переход от исходного многомерного экспериментального материала к пространству нескольких вторичных признаков неизбежно сопровождается утратой части полезной информации и заведомо не улучшит надежность распознавания. При использовании вторичных признаков следует количественно решить вопрос эффективности тех или иных их совокупностей для целей распознавания фациальных обстановок.

Естественной мерой качества тех или других групп признаков для целей фациального распознавания будет сравнение их эффективности с эффективностью использования для целей распознавания исходной информации - результатов гидравлической классификации.

4.5. Статистические алгоритмы определения фациальной классификации образцов по результатам гранулометрического анализа.

Для практического применения алгоритмов распознавания типов фациальных обстановок по результатам гранулометрического анализа требуется оценить значения компонент модельного вектора $\vec{Q}^m$. Кроме того, при использовании модели наиболее общего вида, требуется также сделать оценки элементов $a^m_{ii'}$ матрицы ковариации A_m случайной компоненты модели. Этот этап носит название обучения.

На этапе обучения, в качестве оценок $\hat{\vec{Q}}^m$, $\hat{a}^m_{ii'}$ неизвестных величин $\vec{Q}^m$ и $a^m_{ii'}$ можно взять выборочные оценки, определенные по множеству N_m результатов классификации образцов пород, взятых из заведомо известных фациальных обстановок m :

$$\begin{cases} Q^m = \frac{1}{N_m} \sum_{n=1}^{N_m} \vec{q}^m_n ; \\ \hat{a}^m_{ii'} = \frac{1}{N_m - 1} \sum_{n=1}^{N_m} (q^m_{in} - \hat{q}^m_i)(q^m_{i'n} - \hat{q}^m_{i'}) ; \\ i = 1,2,\ldots,K ; \quad i' = 1,2,\ldots,K ; \\ m = 1,2,\ldots,M ; \quad n = 1,2,\ldots,N. \end{cases} \tag{4.13}$$

Можно также получить оценки величин $\hat{\vec{Q}}^m$ и $\hat{a}^m_{ii'}$ на основе априорных (интуитивных) представлений интерпретатора.

Подставляя тем или иным способом полученные оценки в формулу (4.12), имеем:

$$\begin{cases} \vec{q}^{\,m} = \hat{\vec{Q}}^{m} + \Delta\vec{q}^{\,m}; \\ m = 1,2,\ldots,M, \end{cases} \qquad (4.14)$$

где вектор разброса $\Delta\vec{q}^{\,m}$ распределен по нормальному закону с нулевым средним значением и известной матрицей ковариации элементами $\hat{a}^{m}_{ii'}$.

На этапе принятия решения о принадлежности образца по результатам его гранулометрического анализа той или иной фациальной обстановке, мы будем пользоваться моделями вида (4.14) и известными статистическими критериями.

Можно, например, воспользоваться критерием максимума правдоподобия, тогда решающее правило о принадлежности результата гранулометрического анализа $\vec{q}$ обстановке с номером запишется в виде:

$$\begin{cases} \vec{q} \in n, \text{ если при } m=n \text{ достигается } \max W(\vec{q},\hat{\vec{Q}}^{m},\hat{A}_{m}); \\ m = 1,2,\ldots,M, \end{cases} \qquad (4.15)$$

где $W(\vec{q},\hat{\vec{Q}}^{m},\hat{A}_{m})$ – функция правдоподобия, которая при сделанных выше предположениях о модели экспериментального материала и вида распределения случайной компоненты имеет следующее представление:

$$W(\vec{q},\hat{\vec{Q}}^{m},\hat{A}_{m}) = \prod_{i=1}(2\pi)^{-\frac{1}{2}K}\|\hat{A}_{m}\|^{-\frac{1}{2}}\exp\left\{-\frac{1}{2}\sum_{i=1}^{K}(q_i-\hat{Q}_i^{m})^{T}\hat{A}_{m}^{-1}(q_i-\hat{Q}_i^{m})\right\}, \qquad (4.16)$$

где q_i – компоненты вектора $\vec{q}$, $i = 1,2,\ldots,K$, $\hat{\vec{Q}}_i^{m}$ – оценки компонент модельного вектора $\vec{Q}^{m}$ m-той фациальной обстановки, $\hat{A}_{m}^{-1}$ – обратная матрица ковариации случайной компоненты, $\|\hat{A}_{m}\|$ – детерминант матрицы $\hat{A}_{m}$, K – общее количество интервалов гранулометрической классификации; T – знак транспонирования.

Очевидно, что $\max W(\vec{q},\hat{\vec{Q}}^{m},\hat{A}_{m})$ совпадает с максимумом $\ln W(\vec{q},\hat{\vec{Q}}^{m},\hat{A}_{m})$ и достигается при максимуме функции отклика $\Lambda(q,\hat{\vec{Q}}^{m},\hat{A}_{m})$, задаваемой формулой:

$$\Lambda(\vec{q},\hat{\vec{Q}}^{m},\hat{A}_{m}) = \ln\|\hat{A}_{m}\| - \frac{1}{2}\sum_{i=1}^{K}(q_i-\hat{Q}_i^{m})^{T}\hat{A}_{m}^{-1}(q_i-\hat{Q}_i^{m}). \qquad (4.17)$$

Таким образом, критерий максимального правдоподобия (4.15) может быть окончательно записан в виде:

$$\begin{cases} \vec{q} \in n, \text{ если при } m=n \text{ достигается } \max \Lambda(\vec{q}, \hat{\vec{q}}^m, \hat{A}_m) \\ m=1,2,\ldots,M. \end{cases} \quad (4.18)$$

Известно, что критерий максимума правдоподобия является частным случаем более общего критерия максимума апостериорной вероятности - одного из основных критериев, применяемых в задачах распознавания. Критерий максимума апостериорной вероятности представляется в виде:

$$\begin{cases} q \in n, \quad \text{если при } m=n \text{ достигается } \max_m P(H_n|\vec{q}); \\ m=1,2,\ldots,M. \end{cases} \quad (4.19)$$

Здесь $P(H \mid \vec{q})$ - апостериорная вероятность того, что $\vec{q} \in n$, вычисляемая по известной формуле:

$$\begin{cases} P(H_n|\vec{q}) = \dfrac{P(H_n)W(\vec{q}, \hat{\vec{q}}^n, \hat{A}_n)}{\sum\limits_{m=1}^{M} P(H_m)W(\vec{q}, \hat{\vec{q}}^m, \hat{A}_m)}; \\ m=1,2,\ldots,M; \quad n=1,2,\ldots,M, \end{cases} \quad (4.20)$$

где $P(H_m)$ - априорные вероятности появления фациальных обстановок вида $m (m=1,2,\ldots,M)$ в исследуемом регионе; $P(H_n|\vec{q})$ - апостериорные вероятности принадлежности вектора измерений $\vec{q}$ (результата гранулометрической классификации) типу фациальной обстановки с номером n, $n = 1, 2, \ldots, M$; $W(\vec{q}, \hat{\vec{q}}^m, A_m)$ - функция правдоподобия вида (4.16).

Принятие решения о принадлежности вектора $\vec{q}$ - результата гранулометрической классификации тому или иному типу фациальной обстановки принимается по максимуму апостериорной вероятности $P(H|\vec{q})$, $n=1,2,\ldots,M$.

В качестве оценок величин априорных вероятностей $P(H_n)$ можно использовать эмпирические частоты появления фациальных обстановок в обучающей выборке, либо интуитивные оценки вероятностней (частот) появления тех или иных обстановок в исследуемом регионе. Очевидно, что при равных априорных вероятностях (частотах) появления фациальных обстановок решение по критерию максимума апостериорной вероятности совпадает с решением, принимаемым по методу максимума функции правдоподобия.

4.6. Оценка эффективности алгоритмов распознавания

Для определения параметров, входящих в модели фациальных обстановок на этапе обучения часто используются обучающие выборки, то есть некоторые количества ν_m реализаций результатов гранулометрической классификации для M заведомо известных видов фациальных обстановок (m = I,2, ..., M). Оценка эффективности алгоритма распознавания может быть получена путем проверки работы алгоритма на самом обучающем материале. Результаты такой проверки удобно свести в таблицу нижеследующего вида:

Вид фациальной обстановки	Количество реализаций	Виды альтернатив фациальных обстановок			
		S = I	S = 2 ,	... ,	S = M
H = I	ν_I	ν_{II}	ν_{I2} ,	... ,	ν_{IM}
H = 2	ν_2	ν_{2I}	ν_{22} ,	... ,	ν_{2M}
.....		.....			
H = M	ν_M	ν_{MI}	ν_{M2} ,	... ,	ν_{MM}

В каждой строке получаемой таблицы для каждого вида фациальной обстановки H_i с соответствующим количеством испытаний ν_i указывается количество реализаций результатов гидравлической классификации ν_{ij} , отнесенных к виду альтернатив S_j , где i = I,2,..., M; j =I,2,..., M. Путем деления элементов таблицы ν_{ij} на ν_i , можно перейти к частотам попадания гипотез H_i в соответствующие альтернативы S_j. Эти частоты ω_{ij} можно считать оценками вероятности правильного и ошибочного распознавания для данных гипотез H_i при всех альтернативах S_j Такая таблица полностью характеризует качество алгоритма распознавания. В общем случае она имеет вид:

Вид фациальной обстановки	Альтернативы			
	S = I	S = 2 ,	... ,	S = M
H = I	ω_{II}	ω_{I2} ,	.. ,	ω_{IM}
H = 2	ω_{2I}	ω_{22} ,	...,	ω_{2M}
.....	.....			
H = M	ω_{MI}	ω_{M2} ,	...,	ω_{MM}

Для каждой гипотезы H_i величина ω_{ii} будет являться оценкой вероятности правильного распознавания, а величины ω_{ij} при $i \neq j$ будут оценками вероятности ошибочного распознавания, т.е. отнесения гипотезы H_i в разряд альтернатив S_j, где $i \neq j$ и $j = 1,2,\ldots,$ M. Суммарная оценка ошибок первого и второго родов $\Omega_{i'}$ может быть вычислена в виде:

$$\begin{cases} \Omega_{i'} = \sum\limits_{\substack{j=1 \\ j \neq i'}}^{M} \omega_{i'j} + \sum\limits_{\substack{i=1 \\ i \neq i'}}^{M} \omega_{ij}, \\ i' = 1,2,\ldots,M. \end{cases} \tag{4.21}$$

Обобщенную оценку эффективности алгоритма распознавания можно получить путем вычисления средней оценки ошибок:

$$\Omega = \frac{1}{M} \sum_{i'=1}^{M} \Omega_{i'}.$$

Если для гипотезы i' значение оценки вероятности правильного распознавания $\omega_{i'i'}$ оказывается меньше, чем для какойлибо альтернативы j', можно отказаться от принятия решения в пользу гипотезы $H_{i'}$. В этом случае целесообразно уменьшить количество распознаваемых гипотез и объединить гипотезу $H_{i'}$ с альтернативой $S_{j'}$.

Важной характеристикой алгоритма распознавания является разрешающая способность. В качестве оценки разрешающей способности обычно берут величину:

$$A_i = \omega_{ii} / \omega_{ij_0}, \quad j_0 \neq i, \tag{4.22}$$

где ω_{ii} - оценка вероятности правильного распознавания, ω_{ij_0} - максимальная вероятность альтернативы $j_0 \neq i$.

Обобщенной оценкой разрешающей способности алгоритма распознавания является среднее значение $\bar{A}$, вычисляемое по формуле:

$$\bar{A} = \frac{1}{M} \sum_{i'=1}^{M} A_i. \tag{4.23}$$

4.7. Программы определения фациальной классификации образцов по результатам гранулометрического анализа

По вышеизложенным алгоритмам статистической классификации образцов по результатам гранулометрического анализа построены две программы на ЭВМ. Первая из программ НС2 вычисляет параметры вида (4.13), входящие в статистические модели фациальных обстановок вида (4.14). К числу их относятся: модельный вектор, определяемый выборочными интервальными средними значениями результатов гранулометрических анализов совокупности образцов, которые с заведомой определенностью считаются взятыми из данной модели фациальной обстановки и элементы обратной матрицы ковариации $\hat{A}_m^{-1}$, где m - номер фациальной обстановки (с.132-136.

Исходными данными для программы являются:

KV - общее количество обрабатываемых моделей фациальных обстановок;

K - количество интервалов классификации при гранулометрическом анализе,

DK1(K) - массив верхних границ интервалов классификации,

DK2(K) - массив нижних границ интервалов классификации,

M - количество образцов, представляющих данную фациальную обстановку,

NN,NF,S - номера образцов, шифры и массы навески - паспортные данные на каждый образец,

RM(K) - массив результатов гранулометрического анализа каждого образца.

В результате обработки исходных данных для каждой модели фациальной обстановки в программе определяются следующие параметры:

E(K) - интервальные средние значения результатов гранулометрических анализов совокупности образцов, относящихся к одной и той же фациальной обстановке;

D(K) - соответствующие интервальные дисперсии,

SI(K) - интервальные стандарты,

CV(K) - матрица ковариации,

CR(K) - матрица корреляции,

$\hat{a}^m_{KK'}$ - элементы обратной матрицы ковариации $\hat{A}_m^{-1}$; W = 1,0/(DET), где DET - определитель матрицы ковариации - величина,

```
      PROGRAM HC2
      DIMENSION P(100,25),E(25),D(25),SI(25),RM(100),DK1(25)
     1,DK2(25),NX(25),NY(25),CR(25,25),CV(25,25),C(625)
      DATA K/3/,DET/77.0/
      READ 1,KV,K
    1 FORMAT(2I2)
      PRINT 2,KV,K
    2 FORMAT(6X,17HКОЛ-ВО ВАРИАНТОВ=,I2,15HКОЛ-ВО ИНТЕРВ.=,I2)
      READ 8,(DK1(I),I=1,K)
      READ 8,(DK2(I),I=1,K)
      PRINT 9,(DK1(I),I=1,K)
      PRINT 9,(DK2(I),I=1,K)
      NV=0
  111 NV=NV+1
      IF(NV-KV)222,222,333
  222 READ 3,M
    3 FORMAT(I3)
      PRINT 4,NV
    4 FORMAT(6X,14HВАРИАНТ НОМЕР ,I2)
      PRINT 5,M
    5 FORMAT(6X,22HКОЛИЧЕСТВО ОБРАЗЦОВ M=,I3)
      DO 11 I=1,M
      READ 6,NN,NF,S
    6 FORMAT(2A4,F5.2)
      PRINT 7,NN,NF,S
    7 FORMAT(6X,13HНОМЕР ОБР.NN=,A4,8HШИФР NF=,A4,8HМАССА S=,F5.2)
      READ 8,(RM(J),J=1,K)
    8 FORMAT(10F5.2)
      PRINT 9,(RM(J),J=1,K)
    9 FORMAT(6X,20F6.2)
      DO 10 J=1,K
   10 P(I,J)=RM(J)
   11 CONTINUE
      R=M
      R1=R-1.0
      DO 13 I=1,K
      E(I)=0.0
      DO 12 J=1,M
   12 E(I)=E(I)+P(J,I)
   13 E(I)=E(I)/R
      PRINT 14
   14 FORMAT(6X,25HИНТЕРВАЛЬНЫЕ СРЕДНИЕ E(K))
      PRINT 9,(E(I),I=1,K)
      DO 16 I=1,K
      DO 16 J=1,K
      CV(I,J)=0.0
      DO 15 L=1,M
   15 CV(I,J)=CV(I,J)+(P(L,I)-E(I))*(P(L,J)-E(J))
   16 CV(I,J)=CV(I,J)/R1
      PRINT 17
   17 FORMAT(6X,27HИНТЕРВАЛЬНЫЕ ДИСПЕРСИИ D(K))
      DO 18 I=1,K
      CV(I,I)=CV(I,I)+0.3
      D(I)=CV(I,I)
   18 SI(I)=SQRT(DI(I))
      PRINT 19,(D(I),I=1,K)
   19 FORMAT(6X,10F8.5)
      PRINT 20
   20 FORMAT(6X,28HИНТЕРВАЛЬНЫЕ СТАНДАРТЫ SI(I))
      PRINT 19,(SI(I),I=1,K)
```

```
      PRINT 21
   21 FORMAT(6X,26HМАТРИЦА КОВАРИАЦИИ CV(K,K))
      DO 23 I=1,K
      DO 22 J=1,K
   22 RM(J)=CV(I,J)
   23 PRINT 24,(RM(L),L=1,K)
   24 FORMAT(6X,10F9.2)
      PRINT 25
   25 FORMAT(6X,26HМАТРИЦА КОРРЕЛЯЦИИ CR(K,K))
      DO 26 I=1,K
      DO 26 J=1,K
   26 CR(I,J)=CV(I,J)/(SI(I)*SI(J))
      DO 28 I=1,K
      DO 27 J=1,K
   27 RM(J)=CR(I,J)
   28 PRINT 24,(RM(L),L=1,K)
      PRINT 29
   29 FORMAT(6X,19HОБР.МАТР.КОВАРИАЦИИ)
      DO 40 I=1,K
      DO 40 J=1,K
      L=K*(I-1)+J
   40 C(L)=CV(I,J)
      CALL MINV(C,K,DET,NX,NY)
      DO 31 I=1,K
      DO 30 J=1,K
      L=K*(I-1)+J
   30 RM(J)=C(L)
   31 PRINT 32,(RM(L),L=1,K)
   32 FORMAT(6X,10E10.3)
      DET=ABS(DET)
      W=1.0/SQRT(DET)
      PRINT 33,W
   33 FORMAT(6X,2HW=,1X,E10.3)
      CALL SR2(K,DK1,DK2,E,SI)
      GOTO 111
  333 CONTINUE
      STOP
      END
```

```
      SUBROUTINE GR2(K,R1,R2,PK,S)
      REAL R1(K),R2(K),PK(K),S(K)
      INTEGER MAS(84)
      DATA M1/'(1H+',M2/',13X'/,M3/',1H ',M4/',1X)',MP/',1HX'/
     1,MS/',1HS'/
      MAS(1)=M1
      MAS(2)=M2
      MAS(84)=M4
      PRINT 1
      PRINT 21
      PRINT 2
      PRINT 22
    1 FORMAT(13X,3H0.0,6X,4H10.0,6X,4H20.0,6X,4H30.0,6X,4H40.0)
   21 FORMAT(1H+,61X,4H50.0,6X,4H60.0,6X,4H70.0,6X,4H80.0)
    2 FORMAT(14X,41HI++++I++++I++++I++++I++++I++++I++++I++++I)
   22 FORMAT(1H+,54X,40H++++I++++I++++I++++I++++I++++I++++I++++I
      DO 4 I=3,83
    4 MAS(I)=M3
      KN=0
    5 KN=KN+1
      IF(KN-K) 6,6,11
    6 X=R1(KN)
      Y=R2(KN)
      IZ=PK(KN)
      Z=PK(KN)
      Z1=Z+S(KN)
      PRINT 7,X,Y,IZ,Z
    7 FORMAT(1X,F6.3,1H-,F6.3,1H+,9X,1H+,9X,1H+,9X,1H+,9X,1H+,9X,1H
     19X,1H+,9X,1H+,9X,1H+,3X,I3,3X,F5.2)
      A=0.0
      J=50
      DO 9 I=1,81
      A=A+1.0
      IF(Z-A)8,9,9
    8 J=I
      GOTO 10
    9 CONTINUE
   10 J1=50
      B=0.0
      DO 19 I=1,81
      B=B+1.0
      IF(Z1-B)18,19,19
   18 J1=1
      GOTO 20
   19 CONTINUE
   20 DO 110 I=1,J
  110 MAS(I+2)=MP
      MAS(J1+2)=MS
      PRINT MAS
      DO 111 I=1,J
  111 MAS(I+2)=M3
      MAS(J1+2)=M3
      GOTO 5
   11 CONTINUE
      RETURN
      END
```

```
      PROGRAM HC3
      REAL A(25,20),E(25,20),RA(25),RV(25),V(25),WH(20),
     1B(25),APR(20),APS(20)
      READ 1,K,KH
    1 FORMAT (2I2)
      PRINT 2,K,KH
    2 FORMAT (6X,10HКОЛ.ИНТ.K=,I2,12H;ГИПОТЕЗ KH=,I2)
      READ 40,(APR(I),I=1,KH)
   40 FORMAT(10F4.2)
      PRINT 41
   41 FORMAT(6X,29HАПРИОРНЫЕ ВЕРОЯТНОСТИ ГИПОТЕЗ)
      PRINT 42,(APR(I),I=1,KH)
   42 FORMAT (6X,10F6.2)
      I=0
    4 I=I+1
      IF(I-KH)5,5,111
    5 READ 8,(RA(J),J=1,K)
    8 FORMAT(10F7.3)
      PRINT 9,(RA(J),J=1,K)
    9 FORMAT(6X,10F8.3)
      DO 10 J=1,K
   10 A(J,I)=RA(J)
      READ 11,(V(J),J=1,K)
   11 FORMAT(10F5.2)
      DO 12 J=1,K
   12 E(J,I)=V(J)
      PRINT 9,(V(J),J=1,K)
   13 FORMAT(6X,10F7.2)
      W=1.0
      DO 14 J=1,K
   14 W=W*A(J,I)
      W=1.0/SQRT(W)
      WH(I)=W
      PRINT 7,I,W
    7 FORMAT(6X,2HW(,I2,3H)= ,E12.4)
      GOTO4
   11 CONTINUE
      READ 28,NN,NF
   28 FORMAT(2A4)
      PRINT 29,NN,NF
   29 FORMAT(6X,13HНОМЕР ОБР.NN=,A4,14H; ШИФР ОБР.NF=,A4)
      READ 11,(V(J),J=1,K)
      PRINT 13,(V(J),J=1,K)
      L=0
   15 L=L+1
      IF(L-KH)16,16,222
   16 CONTINUE
      B(L)=0.0
      DO 24 J=1,K
   24 RV(J)=V(J)-E(J,L)
      DO 25 J=1,K
   25 B(L)=B(L)+RV(J)*RV(J)/A(J,L)
      R=B(L)/2.0
      IF(R-39.0)220,200,200
  200 B(L)=0.0
      GOTO 15
  220 CONTINUE
      R=EXP(R)
      B(L)=WH(L)/R
      GOTO 15
```

```
222 CONTINUE
    R=0.0
    DO 223 I=1,KH
223 R=R+B(I)
    IF(R-0.0)224,224,226
224 PRINT 225
225 FORMAT(6X,25HОТКАЗ ОТ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЯ)
    GOTO 111
226 CONTINUE
    R=-0.1E+18
    DO 34 I=1,KH
    IF(B(I)-R)31,31,32
 32 R=B(I)
    J=I
 31 CONTINUE
 34 CONTINUE
    PRINT 33
 33 FORMAT(6X,41HЗНАЧЕНИЯ   ФУНКЦИЙ  ПРАВДОП. ДЛЯ  ГИПОТЕЗ)
    PRINT 27,(B(I),I=1,KH)
    PRINT 35,R,J
 35 FORMAT(6X,16HMAX.ФУНКЦ.ПРАВД.=,E12.4,3X,8HРЕШНИЕ=,I3)
 27 FORMAT(6X,5E12.4)
    DO 51 I=1,KH
    R=APR(I)*B(I)
    S=0.0
    DO 50 J=1,KH
 50 S=S+APR(J)*B(J)
 51 APS(I)=R/S
    PRINT 52
 52 FORMAT(6X,37HАПОСТЕРИОНЫЕ ВЕРОЯТН.ИСПОЛЬЗ.ГИПОТЕЗ)
    PRINT 53,(APS(I),I=1,KH)
 53 FORMAT(6X,10F7.4)
    H=0.0
    DO 55 I=1,KH
    IF(APS(I)-H)155,54,54
 54 H=APS(I)
    M=I
155 CONTINUE
 55 CONTINUE
    A1=-1.0E-18
    DO 57 I=1,KH
    IF(I.EQ.M)GOTO 57
    IF(APS(I)-A1)57,56,56
 56 A1=APS(I)
    N=I
 57 CONTINUE
    IF(A1-0.1E-18)61,61,60
 61 R=0.1E+18
    GOTO 62
 60 R=H/A1
 62 PRINT 58
 58 FORMAT(6X,37HГИПОТ.ВЕРОЯТН.АЛЬТЕРН.ВЕРОЯТН.НАДЕЖН.)
    PRINT 59,M,H,N,A1,R
 59 FORMAT(6X,I3,F10.4,I4,F10.4,F8.4,E11.3)
    GOTO 111
    STOP
    END
```

входящая в виде постоянного коэффициента в формулу (4.16) для каждой модели фациальной обстановки.

В программе используется стандартная подпрограмма обращения матрицы MINV , которую можно заменить на любую другую подпрограмму, имеющуюся в системе стандартных программ используемой ЭВМ.

Для удобства представления результатов, на печать в виде диаграммы на цифровом печатающем устройстве выводятся с помощью специальной подпрограммы печати диаграмм GR2 значения интервальных средних E(K) гранулометрической модели фациальной обстановки и соответствующие величины E(K) +SI(K), показывающие степень разброса параметров построенной модели. Текст программы приведен на с. 134 и в дополнительных комментариях не нуждается. Таким образом, в результате расчетов по предлагаемой программе мы можем получить оценки всех параметров моделей фациальных обстановок, входящих в формулу (4.14).

Для автоматизированного принятия решения о принадлежности исследуемого распределения гранулометрического состава образца толщ или иному типу фациальной обстановки используется программа НСЗ. Текст программы приведен на с.135-136 в варианте, при котором предусматривается отказ от корреляции между интервальными значениями гранулометрических распределений. Этот вариант предпочтителен при использовании ЭВМ с ограниченным объемом памяти. Исходными данными для программы являются:

K - количество интервалов гранулометрической классификации;

KH - количество гипотез - типов фациальных обстановок, на принадлежность к которым апробируется результат гранулометрического анализа V ;

APK(K) - массив априорных вероятностей гипотез;

PA(K) - массив диагональных элементов матрицы ковариации дисперсий интервальных значений модели гранулометрического распределения, вводится для каждой модели;

E(K,KH) - массив интервальных средних для каждой модели фациальной обстановки;

NN, NF - номер и шифр образца, подвергаемого статистической классификации (данные для контроля);

V(K) - значения распределения гранулометрического состава классифицируемого образца.

В результате вычислений на печать выводятся значения функ-

ции правдоподобия (4.16) для всех проверяемых гипотез, при этом, если значения этих функций не превосходят задаваемого порога, происходит отказ от принятия решения. Далее, рассчитываются и выводятся на печать апостериорные вероятности проверяемых гипотез, печатается значение наиболее вероятной гипотезы maxH, наиболее вероятной альтернативы $\max H'$ и вычисляется надежность принятия решения $\max H/\max H'$.

4.8. Пример использования алгоритмов и программ фациальной классификации на основе статистических моделей, построенных по результатам гранулометрического анализа современных отложений

Результаты использования вышеописанных алгоритмов и программ целесообразно проиллюстрировать на конкретном примере, представляющем несомненный методический интерес. В анализируемом примере обрабатывалась коллекция 150 проб современных отложений Прибалтики. Каждая проба была взята из известной фациальной обстановки, определяемой по геолого-геофизическим оценкам условий осадконакопления. В результате дробного гранулометрического анализа были получены распределения гранулометрического состава вышеуказанных проб. При анализе условий осадконакопления проб представилось целесообразным провести их классификацию на 13 типов различных обстановок, включая прибрежно-морское, речные и эоловые отложения. Таким образом, в каждом из классов оказалось некоторое определенное количество проб, представленных своими распределениями гранулометрического состава.

Дальнейшей целью обработки данных являлось:

1. Построение статистических моделей фациальных обстановок по результатам гранулометрических анализов проб в каждом классе.

2. Оценка возможностей распознавания с помощью статистических алгоритмов и программ различных фациальных обстановок на основе построенных моделей.

3. Решение задач 1 и 2 при переходе от исходного экспериментального материала к пространству различных пар гранулометрических статистик - (вторичных признаков) с целью определения изменения качества распознавания при переходе ко вторичному экспериментальному материалу.

При обработке результатов гранулометрического анализа были получены следующие данные:

1. Значение процентного содержания результатов анализов по весу фракций в шкале наблюдений по эквивалентным диаметрам, состоящей из 20 интервалов, построены соответствующие диаграммы.

2. Вычислены гранулометрические статистики (вторичные признаки) распределений всех образцов.

3. Вычислены статистические параметры (интервальные средние значения, дисперсии, элементы матрицы ковариации, корреляции, обратной матрицы ковариации), входящие в модели фациальных обстановок вида (IУ.I4), как в исходном пространстве 20 интервалов классификации, так и в пространстве вторичных признаков.

4. Проведена классификация коллекции проб по построенным моделям в исходном пространстве и в пространстве различных пар вторичных признаков.

Основные результаты обработки данных сведены в таблицы и представлены графиками. На рис.4.3÷4.9 приведены диаграммы среднеинтервальных значений распределений гранулометрического состава для всех выделенных I3 типов фациальных обстановок (величины E(K)) совместно с графиками среднеинтервальных значений E(K) + б(K), где б(K) соответствующие стандартные отклонения, дающие оценку диапазона изменения гранулометрического состава для различных образцов в каждом виде фациальной обстановки.

На основе вычисленных статистик для I3 типов фациальных обстановок были построены статистические модели. По этим моделям (в варианте отказа от учета ковариации между интервалами классификации) было проведено распознавание той же коллекции образцов. Это позволило оценить разрешающую способность алгоритма распознавания. При принятии решения о принадлежности распределения гранулометрического состава тому или иному типу фациальной обстановки использовался критерий максимума апостериорной вероятности, при этом, в качестве априорных вероятностей были взяты частоты появления различных обстановок в коллекции.

Результаты обработки приведены в таблице 4.2. На анализе и интерпретации результатов, представленных в таблице следует остановиться подробнее. В каждой строке таблицы последовательно

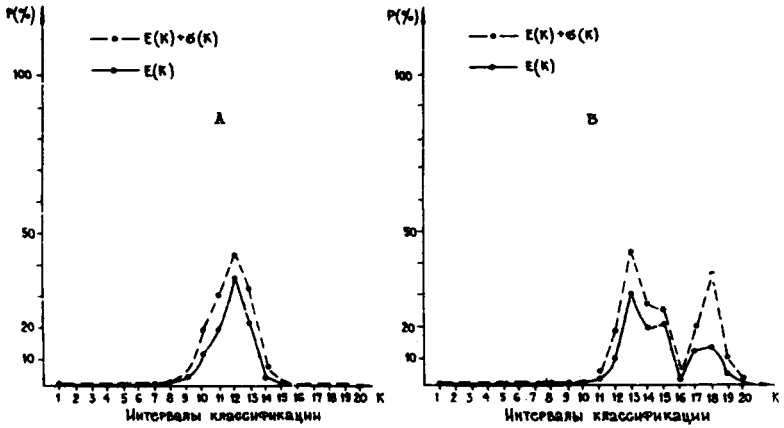


Рис.4.3. Эмпирические модели ЭПР фациальных обстановок.
А-течение, взмучивание осадка, Б-размыв осадка течением и волнением.

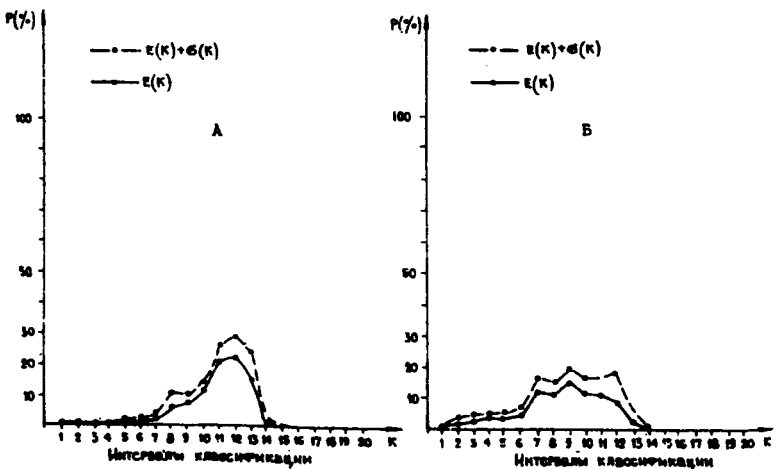


Рис.4.4. Эмпирические модели ЭПР фациальных обстановок.
А-ветровая эрозия дюны; Б-отложения в конусе выноса.

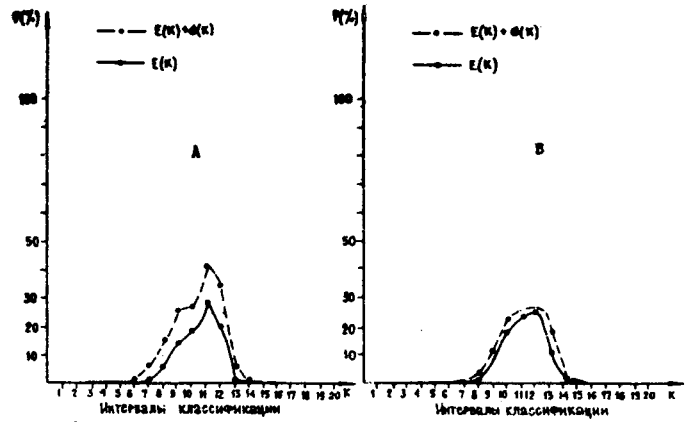


Рис.4.5. Эмпирические модели ЭПР фациальных обстановок.
А-прибрежно-морские отложения, Б-эоловая дюна

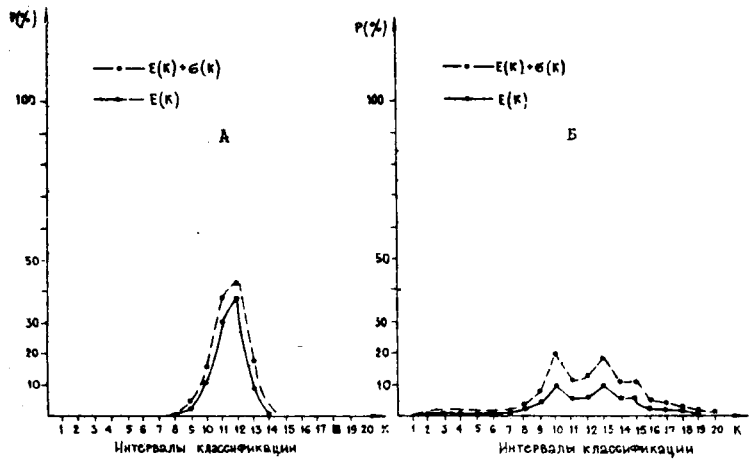


Рис.4.6. Эмпирические модели ЭПР фациальных обстановок
А-эоловые тела, Б-течение, фарватер

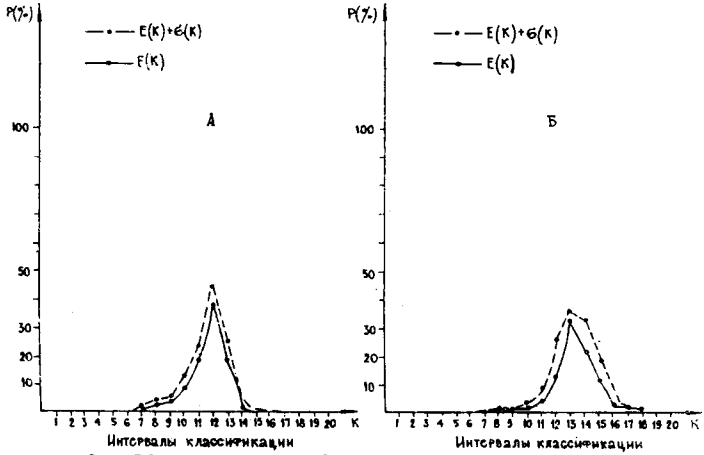


Рис.4.7. Эмпирические модели ЭПР фациальных обстановок.
А-древний пляж; Б-течение, река.

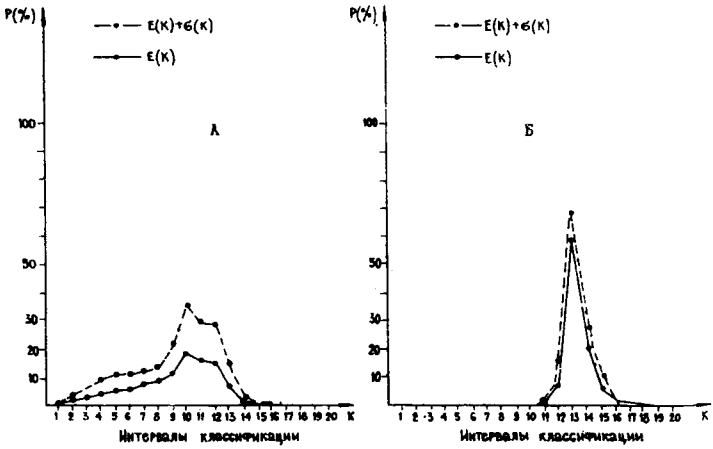


Рис.4.8. Эмпирические модели ЭПР фациальных обстановок.
А-пологий пляж; Б-течение и волнение.

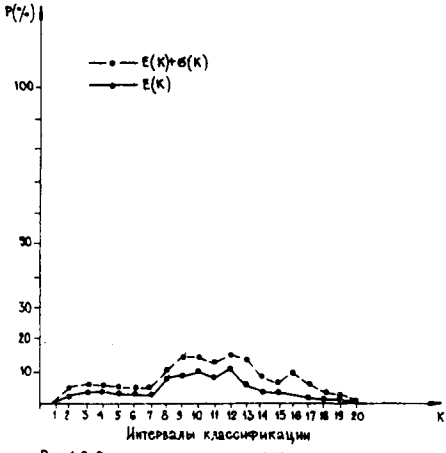


Рис.4.9. Эмпирическая модель ЭПР фациальной обстановки. *Течение без размыва донного осадка.*

расположены:

I. Порядковый номер типа фациальной обстановки (гипотезы).

2. Наименование типа фациальной обстановки.

3. Вероятности (частоты) принятия решения о принадлежности распределения гранулометрического состава образцов различным из имеющихся фациальных обстановок (альтернатив).

4. Оценка надежности принимаемого решения, определяемая как отношение вероятности (частоты)) правильного распознавания к вероятности (частоте) максимально вероятной альтернативы.

5. Вероятность ошибочного распознавания - суммарная по всем возможным альтернативам.

Анализ таблицы 4.2 на основе статистической теории интерпретации геофизических данных приводит к следующим выводам:

I. Уверенно распознаются гипотезы с номерами I, 2, 3, 7, 8, 9, I0, II, I2. При этом во всех случаях надежность принятия решений превышает I,0, а вероятность ошибки менее 0,5.

2. Слабо распознаются гипотезы с номерами 5 и I3. Вместе с тем, эти гипотезы невозможно объединить с какими-либо альтернативами, так как вероятность правильного распознавания превышает вероятность ошибочного распознавания для всех альтернатив.

3. Не распознаются гипотезы 4 и 6. В рамках принятых моделей фациальных обстановок следует отказаться от принятия решения в пользу этих гипотез и укрупнить их с гипотезами соответственно I0 и 7.

4. Оценкой качества алгоритма распознавания на основе принятых моделей фациальных обстановок может служить средняя вероятность ошибочного распознавания, равная 0,4I.

Совершенно аналогично можно провести распознавание коллекции проб в пространстве вторичных признаков. Для этой цели необходимо:

I) вычислить векторы вторичных признаков ЗПР для всех видов фациальных обстановок.

2) определить статистические параметры, входящие в модели фациальных обстановок.

3) провести распознавание коллекции в пространстве вторичных признаков в рамках принятых моделей.

Предлагаемые модели и алгоритмы распознавания опробовались на следующих парах вторичных признаков: однопроцентный квантиль $C_{0,01}$ и пятидесятипроцентный квантиль $C_{0,5}$; асимметрия As и

Таблица 4.2

Результаты распознавания фациальных обстановок современных отложений Прибалтики

Гипотезы	Фациальная обстановка	Альтернативы													Надежность принятия решения	Вероятность ошибки
		I	2	3	4	5	6	7	8	9	I0	II	I2	I3		
I	Течение, взмучивание осадка	0,80	-	-	-	-	-	0,20	-	-	-	-	-		4,0	0,2
2	Размыв осадка течением и волнением		0,80	-	-	-	-	-	-	-	0,I0	-	0,I0	-	8,0	0,2
3	Ветровая эрозия дюны	-	-	0,50	-	-	-	0,I6	0,34	-	-	-	-	-	I,4	0,5
4	Отложения в конусе выноса	-	-	0,I0	-	-	-	-	-	-	0,80	-	-	0,I0	0,0	I,0
5	Прибрежно-морские отложения	-	-	-	-	0,46	-	0,33	-	0,I3	-	0,08	--	-	I,4	0,54
6	Золовая дюна	0,20	-	0,20	-	-	-	0,40	-	0,20	-	-	-	-	0,0	I,0
7	Золовые тела	0,04	-	-	-	-	-	0,92	-	0,04	-	-	-	-	23,0	0,08
8	Течение, торватер	-	-	-	-	0,07	-	-	0,72	0,07	-	-	-	0,I4	I0,2	0,28
9	Древний пляж	-	-	-	-	0,07	-	0,21	-	0,72	-	-	-	-	3,4	0,26
I0	Течение, ряска	-	0,I6	-	-	-	-	-	-	-	0,64	-	0,I6	-	4,0	0,36
II	Пологий пляж	-	-	-	-	0,32	-	-	-	-	-	0,68	-	-	2,0	0,32
I2	Течение и волнение	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	I,0	-		0,0
I3	Течение без размыва донного осадка	-	-	-	-	-	-	-	0,23	-	0,3I	-	-	0,46	I,4	0,54

эксцесс Ex; среднее значение E и стандартное отклонение б.

Анализ качества распознавания в пространстве вторичных признаков показывает:

I. Как и следовало ожидать, при отказе от исходных экспериментальных данных и переходе к вторичным признакам происходит резкое ухудшение разрешающей способности алгоритма распознавания. Это связано с неизбежной потерей информации при вычислении вторичных признаков. Эллипсоиды рассеяния многих классов в пространстве вторичных признаков оказываются сильно пересекающимися, во многих случаях приходится отказываться от принятия решения о принадлежности образца какому-либо типу фациальных обстановок из имеющегося числа.

2. Для построения эффективного алгоритма распознавания в пространстве вторичных признаков необходимо либо резко уменьшать количество типов распознаваемых фациальных обстановок, либо вводить параметризованные модели фациальных обстановок. При использовании параметризованных моделей возникает проблема объяснения геолого-геофизического смысла используемых параметров на основе физических условий формирования осадков. Эта проблема в настоящее время представляется весьма сложной. Для иллюстрации вышесказанного приведем пример распознавания образцов всего лишь двух типов фациальных отложений - типа 2 (размыв осадка течением и волнением) и типа 3 (ветровая эррозия дюны). В исходном пространстве признаков ошибка распознавания этих типов фациальных обстановок равна нулю (см. табл. 4.2). При переходе же от исходных данных в пространство вторичных признаков As и Ex ошибка распознавания этих двух классов достигает 32%, что прекрасно подтверждает сделанные выше выводы.

Выводы

В данной главе предложена методика, алгоритмы и программы обработки результатов дробного гранулометрического анализа. Предлагаемая методика создана с учетом традиционно применяемых способов обработки, из совокупности которых выделены основные приемы анализа данных. Все этапы обработки выполняются с помощью ЭВМ, что позволяет в значительной степени сократить трудоемкость, уменьшить время вычислений при повышении их качества. Предлагаемые программы позволяют также проводить визуаль-

зацию данных путем печати диаграмм гранулометрических распределений. Предлагаемые программы являются базовыми, они позволяют на основе аналитической обработки результатов дробного гранулометрического анализа делать ответственные и надежные геолого-геофизические выводы.

5. ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ИНТЕРПРЕТАЦИЯ ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКИХ СТАТИСТИК

5.1. Появление наиболее крупнозернистого класса (ПНКК)

ПНКК в совокупности классов по седиментационному диаметру зерен определяется по 0,01 квантили, т.е. по содержанию материала в наиболее крупнозернистых классах не превышающем в сумме 1,0% в составе песчано-алевритовой части, принятой за 100%.

Этот параметр указывает на максимальный размер зерен в составе того или иного осадка и заключает в себе много ценной информации относительно источников сноса и путей перемещения обломочного материала в бассейнах седиментации. Наибольшие значения ПНКК прямо пропорциональны ухудшению сортировки материала осадков.

Путем картирования выявляют частоту встречаемости тех или иных размеров ПНКК по площади и в разрезах песчано-алевритовых толщ. Направление возрастания встречаемости наибольших размеров параметра указывает на источник сноса обломочного материала.

Распределение значений ПНКК позволяет судить о неотектонических движениях в современных бассейнах. По данным ПНКК выделяются конусы выноса обломочного материала на региональных склонах.

При изучении отложений древних бассейнов седиментации отмечено, что наибольшая разница между ареалом высоких значений ПНКК и окружающим региональным фоном обычно обусловлена наибольшим поднятием. В целом картирование этого параметра по площади позволяет судить о рельефе дна бассейна седиментации и степени его дифференцированности.

Таким образом гранулометрический параметр ПНКК можно рекомендовать и использовать при палеодинамических и палеогеоморфологических исследованиях.

5.2. Сумма песчаных классов (СПК)

Параметр СПК в количественном отношении характеризует сумму процентных содержаний классов с седиментационным диаметром, эквивалентным шарообразным частицам кварца более 0,1 мм. Значимость этого параметра четко характеризуется при мелкомасштабном картировании как древних, так и современных бассейнов. Параметр СПК при содержании, превышающем 90%, указывает в прибрежной полосе бассейна и конседиментационных поднятиях, а при содержании более 95% - об эолово-прибрежной зоне. Содержание суммы песчаных классов в донных осадках неглубоких участков бассейнов согласуется с относительными значениями глубин. При переходе к изучению более глубоких участков бассейнов и палеобассейнов значение этого параметра существенно снижается, так как в осадках преобладают алевритовые классы. Параметр теряет свое значение также при детальном изучении береговых и прибрежно-морских песков, в составе которых отсутствуют алевритово-глинистые частицы. Наиболее информативные результаты получают при картировании в масштабе 1:500000 изолинии этого параметра 95% или 90%, которые очень хорошо описывают, например, конфигурацию Куршского залива, Куршской косы и Балтийского моря в Калининградской области.

Картирование суммы грубо- и среднезернистых песчаных классов ($СГ_р$СПК) и суммы средне- мелкозернистых (ССМПК) позволяет получать более уточненную конфигурацию береговой линии. На примере современных отложений Калининградской области схема распределения значений этих параметров позволила выделить зоны с высокой и низкой активностью динамических сил современной среды седиментации.

В общем параметр СПК и его дробные разновидности $СГ_р$СПК и ССМПК дают важную информацию и их можно рекомендовать при мелкомасштабных палеогеографических исследованиях.

5.3. Статистические характеристики эмпирических распределений

К статистическим характеристикам гранулометрического состава пород относят различные оценки линейных размеров частиц (среднего, модального, медианного, максимального и т.д.), оценки вариации (изменчивости) размеров относительно среднего значения (дисперсия и стандартное отклонение), оценки форм эмпирических полигонов распределения (асимметрия и эксцесс) и, наконец, различные меры сортированности осадка (коэффициент Траска, энтропия и энтропийная мера). Все эти характеристики рассчитываются либо с целью непосредственной их генетической интерпретации, либо с целью опосредованного через генетические диаграммы анализа обстановок и условий осадконакопления.

Широко распространены два основных способа количественной оценки статистик эмпирических распределений гранулометрического состава: метод моментов и метод квантилей.

Метод моментов базируется на строгой вероятностной теории оценки распределений. Метод квантилей основывается на приближенной графической оценке требуемых статистик. В настоящее время с развитием электронно-вычислительных машин более широкое признание получил метод моментов.

Среди статистических характеристик, вычисляемых по методу моментов, рекомендуется использовать следующие: средний размер частиц, стандартное отклонение, оценку вариации размеров, оценку форм эмпирических распределений (асимметрию и эксцесс) и меры сортированности осадков (энтропию и энтропийную меру).

5.3.I. Средний размер зерен эмпирического распределения гранулометрического состава

Средний размер является важнейшим гранулометрическим параметром. Он хорошо фиксирует положение эмпирического распределения состава на шкале размерностей и более полно характеризует гранулометрический уровень осадков, т.е. относительный гидродинамический уровень среды седиментации. Увеличение средних размеров гранулометрического состава обломочных пород функционально обусловлено увеличением значений критерия перемещения материала осадков.

Картирование средних размеров эмпирических распределений гранулометрического состава в изолиниях позволяет оконтуривать

разные по глубине участки дна седиментационных бассейнов. Например, на картах мелкого масштаба расположение изолиний наиболее крупных и средних размеров гранулометрического состава современных осадков Куршского залива в общих чертах отражает конфигурацию его береговой линии, а изолиния 0,I мм описывает наиболее глубокие участки этого залива.

На этих картах по расположению изолиний можно определять относительную крутизну и направление падения региональных палеосклонов, которые совпадают с направлением уменьшения палеосклонов.

Таким образом, параметр средний размер, отражая различные гидродинамические уровни на подводных склонах бассейнов и указывая на направления региональных склонов, является весьма информативным и может быть рекомендован при палеогеографических исследованиях.

5.3.2. Меры сортированности осадков: стандарт, вариация, энтропия и энтропийская мера сортировки.

Для эмпирических распределений дробного гранулометрического состава стандартное отклонение в общих случаях пропорционально числу дробных классов по седиментационному диаметру зерен. Например, пески побережья Куршского залива и Балтийского моря и донные осадки акваторий этих бассейнов состоят из одинаково небольшого числа классов, то и значения стандарта для них оказываются близкими по величине. Донные песчано-алевритовые осадки рек Неман и Приголя Калининградской области характеризуются одинаковым по величине стандартом (0,2-0,75) как и выше упомянутые осадки. Это значит, что осадки сформированные в зонах высокоактивной гидродинамики (пески побережий), отождествляются в этом отношении с осадками, образовавшимися в более спокойных динамических условиях. Древние отложения (песчано-глинистые и песчаные) Умсейской, Пограничной, Восточно-Тарасовской и Муравленской площадей в Тюменской области при среднем размере зерен 0,05-0,I5ммм характеризуются таким же одинаковым по величине стандартом (0,4-0,65), хотя сформировались в более застойных условиях. Эти примеры показывают на одинаковую сортированность как современных осадков разного генезиса, так древних отложений мелового возраста. В связи с

этим параметр стандартное отклонение нельзя рекомендовать для палеодинамических реконструкций. Его можно использовать в парной зависимости с другими гранулометрическими характеристиками

Более лучшая информация о сортировке материала осадков по данным значений вариации и динамических условий формирования как древних, так современных отложений была получена при палеогеографических исследованиях. Так, дюнные осадки Куршской косы и древние песчаные отложения Тюменской области, сформированные в зоне активного забурунивания волн (подводные бары), характеризуются значениями вариации от 0,2 до 0,5. Речные осадки рек Неман и Приголя в зависимости от степени гидродинамической активности характеризуются значениями вариации от 0,2 до I,5 и более. При этом лучше сортированные осадки, сформированные в условиях однонаправленного движения и активного воздействия ветровых волн на донный осадок, отличаются по более низким значениям вариации не превышающим 0,5. Обломочные отложения коры выветривания на острове Б.Ляховского характеризуются весьма плохой сортировкой, коэффициент вариации этих отложений достигает величины 5,5 и более.

Для оценки сортированности осадков по данным вариации рекомендуется следующая шкала значений вариации:

0,I-0,25 - весьма сортированный;
0,25-0,5 - хорошо сортированный;
0,5-I,0 - умеренно сортированный;
I,0-I,5 - плохо сортированный;
I,5-2,0 - очень плохо сортированный;
2,0 - абсолютно несортированный.

Энтропия по сравнению с энтропийной мерой является значительно менее информативной, поэтому эта характеристика не рекомендуется к использованию при палеогеографических и палеогеографических реконструкциях.

Энтропийная мера, предложенная С.И.Романовским [57], позволяет количественно оценить два крайних случая - идеально сортированный осадок (HR = 0) и абсолютно не сортированный осадок (HR = I) на основе энтропийного принципа оценки сортировки. При этом более дробные подразделения являются достаточно условными, поэтому С.И.Романовский принял равномерную шкалу классификации осадков по степени сортировки.

0 - 0,I - идеально сортированный

0,I - 0,25 - хорошо сортированный
0,25 - 0,5 - умеренно сортированный
0,50- 0,75 - плохо сортированный
0,75 - 0,90 - несортированный
0,90 - I,00 - абсолютно несортированный

Эта градация оценок отсортированности осадков по значениям энтропийной меры разработана на основе ситового гранулометрического анализа. Поскольку шкала размерности дробного гранулометрического анализа седиментационным способом выражена в линейных единицах диаметра частиц, эквивалентному шарообразным частицам кварца, то рекомендуется использовать эту же градацию при оценке степени сортировки осадков по данным гранулометрии, полученной седиментационным способом.

Картированием значений энтропийной меры по этим градациям можно выделять районы (участки) распространения в различной степени сортированных осадков. Идеально сортированные осадки в природе как правило не встречаются или встречаются весьма редко. Хорошо и умеренно сортированные осадки характерны эоловым отложениям. Абсолютно несортированные осадки свойственны корам выветривания и т.д.

5.3.3. Меры отклонения эмпирических распределений от теоретических логнормальных распределений

К этим мерам относятся асимметрия и эксцесс, которые указывают на степень приближения эмпирических распределений к логнормальному закону.

Параметр асимметрии эмпирических кривых распределения гранулометрического состава дает информацию о результатах взаимодействия процессов дифференциации и интеграции различных ассоциаций обломочных частиц песчано-алевритовой размерности. Положительные значения асимметрии показывают, что модальный размер в эмпирическом распределении больше среднего размера гранулометрического состава. В таких распределениях преобладают классы с большой размерностью частиц, а тонкрзернистые составляют, так называемые "хвосты" распределений.

В случае отрицательной асимметрии, модальный размер меньше среднего размера гранулометрического состава. При таком рас-

пределении преобладают тонкозернистые классы, а более крупнозернистые составляют его "хвост". В симметричных, нулевых распределениях модальный и средний размеры частиц равны. Чем больше абсолютное значение отрицательной асимметрии, тем лучше отсортированы тонкозернистые классы по сравнению с более крупнозернистыми. Наоборот, чем больше абсолютное значение величины положительной асимметрии, тем лучше отсортирован крупнозернистый материал.

Исследование гранулометрического состава современных песчано-алевритовых осадков позволило выявить различные комбинации привноса и выноса материала той или иной размерности, сильно влияющего на асимметрию его распределения. Например, положительная асимметрия образуется при обильном привносе материала крупнозернистых классов. Такая же асимметрия возникает при обильном привносе в осадок тонкозернистого материала, в результате модальный размер становится меньше среднего размера. Одновременный привнос крупнозернистого материала и вынос тонкозернистого как правило приводит к увеличению моды и приводит к образованию симметричных распределений гранулометрического состава преобразованных осадков и т.д.

Картирование значений асимметрии по площади бассейна позволяет выявить, например, что в центральной части его преобладают осадки с отрицательной асимметрией. По периферии бассейна наблюдаются как нулевые так и мало отсортированные значения и даже слабо положительные (пляж, подводный пляж).

Мера эксцесса характеризуется степенью выпуклости (уплощенности или заостренности) кривой распределения. При эксцессе, равном нулю, кривая распределения совпадает с логнормальной кривой. Чем больше величина положительного эксцесса, тем более выражена его крутовершинность. Пикообразность кривой свидетельствует, что модальный и смежные классы характеризуются повышенным процентным содержанием материала. Абсолютная величина эксцесса дает количественную оценку такой формы кривой распределения. При значении отрицательного эксцесса, приближающемуся к минимальному пределу - 2,С указывает на то-что данная кривая распределения гранулометрического состава является пологой или даже слегка вогнутой по форме.

Положительные значения эксцесса указывают на стабильность переработки и пересортировки обломочного материала на

относительном уровне, определяющимся средним размером диаметра зерен, эквивалентным щарообразным частицам кварца. Значительный по величине положительный эксцесс указывает, что либо в короткий промежуток времени действовали эоловые или гидродинамические процессы, либо слабые процессы действовали в течение длительного периода. Однако, главное в том, что в любом из этих процессов скорость динамической переработки (сортировки) привносимого обломочного материала превышала интенсивность его привноса.

Отрицательные значения эксцесса указывают на то, что привнос обломочного материала значительно превышает интенсивность его динамической переработки. Например, привнос обломочного материала и осаждение его в динамически застойных условиях характеризуются отрицательными значениями эксцесс. Гранулометрический состав осадков коры выветривания выражен отрицательным эксцессом, обычно от - 0,4 до -I,0.

Если интенсивность привноса обломочного материала и скорость динамической переработки были в равновесном состоянии, то эксцесс характеризуется нулевыми значениями.

Картирование значений эксцесса гранулометрического состава донных отложений, например, водного бассейна в общем позволяет выявить участки с различной динамической активностью осадконакопления. Совместный анализ средних размеров и эксцесса (при их картировании) позволяет получать информацию как о динамике среды осадкообразования, так и палеотектонических движениях в бассейнах седиментации.

5.4. Генетическая весовая диаграмма асимметрия - эксцесс (As - Ex)

5.4.I. Основные положения

В мировой практике литологов разных стран наметились два четких принципа подхода по воссозданию условий образований терригенного осадка по его гранулометрическому составу. Первый из них основан на переборе разных комбинаций гранулометрических статистик. В основе второго принят осознанный выбор тех статистик гранулометрии, которые отражают динамику природных процессов. Главнейшими из них являются транспортиировка (волоче-

ние, качение, сальтация; перенос во взвешенном состоянии и т.д.) и интенсивность механической дифференциации песчано-алевритовых частиц в различных фациальных обстановках. Эти явления определяются динамической энергией среды переноса и седиментации частиц различного размера.

На основе первого принципа построено большинство генетических диаграмм [8]. На основе второго принципа создано всего две: диаграмма CMα Р.Пассеги и динамогенетическая диаграмма асимметрия - эксцесс ($\alpha - \tau$) по косвенному счету зерен во фракциях [55], полученных ситовым способом рассева [38].

Генетическая диаграмма Р.Пассеги основана на различии способов транспортировки обломочных частиц разного размера (волочение, качение, сальтация, перенос во взвешенном состоянии и т.д.), которые преобладают в той или иной обстановке.

Динамогенетическая диаграмма асимметрия-эксцесс ($\alpha - \tau$) Г.Ф.Рожкова [55] построена на принципе различной по интенсивности механической дифференциации песчано-алевритовых частиц в различных фациальных условиях [38, с.69-89].

В настоящей работе генетическая диаграмма асимметрия-эксцесс (As - Ex) построена также на принципе механической дифференциации песчано-алевритовых частиц в различных условиях. Однако предлагаемая диаграмма As - Ex отличается тем, что для ее построения использованы не результаты дробного ситового анализа, а результаты дробного гранулометрического анализа седиментационным способом, осуществленным с помощью седиментатора ГС-I.

В работе Г.Ф.Рожкова [55] утверждалось, что на диаграмме асимметрия - эксцесс по весовым данным гранулометрического анализа ситовым способом точки-пробы осадков определенных фаций и микрофаций не имеют четких группировок и рассеиваются по площади всей диаграммы. Иначе говоря, весовые диаграммы не дают удовлетворительных результатов в определении генезиса осадков по данным гранулометрии ситовым рассевом. В связи с этим в работах этого исследователя рекомендуется пользоваться количественными диаграммами асимметрия-эксцесс, построенных по косвенному счету зерен в ситовых фракциях.

Однако, как было показано в работах К.К.Гостинцева (1985, 1988) рассматриваемая методика гранулометрического анализа с применением гидравлического седиментатора ГС-I является более

качественной и точной, поэтому получаемые результаты обработки гранулометрических анализов являются удовлетворительными как по весовым данным, так и по косвенному счету, при этом весовым диаграммам отдается предпочтение. Сравнительный анализ диаграмм асимметрия-эксцесс по весовым данным и по косвенному счету зерен в классах (фракциях), сделанный в этих работах, показал, что одни и те же точки пробы весовой диаграммы располагаются с зеркальным отображением на количественной диаграмме, построенной по данным косвенного счета зерен в классах. Это обусловлено тем, что гомогенные эмпирические полигоны распределения (ЭПР) гранулометрического состава проб по весу классов при косвенном счете зерен в тех же классах тех же проб приобретают обратную асимметрию и обычно переходят в гетерогенный тип ЭПР. Это особенно характерно в случае мелкозернистых и алевритовых распределений. В крупно- и среднезернистых распределениях переход весовых ЭПР в количественные ЭПР при косвенном счете зерен в тех же классах происходит обычно без утраты гомогенности ЭПР, но со сменой знака асимметрии. В результате того, что на количественных ЭПР появляются дополнительные максимумы, обуславливая его гетерогенность, то неизбежны ошибки, которые трудно поддаются учету. Эти ошибки неизбежны и более усугубляются при построении ЭПР (или гистограмм) гранулометрического состава по косвенному счету зерен в ситовых фракциях.

5.4.2. Эталонная генетическая весовая диаграмма асимметрия-эксцесс (As - Ex)

На рис.5.I показана эталонная диаграмма As - Ex. Для ее составления было использовано более I000 проб современных осадков, дробный гранулометрический анализ которых проводился в стандартных условиях в лаборатории ВНИГРИ, а статистическая обработка этих данных осуществлялась по единой программе, изложенной в главе 4.

Для построения диаграммы As- Ex значения параметров As и Ex наносятся на график, на котором по оси ординат откладываются значения эксцесса, а оси абсцисс - значения асимметрии. На графике точки-проб осадков, отобранных из различных современных фаций, обособляются в динамогенетических полях, соответствующих той или иной степени механической дифферен-

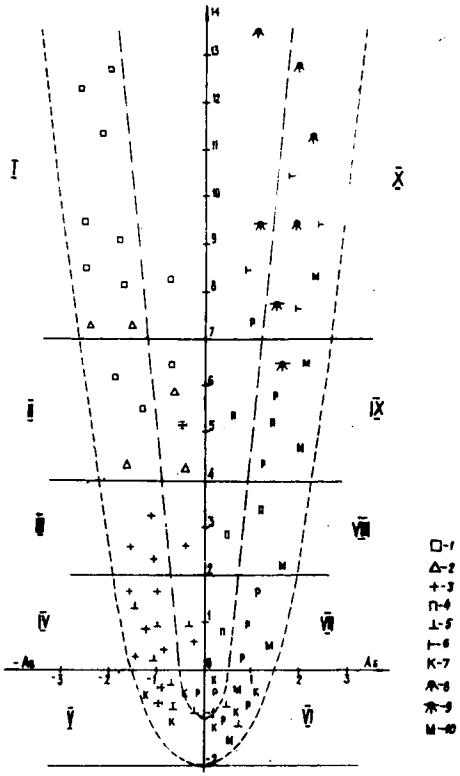


Рис 51. Эталонная генетическая диаграмма асимметрия-эксцесс (A_s - E_x).

1-золовые; 2-золово-морские; 3-осадки пляжа морского, речного или др 4-осадки волн, 5-русловые осадки; 6-речные осадки на глубине влияния волн; 7-отложения зоны выветривания; 8-отложения подводного бара; 9-осадки ветьевого бара, 10-морские осадки.

мации обломочных частиц.

На диаграмме As– Ex (рис.5.I) наиболее четко распознаются следующие условия седиментации: деятельность эоловых процессов (ветра), накат и откат волн, выход волн на мелководье, речные и морские течения и застойные. Выделенные генетические поля фаций характеризуют природные сочетания песчаных и алевритовых распределений.

В поле I обычно группируются точки-пробы эоловых осадков, характеризующихся крутовершинностью кривых распределения (ЭПР) гранулометрического состава со значениями Ex > 7 и максимальным сосредоточением материала превышающем 45% в одном из песчаных классов в диапазоне размерности 0,315–0,I мм (0,4–0,08 мм).

В этом поле условно выделяется подполе, ограниченное отрицательным значением асимметрии (–As) от 0 до (–I,0)÷(–I,5) и характеризующееся группировкой точек – проб эоловых осадков. Для них скорость динамоэоловой пересортировки превышает скорость привноса обломочного материала. Чем больше значение Ex и меньше абсолютное значение As, тем большую зрелость имеет осадок.

Поле П ограничено значениями Ex = 7÷4 при асимметрии от 0 до –(2,7÷2,5). В этом поле сосредотачиваются до 70% точек проб эоловых осадков и до 30% пляжных осадков на линейных островах и морских косах типа Куршской косы в Балтийском море. Наиболее характерны: фации пологих пляжей, сильный накат волн, эоловая переработка материала на пляже (эоловые пересыпи, гряды, линзы), эолово-морские микрофации, эоловые валы на пляжах равнинных рек, эоловые вдоль береговые дюны, передовые прибрежные валы в зоне наката— отката штормовых волн и т.п. В правой части поля – скорость привноса материала меньше скорости динамической пересортировки.

Поле Ш – значениями Ex = 4÷2 и асимметрией от 0 до –2. Типичные ЭПР состава осадков характеризуются одним максимумом и сосредоточением материала от I5–20% до 30% в одном из среднезернистых или мелкозернистых классов в диапазоне 0,5–0,I6 мм. При этом смещение максимума в более мелкозернистые классы сопровождается смещением точек-проб к оси диаграммы со значением As = 0. В этом поле сосредотачиваются точки-пробы: эолово-морских осадков, сформированных в результате выдувания тонкого

материала из пляжных и эоловых осадков береговых дюн и отложением его в прибрежной зоне подводного склона морского пляжа; осадков морского пляжа в зоне наката - отката волн; осадков эоловых образований разного типа (линзы, пересыпи, валы и т.п.) на поверхности пляжа в периоды между сильными штормами; осадков пляжей крупных равнинных рек, крупных озер и т.д.

В поле IУ, ограниченном Ex = 2÷0 и As от 0 до -I,5 эоловые осадки как правило отсутствуют. ЭПР или гистограммы точек-проб характеризуются одним максимумом в одном из среднезернистых или мелкозернистых песчаных, или крупноалевритовых классов с сосредоточением материала до 25-30%. При наличии гравийного материала (> 2,5 мм) ЭПР или гистограмма характеризуются вторым максимумом до I0-I5%, Выпуклость ЭПР или гистограммы охватывает от 7 до I4-I5 классов. При этом выпуклость ЭПР, характеризующаяся ординатами от 3% до 30%, охватывается в диапазоне 7 классов, а ординатами от 3% до I0-I6% - в диапазоне I2-I5 классов. Наиболее характерны: фации побережья вблизи береговой линии (сильный накат волн, сильные вдоль береговые течения), фации мутьевых потоков; русловые осадки рек с сильным течением; фации пляжей вдоль размываемых берегов заливов, крупных озер и крупных равнинных рек.

В пределах поля У сосредотачиваются точки-пробы, характеризующиеся отрицательными значениями Ex от 0 до -2,0 и отрицательными значениями As от 0 до -I,5. ЭПР (или гистограммы) гранулометрического состава осадков имеют два и даже три максимума. ЭПР пляжных осадков, как правило, характеризуются либо двумя равноценными максимумами, либо одним четким максимумом до 20-25% и другим нечетким максимумом от 5 до I0% в более тонкодисперсных классах. На это поле (как на IУ поле) накладываются точки русловых осадков, осадков стоковых и мутьевых потоков, отложенных при сильном поступательном движении воды. Разделение этих осадков от осадков пляжей по характеристикам асимметрии и эксцесс невозможно. Однако "оживление" этих полей может быть осуществлено анализом положения максимумов. Так, на ЭПР или гистограмме пляжных осадков максимальное сосредоточение наблюдается в грубо-крупнозернистых и среднезернистых классах и, как правило, отсутствие частиц мелкоалевритовой размерности. На ЭПР гранулометрического состава донных речных осадков максимумы смещены в мелкозернистые песчаные и

алевритовые классы, а сам ЭПР охватывает диапазон размерности, включая мелкоалевритовые частицы, которые вымываются в поры между частицами песка и гравия.

Интенсивность динамической дифференциации материала обусловлена сильными речными и вдоль береговыми течениями, сильными течениями стоковых и мутьевых потоков, а также накатом волн на сушу с размывом берега или пляжа.

В правой половине диаграммы сосредоточились точки-пробы, ЭПР гранулометрического состава которых характеризуются положительной асимметрией. В ней выделено также пять полей: УI, УП, УШ, IX и X.

В поле УI зафиксированы точки-пробы, осадки которых формируются речными и морскими течениями при весьма слабом влиянии ветровых волнений на взмучивание донного осадка и характеризуют застойный режим седиментации. ЭПР этих осадков характеризуются пологовершинностью и отрицательными значениями эксцесса от 0 до -2 и указывают, что основная масса материала осаждается из взвешенного состояния. Кроме этих осадков в этом поле сосредотачиваются точки-пробы несортированных разнозернистых осадков, формирующихся, например, во внутриконтинентальных впадинах и в озерах, а также фации кор выветривания.

Поле УП ограничивается значениями Ex = 0÷2 и асимметрией 0-2. ЭПР гранулометрического состава характеризуется пологовершинностью и наличием максимума до 20% в одном из мелкозернистых классов (0,25-0,I мм) и нередко второго максимума до I0-I5% с дефицитом в одном классе в диапазоне 0,08-0,05 мм. В этом поле зафиксированы точки-пробы осадков, формирующихся при слабом течении и заметном влиянии волнений. Фации широких участков устьев рек, участков мелководья, речных плесов, морские фации, континентальные фации в зоне разрушения мелкокристаллических магматических и мелкозернистых осадочных пород. В левой части поля (As = 0-0,5) скорость пересортировки материала превышает скорость привноса обломочного материала. В правой части поля (As=I,0) более свойственны морские фации.

В поле УШ точки-пробы, расположенные в левой части поля, характеризуют осадки рек их пойм, теневых участков речных кос и т.п., а в правой части его - морские осадки. Формирование этих осадков обусловлено однонаправленными течениями при активном участии волн. ЭПР имеют один максимум от 25% до 35%.

В левом подполе, ограниченном As = 0-I,0, характерны крупно-среднезернистые осадки, скорость пересортировки материала которых превышает скорость привноса.

Поле IX ограничено Ex = 4÷7 и As = 0-2,5. В нем сосредоточились точки-пробы осадков, дифференциация обломочного материала которых обусловлена активным волновым воздействием при ослаблении роли поступательного движения воды - течений. Типовые ЭПР этих осадков характеризуются максимальным сосредоточением материала от 30 до 45% в одном из песчаных классов. В левой части поля (As = 0÷I,0-I,2) расположились осадки широких устьев рек и проток дельт, а в правой (As I,0-I,2) осадки зоны выхода волн на мелководье обширных бассейнов (крупных озер, морей и их крупных заливов).

В последнем поле X расположились точки-пробы, осадки которых характеризуют активный волновой режим с периодическим влиянием приливо-отливных явлений. Последние обуславливают перенос и осаждение мелкозернистого материала из взвешенного состояния. Штормовыми волнениями донный осадок взмучивается, а более тонкий материал выносится в более глубокую часть бассейна. ЭПР гранулометрического состава имеет один максимум с сосредоточением материала в одном из мелкозернистых иногда крупноалевритовых классов от 35 до 50% и более.

Процесс формирования осадков точек-проб этого поля напоминает динамику переноса и осаждения взвешенного в воздухе материала с тем отличием, что в водной среде взвешивание материала или поддержание его во взвешенном состоянии обуславливается штормовыми волнениями. В целом для осадков поля X характерны медленные течения.

В заключение следует заметить, что рассмотренная генетическая диаграмма As - Ex составлена на достаточно представительном количестве гранулометрических анализов проб, отобранных из современных отложений - известных фаций. Однако в дальнейшем диаграмма требует корректуры. Особенно требуется корректура значений ее полей на основе более широкого статистического обобщения данных дробного гранулометрического анализа седиментационным способом осадков различных микрофаций.

Исследование осадков узкого стратиграфического интервала (однородного слоя) позволяет успешно корректировать и ликвидировать неоднозначные ответы рекомендуемой диаграммы.

5.4.3. Пример анализа распределения точек-проб современных песчаных отложений на диаграмме асимметрия - эксцесс (As - Ex)

На диаграмме As - Ex, изображенной на рис.5.2, в генетическом поле I сосредоточились точки-пробы эоловых осадков, отобранных из береговых дюн и крупных дюн Куршской косы. В этом же поле оказались две точки-пробы (№№ 85 и 88) эолово-морского осадка, образовавшегося за счет эолового привноса обломочного материала и осаждения его в Куршском заливе у линии его берега.

В поле II основное количество точек-проб представлены эоловыми осадками, отобранными из береговых дюн и крупных дюн Куршской косы и из аккумулятивных эоловых тел (пересыпей, мелких гряд, валов и линз мощностью от 0,3 до 1,0 м). Кроме этого здесь сосредоточились точки-пробы эолово-морских (5 точек) и пляжных (5 точек) осадков Балтийского моря и Куршского залива. В процентном отношении из общего числа точек в этом поле сосредоточилось 78% эоловых и по 11% эолово-морских и пляжных осадков.

Поле III характеризуется одинаковым количественным сосредоточением точек-проб как эоловых, так и пляжных осадков. Из них (25 точек) лишь одна точка-проба представлена эолово-морским осадком.

В генетических полях IУ и У сосредоточились только точки-пробы (32 пробы) пляжных осадков, отобранных на пляжах Балтийского моря (Калининградская область), Куршской косы и Куршского залива. При этом осадки точек-проб У-го поля сформировались в полосе размыва и переотложения более ранее образованного пляжа.

Исключением являются 5 точек проб, оказавшихся в правой половине диаграммы. Две из них (точка № 59 в поле X и точка № 108 в поле УП), обозначенные значком эоловых осадков, не характерны для этой половины диаграммы. Другие три точки (точка № 23 в поле IX, точка № 14 в поле УШ и точка № 11 в поле УI) также не отражают генетику полей.

Таким образом на диаграмме As - Ex эоловые и пляжные современные осадки хорошо обособляются в различных генетических полях.

5.5. Примеры анализа генетических диаграмм среднее - стандарт и среднее - энтропийная мера

На рис.5.3 изображена весовая диаграмма среднее-стандарт, на которой нанесены точки-пробы современных осадков прибрежья Балтийского моря, Куршской косы и Куршского залива. По динамическим условиям осаждения песчано-алевритового материала все 130 проб объединяются в три группы: эоловые, эолово-морские и пляжные.

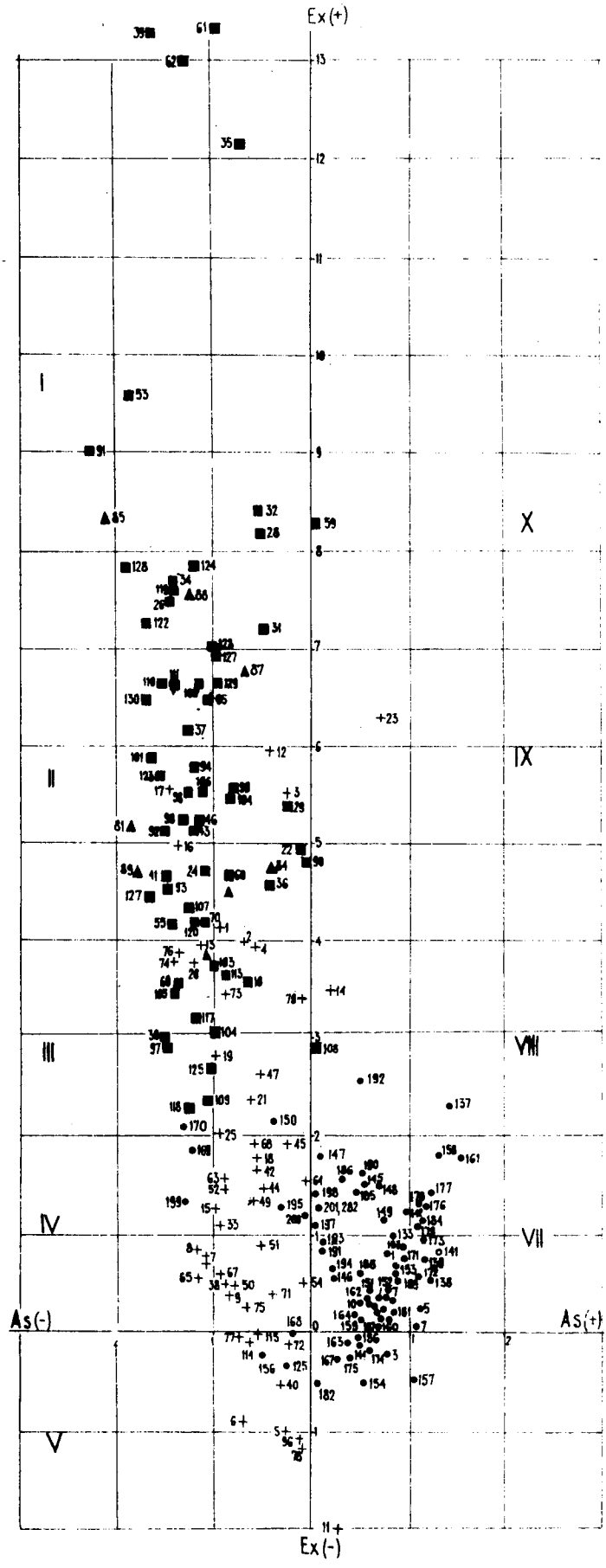
На этой диаграмме эоловые пески сгруппировались в обособленной узкой полосе, ограниченной ординатой - среднее от 0,25 до 0,15 мм и вытянутой по оси абсцисс - стандарт от 0,22 до 0,62. Внутри этой полосы обособились точки-пробы эолово-морских осадков в виде узкого участка, вытянутого по диагонали.

Пляжные осадки распределились выше точек-проб эоловых осадков на большей части площади диаграммы в виде прямоугольного треугольника с основанием, соответствующим длине полосы эоловых осадков и вершиной в пределах координат $\bar{d}$ = 0,7 мм и S = 0,7÷0,8. При этом повышенное скопление точек отмечается в нижней части треугольной площади.

Таким образом при весовом выражении по среднему размеру зерен эоловые осадки более однообразны, а пляжные осадки более разнообразны и по сортировке и по среднему размеру зерен.

На весовой генетической диаграмме среднее-энтропийная мера (рис.5.4) те же точки-пробы эоловых сгруппировались в обособленном участке, ограниченного координатами $\bar{d}$ = 0,15÷0,25 мм и HR= 0,45÷0,75, а точки-пробы эолово-морских сконцентрировались ниже эоловых осадков. Точки-пробы пляжных осадков рассеялись выше участка эоловых осадков.

В пределах участка эоловых осадков наблюдаются отдельные точки-пробы (№№ 1, 2, 3), основная часть которых расположилась по периферии этого участка. Все эти пробы отобраны в зоне перемещения материала эоловых осадков в пределах пляжа в результате размыва эоловых тел (береговой дюны и эолового вала(№№ 18, 21÷25), развитого вдоль бровки береговой дюны. Материал этих проб еще в недостаточной степени был переработан штормовыми волнами. По существу, материал эоловых осадков "размазывался" по пляжу без его переработки. Поэтому он несет все признаки эолового осадка.



■-1; ▲-2; +-3; •-4.

Рис.5.2. Весовая генетическая диаграмма асимметрия-эксцесс (As-Ex) по эквивалентному диаметру зерен современных осадков-прибрежья Балтийского моря, Куршской косы и Куршского залива и древних отложений Муравленковской площади Западной Сибири.

Современные осадки: 1-эоловые (дюны, валы, линзы, пересыпи и другие эоловые аккумулятивные образования), 2-эолово-морские, 3-пляжные, 4-древние отложения (пласты $БС_K^1$, $БС_X^{2-3}$ и $БС_X^4$) Муравленковской площади.

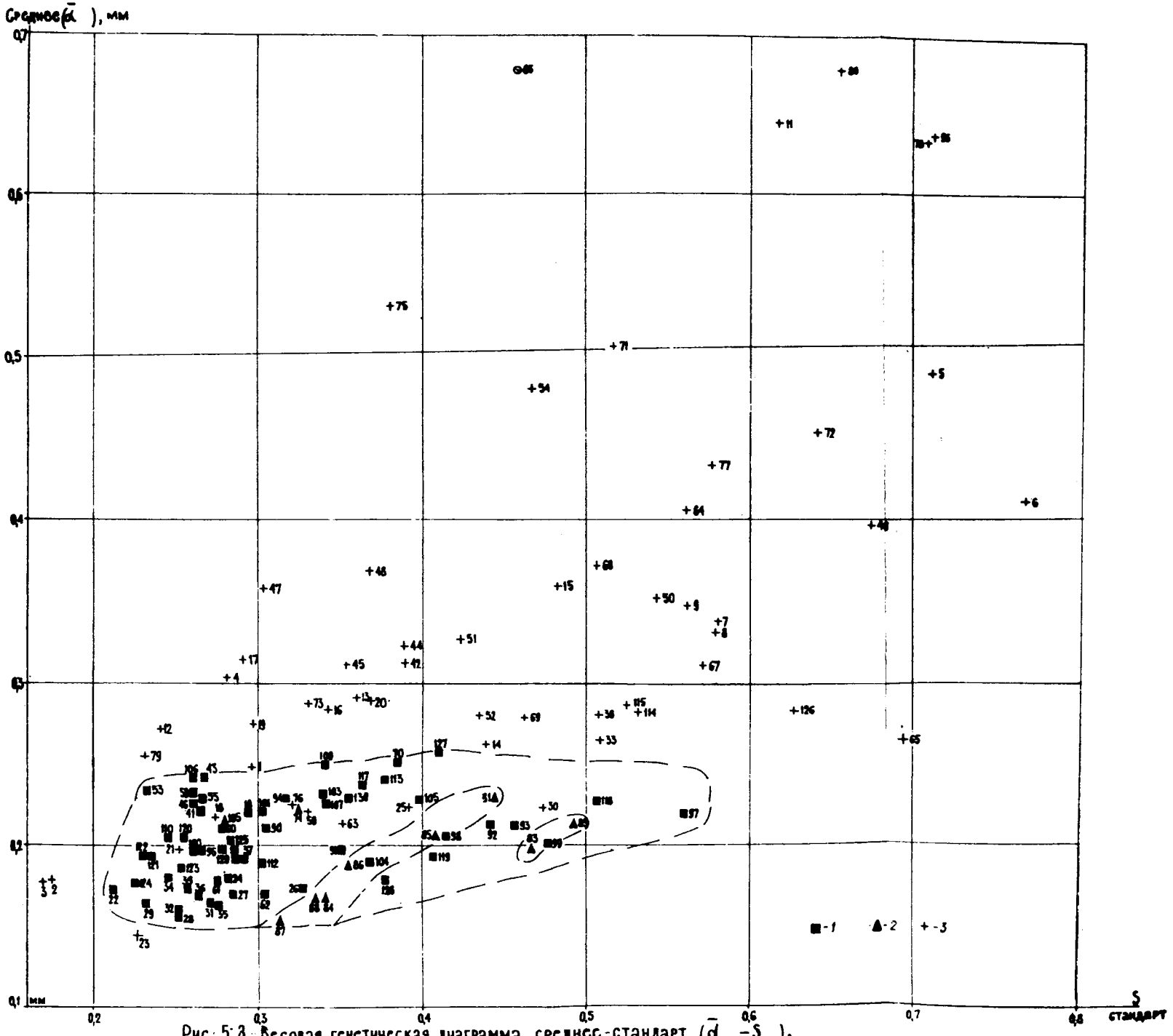


Рис. 5.3. Весовая генетическая диаграмма среднее-стандарт ($\bar{d}$ – S).

1 - эоловые осадки (дюны, валы, линзы, пересыпи и другие эоловые аккумулятивные образования; 2 - эолово-морские осадки; 3 - пляжные осадки.

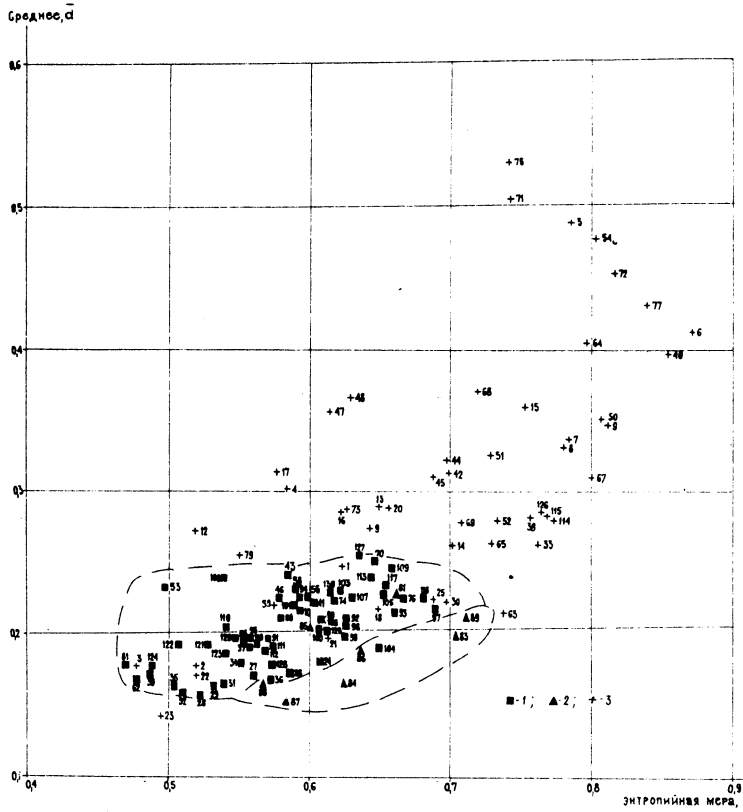


Рис. 5.4. Весовая генетическая диаграмма среднее-энтропийная мера ($\bar{d}$ – HR).
1-золовые осадки (дюны, валы, линзы, пересыпи и другие золовые аккумулятивные образования), 2-золово-морские осадки, 3-пляжные осадки.

Эолово-морские осадки, обособившиеся отдельным участком образованы вследствие ветровой эрозии береговой дюны, при которой мелкие частицы выдувались ветром и отлагались в прибрежной мелководной зоне.

Пляжные осадки характеризуются увеличением среднего размера зерен от 0,25 до 0,7 мм, при этом с увеличением диаметра зерен ухудшается его сортировка от 0,5 до 0,75.

5.6. Пример интерпретации результатов исследования гранулометрического состава древних отложений Муравленковской площади Западно-Сибирской нефтегазоносной провинции

На диаграмму на рис.5.2 нанесены параметры асимметрии и эксцесс по 72 точкам-пробам с № 131 по № 203. По расположению точек-проб, в основном в генетических полях УI, УП и УШ следует сделать вывод, что исследованные отложения пластов БС ($БС^{I}_{10}$), $БС^{2-3}_{X}$ ($БС_{II}$) и $БС^{4}_{X}$ ($БС_{12}$), вскрытые скважинами №№ 204, 238, 247 и 248 на Муравленковской площади, можно отнести либо к прибрежно-морским, либо мелководно-морским образованиям. Исключением является точки-пробы №№ 158, 155, 156, 168, 169, 170, 195, 199 и 200, которые оказавшись в поле IУ и в поле У диаграммы, отображают континентальные осадки древнего прибрежья.

Для более обоснованного заключения используем литологический профиль (рис.5.5), а также промыслово-геофизические разрезы этих скважин и кривые распределения гранулометрического состава проб исследованных пластов (рис. 5.6 и 5.7).

На рис.5.6 осадки, формирование которых обусловлены волновыми движениями воды и течением, вертикальная составляющая которого не превышает 2-3 см/сек, выделены в I и П типы. Эти ЭПР характеризуются четким асимметричным распределением материала с сосредоточением его в классе 0,16-0,125 мм до 40% и более (I тип) и от 33÷35% до 40% (П тип). Высокое содержание материала в указанном классе обусловлено более интенсивными волновыми движениями воды в более мелководной зоне, которой соответствует гребневая часть песчаного тела; выделяемая как песчаный бар. В зоне склона бара влияние волнений уменьшается с глубиной, а вследствие этого уменьшается сортирующее воздействие волн, а поэтому ЭПР приобретает другой вид (П) за счет

увеличения количества материала в соседнем более тонкозернистом классе.

С увеличением глубины морского склона бара снижается сила динамического воздействия волн на турбализацию водной среды. Поэтому более тонкий материал, выносимый из зоны активного влияния волн, отлагается здесь, образуя ЭПР другого вида (Ш-его) с сосредоточением материала до 35-40% и более в следующем более тонкозернистом классе 0,I-0,08 мм. Для него характерно наличие небольшого второго максимума в классе 0,063-0,05 мм.

Следует заметить, что песчаные тела из осадков I и П типа ЭПР представляли собой не песчаные бары, хорошо выраженные в рельефе морского дна в виде гряд, отчленяющие лагуны, а плоские тела линейного типа, мощностью до нескольких метров. Они, формируясь на пологом склоне прибрежного мелководья, образовывали террасы со слабым перегибом рельефа дна. Хорошо выраженные бары-барьеры обычно образуются на подводном склоне при привносе более грубого материала. Мелкозернистые песчаные осадки в таких гидродинамических обстановках формируют песчаные мели линейного типа, иногда обособляя мелководную лагуну до I0-20 м. В таких лагунах осадки представлены на сортированным песчано-алевритовым материалом. Примером современного осадкообразования сходного режима можно назвать прибрежное мелководье Байдарацкой губы. В ней мелкозернистые песчаные осадки под воздействием мощных штормовых волн, формируясь, могут срываться и перемещаться на расстоянии нескольких километров.

Кривая распределения гранулометрического состава пробы № 73432 (точка № I8I на диаграмме) характеризует осадок такой же зернистости, но в основании максимума кривая охватывает больший интервал зернистости, вследствии уменьшения глубины дна или вывода бара на дневную поверхность и эрозии.

Кривые распределения УП типа образованы двумя совокупностями: песчаного и алевритового состава. Пробы этих ЭПР состоят либо из тонких прослоев песчаника и алевролита, либо из переотложенного материала вследствии размыва донного осадка течением и волнением.

Пробы У и УI типа ЭПР характеризуют песчано-алевритовые осадки, сформированные в более глубоководных условиях, ха-

рактеризующихся слабым влиянием волн и медленным течением с вертикальной составляющей не превышающей 2 см/сек. Дефицит материала в классе 0,063-0,08 мм и его резкое обособление на ЭПР XI типа обусловлен естественным дефицитом образования первичного обломочного материала, с одной стороны, з с другой, взмучиванием и переотложением донного осадка при этом дефиците.

Предпоследний УШ тип ЭПР характеризуется равномерным распределением крупно- и среднеалевритового материала в диапазоне классов 0,063÷0,05÷0,04÷0,0315÷0,025 мм, достигая в каждом до 20%. Такое распределение материала при наличии более крупных песчаных частиц до 2-5% указывает на осаждение его из взвешенного состояния при медленных донных течениях, как в абессальных зонах морских бассейнов, так и в лагунах и озерах проточного типа.

Учитывая вышерассмотренное, покажем условия формирования проб-осадков, отобранных в разрезе скважин 248, 247 и 238.

Пробы песчаных отложений, отобранных из верхнего интервала разреза пласта $БС^4_x$, вскрытого скв.248, в основном подобны I-ому и П-ому типам ЭПР. Осадки, характеризующие фациальную обстановку гребневой части бара, выявлены пробами № 86110, 86115 и 86117, а его склона - пробами № 86097, 86101, 86104 и 86106. Кривые распределения гранулометрического состава других проб на рисунке 5.8 отражают относительно друг друга то углубление бассейна, то его обмеление. Характерно устойчивое максимальное сосредоточение материала в одном из мелкозернистых классов в интервале размера зерен 0,2-0,1 мм, а также наличие небольшого максимума в классе 0,063-0,05 мм на ЭПР проб 86099, 86108, 86121, 86131 и 86135. Последний указывает на увеличение глубины дна бассейна, ослабление влияния ветровых и штормовых волн при той же скорости донных течений и осаждения повышенного количества тонкого алевритового и глинистого материала. Пробы, отобранные из песчаного пласта залегающего между тонкими песчано-алевритовыми слоями (интервалы 2715,5-2714,7 м и 2711-2712 м), характеризуют улучшение сортировки материала по разрезу этого пласта от пробы 86135 к пробе 86123.

Ниже указанного пласта залегает базальный слой песчаника

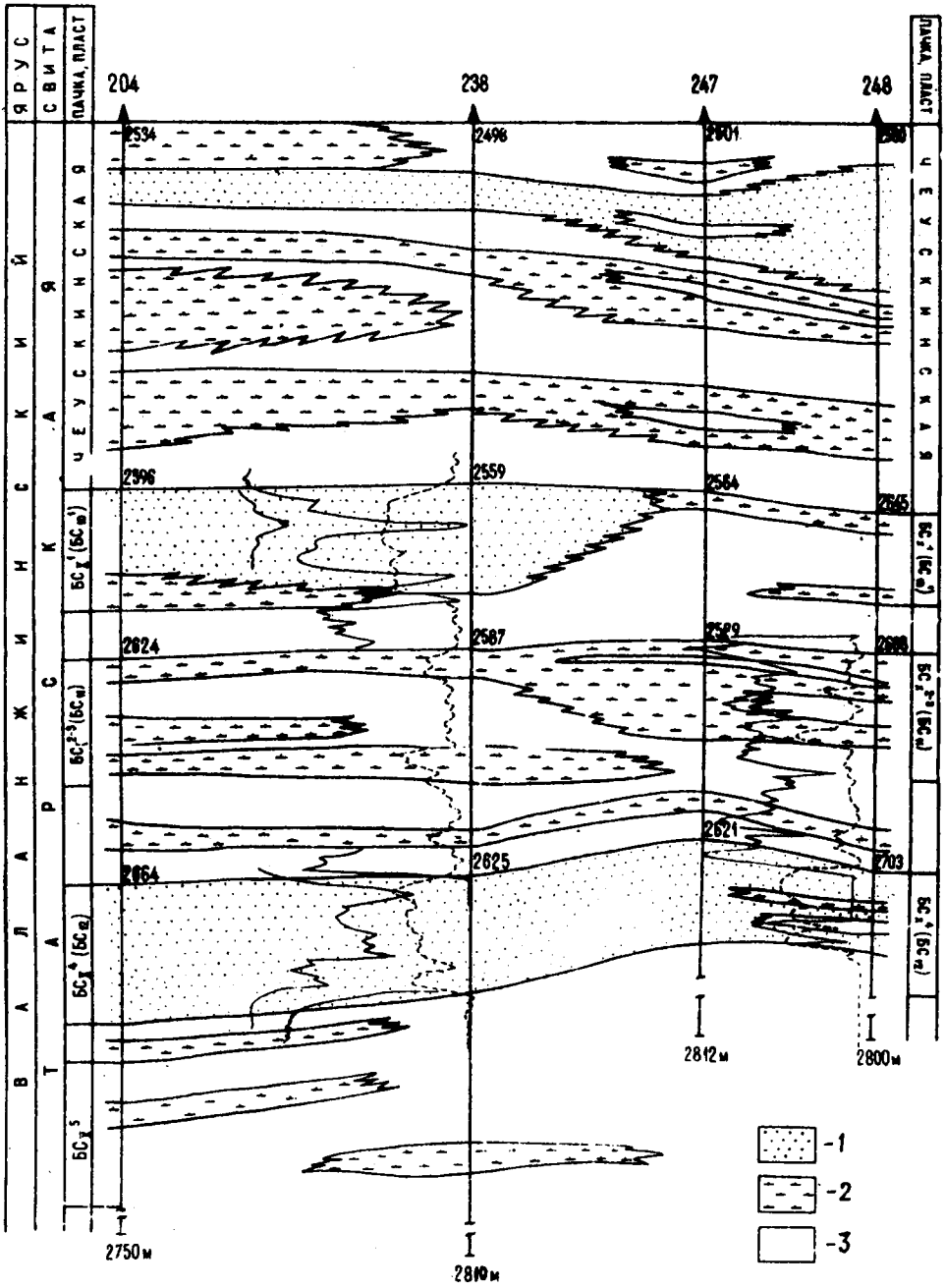


Рис.5.5. Литологический профиль по линии скв. 204, 238, 274, 248.
1-песчаник, 2-алевролит, 3-глина.

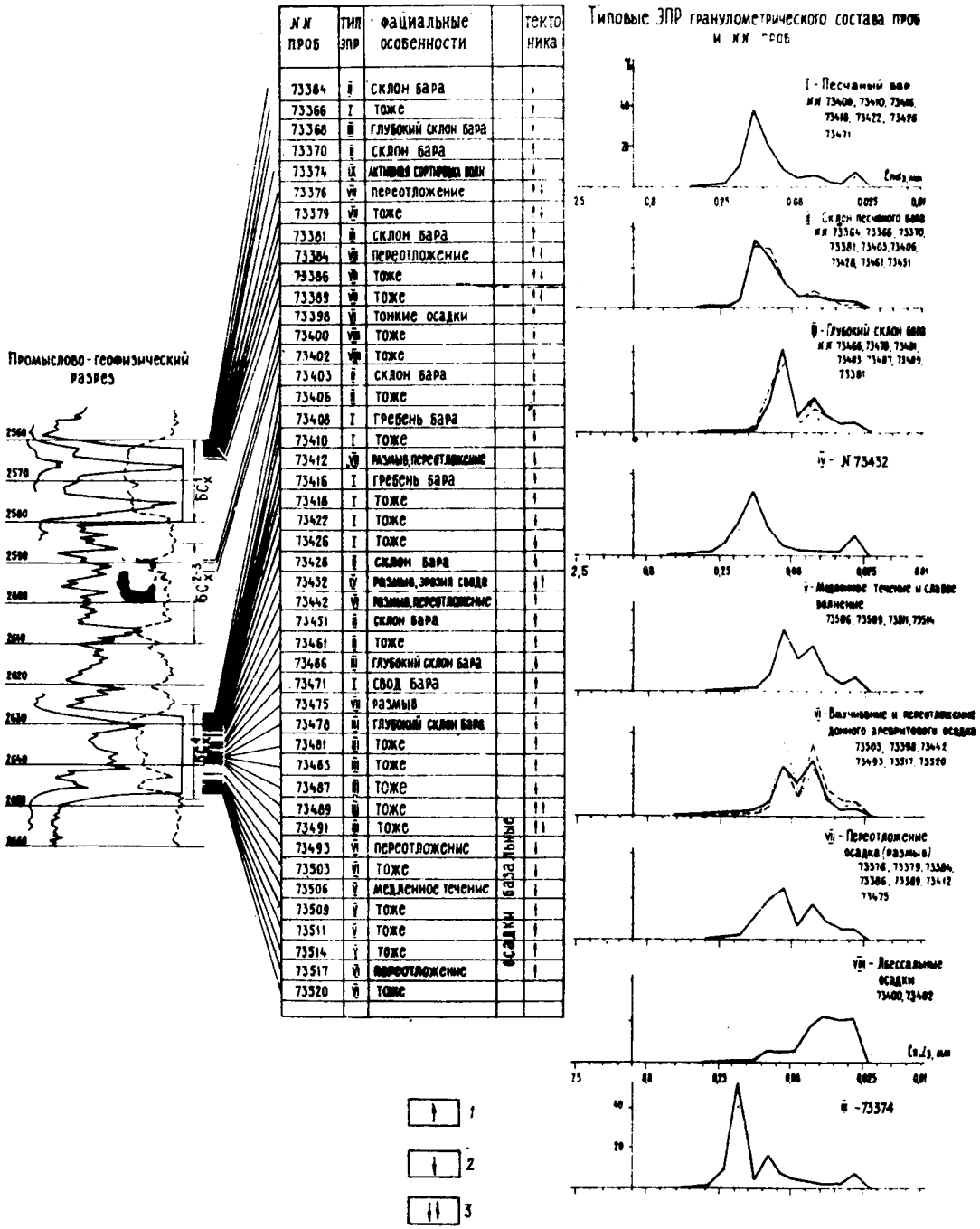


Рис. 5.6. Типовые ЭПР гранулометрического состава проб и фациальные особенности образования отложений пластов $БС_x^1$, $БС_x^{2-3}$ и $БС_x^4$, вскрытых скв. №238 на Муравленковской площади Западной Сибири.

Тектонические колебания: *1-подъем дна, 2-опускание дна, 3-смена знака колебания.*

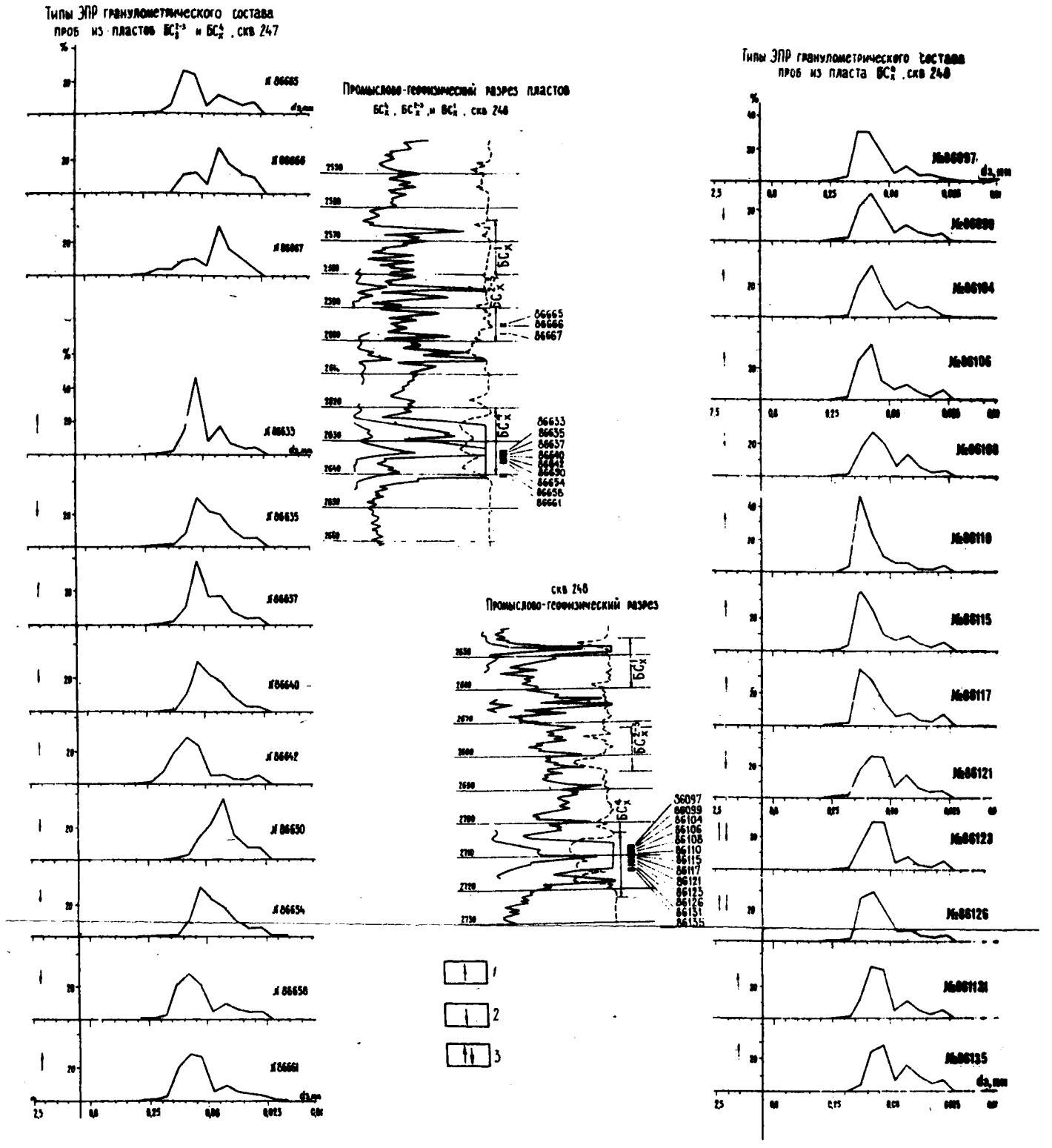


Рис.5.7. Типы ЭПР гранулометрического состава проб отложений пластов БС$_x^1$, БС$_x^{2-3}$ и БС$_{x_1}^4$ вскрытых скважинами №№247 и 248 на Муравленковской площади Западной Сибири.

Тектонические колебания: *1-подъем дна, 2-опускание дна, 3-смена знака колебания.*

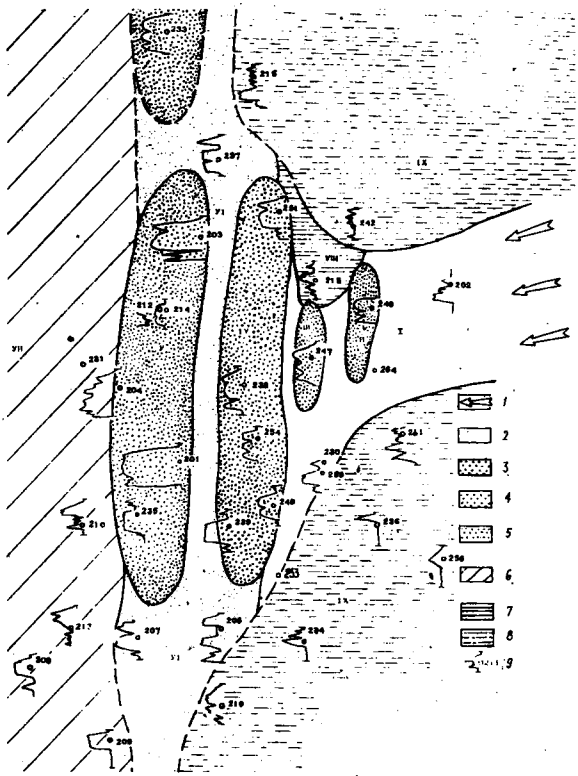


Рис 58. Схема фациальных условий формирования отложений пласта БС$_1^1$ Муравленковской площади Западной Сибири.

Фациальные зоны: 1-направление течения стокового потока; 2-песчано-алевритовые осадки устья стокового потока (I); 3-пески первого (II) и второго (III) устьевых баров; 4-пески третьего (IV) и четвертого (V) баров в зоне конуса выноса; 5-пески и алевриты конуса выноса (VI)-мелко-водная зона; 6-осадки более глубоководной зоны конуса выноса (субтерриальная верхняя зона (VII); 7-песчано-глинистая зона устья стокового потока (VIII); 8-осадки прибрежной равнины (IX); 9-номер скважины и кривая ПС против пласта.

(интервал по каротажу 2718-2715,5 м). Этот слой опробован в скважине 238 (рис.5.7). Из семи проб (пробы №№ 73491÷7350, с пробелами) три пробы №№ 73503, 73517 и 73520 (на рис. 5.3) точки №№ 195, 199 и 200 оказались в поле IУ, характеризующего пляжные осадки. На основании ЭПР гранулометрического состава этих трех проб можно предположить, что рассматриваемый слой является базальным слоем трансгрессивного пласта $БС_x^4$.

Выше по разрезу пласта $БС_x^4$ гранулометрический состав проб №№ 73491÷73403 (с пробелами), отобранными в интервале 2626,6-2639,2 м, характеризует осадки, формирование которых было обусловлено гидродинамическим режимом, свойственным фациальным обстановкам подводного бара, его склонам и гребневой части. Песчаный бар периодически подвергался размыву и переотложению осадков, которые зафиксированы пробами №№ 73475, 73442 и 73412. Его гребневая часть относительно скв.238 смещалась как в сторону суши, так и в сторону моря, образуя сложное наслоение осадков.

Сравнивая изученные разрезы с разрезом пласта ($БС_x^4$) в скважине 247, можно сделать вывод о том, что в районе этой скважины существовали сходные фациальные условия (бар) при отложении осадков неопробованного интервала 2621-2632 м. Наличие осадков бара подтверждается ЭПР гранулометрического состава проб 86633, 86642, 86658 и 86661 и наличием 2-х тонких прослоев алевролита, осадки которых были сформированы в лагуне, отчлененной от открытого бассейна указанным баром.

Таким образом на основе изучения ЭПР гранулометрического состава проб и весовой диаграммы асимметрия-эксцесс представляется возможность выявления микрофациальных обстановок во время формирования пласта $БС_x^4$, которые показаны на рис. 5.8. Привлекая данные промыслово-геофизического каротажа, а именно по сходству кривых КС и ПС против этого пласта по другим скважинам, осуществлено картирование микрофаций Муравленковской площади.

Что касается пласта $БС_x^{2-3}$, то изучение гранулометрии этого пласта осуществлено всего 6-ю пробами, отобранными в скважинах 238 и 247. Все пробы характеризуют алевритовые распределения. Из них 5 проб характеризуются отрицательной асимметрией ЭПР, поэтому на весовой генетической диаграмме рас-

пределились в IУ поле (см. точки №№ I69, I70) и в поле У (№№ I55, I56 и I68), свидетельствуя о их континентальном генезисе - о прибрежных фациях. Одна точка - проба № I54 (проба № 68665) оказалась в поле УI. Ее ЭПР гранулометрического состава характеризует осадок, сформированный в условиях слабого влияния волн и однонаправленного течения. На основе анализа данных промыслово-геофизического каротажа и литологического профиля на рис. 5.6 этот вывод подтверждается, как взаимоотношением подстилающих слоев, так и увеличенной мощностью алевролитов в составе пласта в разрезах скважин 247 и 248 по сравнению таковых в разрезах скважин 204 и 238. Алевритовые осадки повышенной мощности в скважинах 247 и 248 компенсировали отрицательную форму рельефа - мульду, образовавшуюся вследствии уплотнения подстилающих глинистых осадков морского и континентального генезиса.

Пласт $БС_x^I$ по промыслово-геофизическим данным в разрезах скважин 204 и 238 представлен песчаными отложениями, которые на литологическом профиле замещаются алевролитами и глинами в разрезах скважин 247 и 248. Песчаные отложения пласта опробованы в скважине 238 в интервале 256I,3-2565,0 м. Гранулометрический состав пород изучен по II пробам (рис.5.6). На весовой генетической диаграмме асимметрия-эксцесс точки-пробы (№№ I57+I67) распределились в УI и УП полях (рис.5.2) и характеризуются, судя по типовым ЭПР гранулометрического состава, разным набором осадков, в основном, прибрежно-морского генезиса. Так, пробы №№ 73364, 73366, 73368 и 73370, отобранные в верхней части интервала, характеризуют осадки, сформированные в зоне активного влияния волнений при однонаправленном течении с вертикальной составляющей не превышающей 2,5 см/сек. При этом I тип ЭПР охарактеризован одной пробой (73366), П тип ЭПР - двумя пробами, а Ш-й тип - пробой 73368. Ниже по разрезу в интервале 2562,8 м проба № 73374 представлена хорошо сортированным материалом класса 0,2÷0,I6 мм, содержащемся в пробе более 50%. Осадок этой пробы сформировался в условиях весьма активного влияния волнений на сортировку материала при однонаправленном перемещении воды (относительно медленном течении) сопровождаемого приливами и отливами. Эти условия возникают в широких устьях мелководных рек или стоковых потоков, а также в устьевых мелководных заливах (типа

морской губы).

Ниже пробы № 73374 в интервале 2562,8÷2665 м все пробы, за исключением пробы № 73381 с ЭПР- Ш-го типа, характеризуют размыв и переотложение материала донного осадка вследствии колебательных движений уровня воды в бассейне (например, при мощных отливах и приливах). Этим следует объяснить некоторое уменьшение количественной зернистости материала при сохранении всего диапазона размера зерен. Исходными осадками указанных проб очевидно были осадки баровых обстановок, которые при размыве и переотложении материала изменили облик ЭПР I-го типа на облик ЭПР УП типа.

Анализ промыслово-геофизических аномалий КС и ПС против рассматриваемого пласта показал, что пласт $БС_x^I$ представлен преимущественно песчаными породами в разрезе скважин 203, 204, 213, 214, 238 и 251, при этом аномалии ПС против этого пласта в скважинах 238 и 251 имеют сходную конфигурацию по форме. Это дает основание предполагать, что отложения пласта этих скважин формировались в сходных фациальных обстановках. Важно отметить также, что в скв.213 нижняя часть пласта замещена глинами, а верхняя сложена песчаником. К северу от нее в скв.242, к югу и юго-востоку от нее в скважинах 247 и 248 пласт замещен глинами и глинистыми алевролитами. К северу от скважин 203 и 251 пласт $БС_x^I$ замещен глинами, в нижней части, а в верхней - алевролитами. В скважине 201 и к югу от нее в скважинах 235, 239, 207 и 209 в разрезе верхней трети пласта наблюдаются песчаники, а остальная часть разреза сложена глинами с прослоем алевролита. К востоку от этих скважин пласт замещается глинами и алевролитами. В результате анализа промыслово-геофизических разрезов пласта на Муравленковской площади выделено несколько литолого-фациальных участков.

Совместный анализ гранулометрического состава проб и промыслово-геофизических данных позволил конкретизировать фациальные особенности формирования пласта $БС_x^I$. На рис.5.9 изображены эти особенности.

В районе скважины 213 обособлен участок осадков устьевой части стокового потока. К западу от него располагается меридиональная зона, формировния осадков устьевого бара (отмели). В районе скважин 203, 204, 212 и 214 - зона конуса выноса песчаных осадков, а к югу от нее - зона конуса песчано-алеврито-

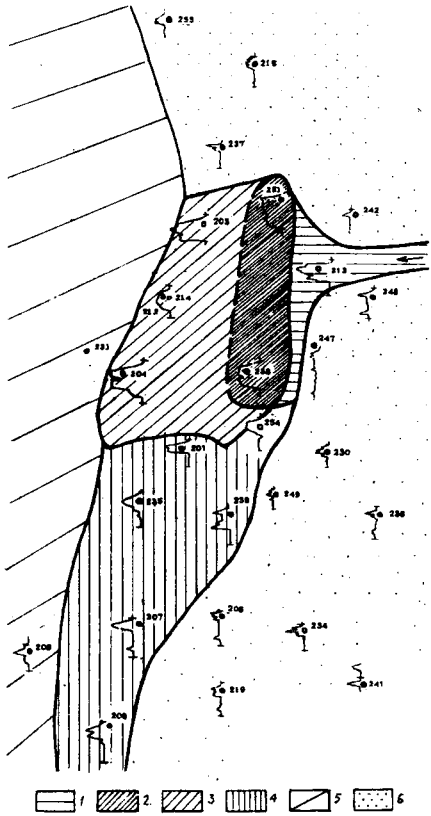


Рис.5.9. Схема фациальных условий формирования отложений пласта $БС_2^1$ Муравленковской площади Западной Сибири

Фациальные зоны: 1-пески стокового потока; 2-пески устьевого бара; 3-конус выноса песка; 4-конус выноса песчано-алевритового материала; 5-литоральные осадки; 6-континентальные осадки.

вого материала и его осаждения. На западе схемы - зона литоральных осадков, а на востоке - континентальные осадки прибрежной равнины.

Таким образом во время формирования пласта $БС_x^I$ фациальные обстановки унаследываются от фациальных обстановок пласта $БС_x^4$, но в меньшем масштабе.

Подводя итог изложенного в подразделах 5.4, 5.5 и 5.6 необходимо отметить следующее.

I. Весовые генетические диаграммы асимметрия-эксцесс, среднее-стандарт и среднее-энтропийная мера, составленные по результатам гранулометрического анализа по эквивалентному диаметру зерен, отражают общие фациальные обстановки, различающиеся динамическими условиями транспортировки, осаждения и захоронения обломочного материала.

2. Весовые диаграммы асимметрия-эксцесс могут быть самостоятельно использованы для диагностики по одной пробе: а) эоловых отложений, б) отложений пляжа, в) отложений подводных баров прибрежных морей; г) отложений донных течений (без расчленения на речные, стоковые и морские).

3. При наличии нескольких проб из одного и того же узкого стратиграфического объекта, отобранных по его разрезу и площади, с помощью этих диаграмм можно распознавать конкретные фациальные обстановки, например, эоловые дюны от пляжей и прибрежно-морских отложений. В пределах прибрежно-морских фаций разделять фации баров, лагун, верхней и нижней сублиторальных зон. В районах дельтового и авандельтового осадконакопления разделять друг от друга русловые осадки, авандельтовые отложения конусов выноса, отмелей в устьях рек, подводных приустьевых баров, предбаровых лагун, а также смежных с ними участков.

4. Совместный анализ гранулометрического состава, изображенного графически в виде ЭПР и кумулятивных кривых и статистических гранулометрических характеристик как раздельно, так и в виде диаграмм асимметрия-эксцесс или средний размер - стандартное отклонение, или по мерам среднее - энтропия позволят не только уточнить комплексы фаций, но разделять среди них конкретные фациальные обстановки.

5. Указанный совместный анализ в комплексе с промыслово-геофизическим каротажем позволяет диагностировать и разделять

разрез на отложения конкретных фациальных обстановок, при которых формировался пласт или другой дробный геологический объект. Кроме этого такой комплексный анализ позволяет выделять и обосновывать фациальные сходство электрометрических моделей, а картированием последних оконтуривать исследуемые геологические объекты.

6. ОРГАНИЗАЦИЯ ЛАБОРАТОРИИ

6.I. Дробный гранулометрический анализ обломочных пород рекомендуемым седиментационным способом может быть осуществлен в любой комплексной литолого-минералогической лаборатории, укомплектованной стандартным оборудованием и необходимыми материалами и дополненной гидравлическим седиментатором ГС-I.

При организации самостоятельной лаборатории могут быть использованы следующие примерные перечни аппаратов и приборов общелабораторного назначения, составленные из расчета комплектности на I гидравлический седиментатор ГС-I. Эти перечни приведены в таблицах:

I. Основное лабораторное оборудование - табл.6.I.

2. Вспомогательное лабораторное оборудование - табл.6.2.

3. Стеклянное, фарфоровое и керамическое оборудование и лабораторная посуда - табл.6.3.

4. Основные реактивы, химикаты и другие материалы - табл. 6.4.

5. Слесарный и мерительный инструмент - табл.6.5.

6.2. Штаты лаборатории

Штаты исполнителей (лаборантов, старших лаборантов и др.) определяются в зависимости от требуемого количества дробных гранулометрических анализов в год и норм времени по справочнику укрупненных сметных норм на лабораторные исследования полезных ископаемых и горных пород (СУСН, вып.7. Лабораторные исследования полезных ископаемых и горных пород. М.: Недра, 1984. 328 с).

Таблица 6.I

Примерный перечень основного лабораторного оборудования

Наименование	Модель или тип	ГОСТ или ТУ	Характеристика
Шкаф сушильный вакуумный	СНВС-4,5-3,4(ВШ--0,035)		Рабочий объем - 40 л
Микроскоп бинокулярный любого типа			
Прибор для определения зернового состава (типа Ротап)	029		Число ударов 180 уд/мин. Потреб.мощность 0,5 квт. Число оборотов эксцентрика 300 об/мин.
Машина вычислительная малогабаритная, любого типа			
Шкаф вытяжной лабораторный			
Весы лабораторные 2-го класса x)	ВЛР-200	ГОСТ 19491-74 ТУ 25-06-1131-74	Равноплечие. Предел 200 г. Погрешность неравноплечности коромысла ±2мг.Погрешность измерения по опт. шкале ± 0,15 мг
Весы лабораторные однорычажные 4-го класса x)	ВЛТК-500д-М		Одноплечие, предел 500 г. Цена деления - 100 мг/дел. Погрешность измерения по шкале ±20 мг
Весы лабораторные однорычажные x)	ВЛКТ-20	ТУ-25-06	Одноплечие, предел 20 г. Погрешность измерения по шкале ±10 мг

x) Одна из названных моделей

Таблица 6.2

Перечень вспомогательного лабораторного оборудования

Наименование	Марка или тип	ГОСТ или ТУ	Основные технические данные
Секундомер однострелочный	СОПпр-2а-3	ГОСТ 5072-79	Макс.время - 30 мин. Цена деления - 0,2 с.
Секундомер двухстрелочный	СДСПпр-I-2-000	ГОСТ 5072-79	Макс.время - 30 мин. Цена деления - 0,I с.
Штативы лабораторные			
Зажимы вентовые			
Трубки резиновые разные		ГОСТ 5496-78	Внутренний диаметр 5 мм, 8 мм, I0 мм, I4 мм
Трубки медицинские резиновые разные		ГОСТ 3399-76	То же
Перчатки резиновые		ГОСТ 200I0-74	
Пробки резиновые разные		ГОСТ 7852-76	
Электроплитки с закрытой спиралью, любой тип			
Перчатки хирургические резиновые		ГОСТ 3-75	

Таблица 6.3

Примерный перечень стеклянного, фарфорового или керамического лабораторного оборудования и лабораторной посуды

Наименование	Тип, марка, ГОСТ или ТУ
Чашки фарфоровые разные	
Ступки фарфоровые с пестиком	ГОСТ 3147-59
Колбы разные	ГОСТ 10394-63
Стаканы химические разные	ГОСТ 10394-63
Бюретки разные	ГОСТ 1770-64
Банки с тубусом	СТРГ ГОСТ 10238-62
Склянки с притертой пробкой	ГОСТ 10394-63
Бюксы разные	ГОСТ 7148-70
Стекла предметные	ГОСТ 8446-57
Фильтры стеклянные разные	ГОСТ 9147-59
Чашки выпаривательные	ГОСТ 9147-59
Трубки стеклянные разные	ТУ 25-11-372-69
Мензурки разные	ГОСТ 1770-64
Цилиндры мерные разные	ГОСТ 1770-64
Воронки фильтрующие	ГОСТ 9775-69
Эксикаторы разные	ГОСТ 6371-64
Пикнометры для твердых тел разных объемов	ГОСТ 7465-67
Пикнометры для жидкости разные	ГОСТ 11723-66
Вискозиметры капиллярные	ВПЖ 2 ГОСТ 10028-67
Часы песочные настольные	ЧПН ГОСТ 10576-63
Термометры лабораторные (комплект)	ТЛ-5 ГОСТ 215-57
Насос водоструйный лабораторный	ГОСТ 10696-63

Таблица 6.4

Примерный перечень основных реактивов, химикатов и других материалов

Наименование	ГОСТ или ТУ	Количество
Керосин Б46 или Б48	ГОСТ 4753-68 или ГОСТ III28-65	5 л
Бензин очищенный		
Ацетон технический	ГОСТ 2768-84	5 л
Растворители (разные)		
Спирт технический этиловый	ГОСТ I7299-78	2 л
Соляная кислота (HCI)	ГОСТ 857-88	5 л
Серная кислота (H_2SO_4)	ГОСТ 667-73	5 л
Азотная кислота (HNO_3)	ГОСТ 70I-78	3 л
Едкая щелочь (KOH)	ГОСТ 9285-78	3 л
Кальций хлористый	ГОСТ 450-77	2 кг
Натр едкий	ГОСТ II078-78	2 кг
Уксусная кислота (CH_3COOH)	ГОСТ 6I-75	5 л
Щавелевая кислота		I0 л
Дихлорэтан		I л
Перекись водорода (H_2O_2)		20 л
Аммиак		5 л
Формалин		I кг
Вазелин		0,2 кг
Масло трансформаторное		0,5 л
Солидол		0,2 кг
Сода кальцинированная		2 кг
Смола ФР-I2		0,2 кг
Натрий уксусно-кислый 3-водный	ГОСТ I99-78	I,0 кг

Таблица 6.5

Примерный перечень слесарного и мерительного инструмента

Наименование
Тиски ручные (параллельные)
Тиски настольные (параллельные)
Струбцины разные
Набор гаечных и разводных ключей
Набор слесарно-монтажного инструмента
Дрель электрическая (бытовая)
Штангенциркуль с ценой деления конуса 0,I и 0,05 мм
Сверла (набор)
Набор головок накидных ключей

Таблица 6.6

Наименование исследования, испытания, описания и т.д. (№ нормы по СУСН)	Число анализов в % от общего числа образцов, %	Затраты времени в чел/час на I анализ	Необходимое число лаборантов в год при объеме		
			1000 проб	2500 проб	5000 проб
I	2	3	4	5	6
Дезинтеграция и отмучивание глинистых частиц из навески до 50 г со сбором фракций более 0,01 мм и менее 0,01 мм для рыхлых пород (№ 1326)	100	1,1	0,336	0,839	1,678
Удаление пленок гидроокислов железа с зерен минералов (частиц) соляной кислотой или другим реагентом (№ 1357)	100	0,65	0,2	0,5	1,0
Краткое макроскопическое описание образца с просмотром под бинокуляром (№ 2234)	100	0,35	0,11	0,267	0,534
Избавление от карбонатности (№ 1812)	30	0,27	0,025	0,062	0,124
Освобождение от органических веществ (№ 1813)	50	0,46	0,070	0,175	0,35
Деление и маркировка общей пробы (образца) на части для выполнения анализа (№ 2233)	100	0,15	0,046	0,114	0,228
Дробное седиментационное разделение песчано-алевритового материала (более 0,01 мм) на классы	100	1,25	0,38	0,95	1,90
Сушка материала полученных классов	100	0,5	0,15	0,38	0,76

Продолжение табл. 6.6

I	2	3	4	5	6
Взвешивание материала полученных классов (№ 1362), при среднем количестве 20 классов	100	0,6	0,183	0,458	0,916
Обработка таблиц с результатами анализов, составление краткого заключения и выдача результатов заказчику свыше 50 проб, учитываемых одним заключением	100	18,0	0,11	0,275	0,55
Итого:			1,61	4,02	8,04

6.3. Помещения и необходимые требования, предъявляемые к ним

Лаборатория должна иметь специально оборудованные помещения в зависимости от вида работ.

I. Препараторская - для разборки коллекций и подготовки проб к анализу. В ней монтируют керноколл, дробильный аппарат, ротап, рабочие столы , стеллажи. Количество столов определяют из расчета I рабочий стол на I000 проб, обрабатываемых в год. Площадь препараторской в зависимости от этого количества обрабатываемого материала должна иметь не менее I0-I2 $м^2$. Помещение должно иметь приточную вентиляцию, умывальник, канализацию.

2. Экстракционная - для экстрагирования образцов в аппаратах Сокслета и для обработки проб химическими реагентами. В этом же помещении производят обработку проб ультразвуком. Аппараты Сокслета монтируются в металлических вытяжных шкафах 200х75 см со столешницами, покрытыми кафелем. Вытяжные шкафы для обработки проб химреагентами изготовляются из кислотостойкого материала со столешницами, покрытыми кафелем. Предусматриваются умывальники, мойки, канализация, канализация и подвод воды к вытяжным шкафам. Помещение оборудуют приточной вентиляцией, каждое рабочее место должно иметь подводы электроэнергии.

Необходимое количество вытяжных шкафов:

- экстракция в аппаратах Сокслета - I шкаф на 2500 образцов в год;
- обработка проб химреагентами - I шкаф на I000 проб в год;

Для обработки образцов ультразвуком предусматривается отдельная комната с подводом воды, канализации и электроэнергии. Один умывальник и мойка оборудуются на два рабочих стола.

Пол в помещении и нижняя половина - кафельные. Потолок и верхняя часть стен покрываются огнестойкой краской. Двери в помещении открываются наружу, а у входа оборудуются общий рубильник и водяной кран. Площадь помещения определяется по числу вытяжных шкафов.

3. Весовая - предусматривается при объеме работ не менее 2500 образцов в год. Весы устанавливаются на специальных под-

ставках (или столах смонтированных и укрепленных в капитальных стенах). Пол покрывают линолеумом. Стены и потолок окрашиваются масляной краской. Площадь - 10-12 $м^2$.

4. Аналитическая - для основного производства гранулометрических анализов седиментационным способом. При объеме работ до 2500 образцов в год при 2-х сменной работе обеспечивается одним гидравлическим седиментатором ГС-1. Помещение оборудуется 2 лабораторными столами и 2-мя сушильными шкафами. Площадь на 1 рабочее место (1-го лаборанта) отводится не менее 8 $м^2$. К каждым 2-м столам предусматривается умывальник и мойка, подводы электроэнергии и канализации.

Пол должен быть покрыт линолеумом. Стены окрашены масляной краской. Электроэнергия и подводы воды отключаются централизованно.

5. Камеральная - 1 комната для начальника лаборатории (группы), инженера-методиста, литолога.

6.4. Требования к безопасности

1. Все работы должны выполняться в строгом соответствии с общими правилами безопасности при лабораторных работах.

2. Все работы, связанные с нагреванием и кипячением горючих жидкостей, производят в экстракционном помещении в специальных шкафах при включенной вентиляции. При этом эти шкафы оборудуются отводами, непосредственно связанные со шкафом и баллоном и углекислотой с краном. В помещении обязательно должны находиться огнетушители.

4. Все работы, связанные с кипячением и нагреванием растворов кислот, особенно, азотной и серной, и других химических реактивов, производят в специальных вытяжных шкафах экстракционной при включенной интенсивной вентиляции с закрытыми дверками. При этом работы выполняются в резиновых перчатках и с защитными очками.

5. В каждом помещении назначают лицо, ответственное за соблюдение правил безопасного ведения лабораторных работ и имеющее достаточный опыт выполнения этих работ.

6.5. Лабораторный контроль

Внутренний и внешний лабораторный контроль заключается в выполнении параллельных гранулометрических анализов и сравнении величин расхождения результатов с допусками. В каждой контрольной выборке должны быть не менее 75% результатов анализов (образцов), уложившихся в допуск. Остальные 25% могут дать расхождение больше допуска, но не свыше удвоенной его величины.

6.5.I. Внутрилабораторный контроль

I. Внутрилабораторный контроль осуществляется с целью выявления случайных ошибок количественных определений при массовых анализах гранулометрического состава обломочных пород путем проведения повторных определений другим исполнителем на зашифрованных пробах.

2. Этот контроль служит одним из средств оценки качества работы лаборатории, а также отдельных исполнителей анализов.

3. Контрольную партию выбирают в зависимости от наличия образцов и других технических и организационных причин.

4. Начальнику лаборатории (группы) рекомендуется и предоставляется право осуществлять внутрилабораторный контроль в больших размерах.

5. При расхождении результатов не отвечающим требованиям, начальник лаборатории проводит повторный анализ этих образцов. Если отсутствует материал для дополнительных анализов лаборатория должна выдать заключение всех результатов анализа с соответствующим примечанием.

6.5.2. Внешний контроль

Этот лабораторный контроль выполняется с целью оценки правильности количественных анализов гранулометрического состава пород.

Внешний контроль осуществляется в контролирующей лаборатории путем повторного анализа одних и тех же образцов, которые были выполнены в контролируемой лаборатории.

При внешнем контроле сопоставляют средние значения вели-

чин, определенных контролируемой и контролирующей лабораториями. При этом это расхождение не должно превышать допусков.

Все случаи расхождений результатов анализов тщательно рекомендуется расследовать обеими лабораториями. Если причины расхождений не будут выявлены, то материал передается в организацию, которая назначается приказом МГ СССР.

На внешний контроль направляют два результата анализа, выполненные при внутрилабораторном контроле, и образцы, прошедшие этот контроль, а также в контролирующую лабораторию сообщают результаты этих анализов и методику их выполнения.

Контролирующая лаборатория выполняет анализы наиболее надежными и проверенными методами по собственному усмотрению. Все контрольные анализы выполняются полностью.

Работы по внешнему контролю включаются в основной производственный план контролирующей лаборатории и выполняются наравне с текущей работой без дополнительного выделения лимитов по труду.

6.5.3. Арбитражный контроль

Арбитражный контроль осуществляется в тех случаях, когда внешним контролем установлены систематические расхождения результатов гранулометрических анализов, выполняемых контролирующей и контролируемой лабораториями. Арбитражный контроль выясняет причины расхождения результатов анализов и принимает меры к их устранению как в контролирующей, так и в контролируемой лабораториях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

I. Авдусин П.П., Батурин В.П. Опыт методики исследования механических осадков (применительно к изучению литологии нефтяных месторождений). Тр.АзНИИ, Сер.работ по общей и прикладной геологии. Баку, 1930. С.65-68.

2. Альтшуль А.Д. Гидравлические сопротивления.М.:Недра,1970, 216 с.

3. Анцыферов С.М., Косьян Р.Д. Взвешенные наносы в верхней части шельфа. М.: Наука, 1986. 224 с.

4. Архангельский Б.В. Экспериментальное исследование точности шкал гидравлической крупности частиц. Изв.научн.-исслед. ин-та гидротехники. Т.ХУ. М.: 1935. С.157-184.

5. Барский М.Д., Ревнивцев В.И., Соколкин Ю.В. Гравитационная классификация зернистых материалов. М.: Недра, 1974. 232 с.

6. Барский М.Д. Оптимизация процессов разделения зернистых материалов. М.: Недра, 1978. 167 с.

7. Батурин В.П. Петрографический анализ геологического прошлого по терригенным компонентам. М.-Л.: изд.АН СССР, 1947. 338 с.

8. Биккенин В.Т., Рожков Г.Ф. Критический обзор генетических диаграмм в гранулометрии.Литол. и полезн.ископ. 1982, № 6. С.3-14.

9. Благов И.С., Коткин А.И.,Фоменко Т.Г. Гравитационные процессы обогащения. М.: Госгортехиздат, 1962. 232 с.

10. Васильев А.М. Основы расчета скорости осаждения грунтовых частиц в жидкости. М.-Л.: Объединенное научно-техническое изд. НК ТП СССР, 1936. С.28-52.

11. Васильев А.М. Основы современной методики и техники лабораторных определений физических свойств грунтов. М.:изд. Машстройиздата, 1949. 160 с.

12. Векслер А.Б. К вопросу о гидравлической крупности и коэффициенте сопротивления наносов. Изв.ВНИИГ, 1971, т.96. С.74-89.

13. Вентцель Е.С. Теория вероятностей. М.: Наука, 1964.576 с.

14. Ган Ф.В. Дисперсионный анализ. М.-Л.: Госхимиздат, 1940. 500 с.

15. Глуховский Б.Х. Исследования морского ветрового волнения. Л.: Гидрометеоиздат, 1966. 284 с.

16. Годэн А.И. Основы обогащения полезных ископаемых. М.: Металлургиздат, 1946. 535 с.

17. Голоудин Р.И., Колобзаров О.В. Опыт применения результатов обработки данных гранулометрического анализа для изучения литодинамики береговой зоны моря. Литол. и полезн. ископаемые. 1975, № 3. С.158-163.

18. Гостинцев К.К. Методы и значение гидродинамической классификации песчано-алевритовых пород при прогнозе литологических ловушек нефти и газа. Л.: ВНИГРИ, 1981. С.51-62.

19. Гостинцев К.К. Описание изобретения к авт. свид. СССР № 376118, кл.B03B 3/34. Гидравлический классификатор. М.:ЦНИИПИ, Госком. по делам изобрет. и открытий. 1973. 3 с.

20. Гостинцев К.К. Описание изобретения к авт.свид. СССР № 521015, кл.B03B 5/62. Гидравлический классификатор.М.: ЦНИИПИ Госком.по делам изобрет. и открытий, 1976. 4 с.

21. Гостинцев К.К. Описание изобретения к авт. свид. СССР № 959827, кл. B03B 7/00. Способ классификации сыпучих материалов. М.: ВНИИПИ Госком. по делам изобрет. и открытий, 1982. 2с.

22. Гостинцев К.К., Дятлов В.Г., Коньков В.С.Описание изобретения к авт.свид. СССР № 1313506, кл.B03B 5/62. Гидравлический седиментометр. М.: ВНИИПИ, Госком. по делам изобрет. и открытий, 1987. 18 с.

23. Гостинцев К.К. Гидравлический седиментометр.Информ.листок № 60-87. Л.: Лен. межотраслевой террит. ЦНТИ, 1986, 4 с.

24. Гриффитс Дж. Научные методы исследования осадочных пород. М.: Мир, 1971, 422 с.

25. Дробный ситовой гранулометрический анализ / Г.Ф.Рожков, З.Н.Ипатова, О.В.Колобзаров, Р.Н.Стайсон // Литология и полезные ископаемые. 1973. № 6. С.121-135.

26. Еремин П.Ф. Определение скорости минеральных зерен при совместном падении // Вопросы теории гравитационных методов обогащения полезных ископаемых. М.: Госгортехиздат, 1969.С.195-197.

27. Замятческий П.А., Охотин В.В. О механическом анализе
очных и рыхлых горных пород по методу Робинсона // Дорожные
дования. ЦУМТ, вып.19, 1928. С.7-23.
28. Караушев А.В. Проблемы динамики естественных водных
ов. Л.: Гидрометеоиздат, 1960. 392 с.
29. Караушев А.В. Речная гидравлика. Л.: Гидрометеоиздат,
4I6 с.
30. Карпинский Д.А. Методы определения физико-механических
тв грунтов. Л.-М.: 1932. 46 с.
31. Кинг К.А. Пляжи и берега. М.: Изд.иностр.лит.,1963.435с.
32. Кирберг Г. Обогащение полезных ископаемых. М.: Госгор-
дат, 1960. 434 с.
33. Колобзаров О.В. Об усовершенствовании ситового грануло-
ческого анализа //Гранулометрический анализ в геологии. М.:
ГИН АН СССР и Межведом.литол.ком-т АН СССР, 1978.С.36-45.
34. Коузов П.А. Основы анализа дисперсного состава промыш-
с пылей и измельченного материала. Л.: Недра, 1987. 264 с.
35. Логвиненко Н.В. Петрография осадочных пород. М.: Высшая
, 1974. 480 с.
36. Ломтадзе В.Л. Методы лабораторных исследований физико-
ческих свойств песчаных и глинистых грунтов. Л.:Недра.1972.
37. Ляшенко П.В. Гравитационные методы обогащения. М.: Гос-
:издат, 1940. 4I2 с.
38. Методы палеогеографических реконструкций (при поисках
й нефти и газа). Л.: Недра, 1984. 272 с.
39. Монин А.С., Яглом А.М. Статистическая гидромеханика.Ч.I.
ука, 1965. 640 с.
40. Монин А.С., Яглом А.М. Статистическая гидромеханика:
.: Наука, 1967. 6I2 с.
41. Минц Д.М., Шуберт С.А. Гидравлика зернистых материалов.
д.М-ва коммун.хоз-ва, РСФСР, 1955. II2 с.
42. Мяздриков О.А. Дифференциальные методы гранулометрии.
таллургизиздат, 1974. 200 с.

43. Новиков В.А. Гранулометрическое разделение материала коры выветривания //Кора выветривания. Вып.I.М.: изд.АН СССР, 1952. С.192-211.

44. Новиков В.А. Гранулометрический анализ в лабораториях системы Министерства геологии СССР // Гранулометрический анализ в геологии. М.: изд.ГИН АН СССР и Межведом.литол.ком-т АН СССР, 1978. С.57-70.

45. Номенклатура приборов и средств автоматизации, планируемых к выпуску в 1986-1987 гг. М-во пром-ти стоит. мат-ов СССР. ВНПО Союзавтоматстрой. Л.: 1985. 56 с.

46. Ованесян А.Г., Месропян Э.А., Хурудян С.А. Аналитические приборы и приборы для научных исследований: Обзорная информация. М.: ЦНИИТЭ приборостроения, 1985. 24 с.

47. Онищенко Э.Л., Ямпольский В.А. Современное состояние методики определения гидравлической крупности наносов // Ш съезд советских океанологов. Тезисы докладов.Секция геология, геофизика и геохимия океана. Минеральные ресурсы, геоморфология, берега, методы исследования. Госком СССР по науке и технике. АН СССР, Коском СССР по гидрометеорологии и контролю природной среды, 1987. С.256, 257.

48. Определение гранулометрического состава: проспект Фирма Retsch (ФРГ), 1985. 36 с.

49. Остапов С.В. Экспериментальное исследование скоростей падения элементарных частиц и микроагрегатов в спокойной поде // Почвоведение. № 2-3. 1944. С.87-99.

50. Петелин В.П. О повышении качества ситового анализа морских донных осадков //Океанология. Т.4. 1964. № 4.

51. Петтиджон Ф. Осадочные породы. М.: "Недра,1981.752 с.

52. Петтиджон Ф., Поттер П., Сивер Р. Пески и песчаники. М.: Мир. 1976. 535 с.

53. Прандтль А. Гидроаэромеханика. М.: изд. иностр.лит., 1951. 575 с.

54. Рожков Г.Ф. К вопросу о гранулометрическом анализе счетом // Бюлл.МОИП. Отд.геол., 1968, т.43, вып.6. С.126-130.

55. Рожков Г.Ф. Дифференциация обломочного материала и гранулометрическая диаграмма - по косвенному счету частиц //Механическая дифференциация твердого вещества на континенте и шельфе. М.: Наука, 1978. С.97-117.

56. Романовский С.И. Применение теории информации для решения некоторых задач литологии. Л., 1968. Тр.ВСЕГЕИ, т.150. С.75-92.

57. Романовский С.И. Седиментологические основы литологии. Л.: Недра, 1977. 407 с.

58. Ромашов Г.И. Основные принципы и методы определения дисперсного состава промышленных пылей.Л.: Изд.ЛИОТ,1938.176 с.

59. Рухин Л.Б. Гранулометрический метод изучения песков. Л.: Изд.ЛГУ, 1947. 213 с.

60. Сабанин А.Н. Различные способы механического анализа почв и способ двойного отмучивания с малой навеской // Почвоведение. 1903. Т.5. № 1. С.31-50; № 2. С.129-140.

61. Страхов Н.М. Основы теории литогенеза. Изд. АН СССР, 1960. Т.1. 212 с.; 1960. Т.2. 574 с.; 1962. Т.3. 550 с.

62. Успенский В.А. Пневматический транспорт. М.: Металлургиздат, 1963. 231 с.

63. Фигуровский Н.А. Седиментометрический анализ.М.-Л.:изд. АН СССР, 1948. 332 с.

64. Ходаков Г.С. Основные методы дисперсного анализа порошков. М.: Стройиздат, 1968. 199 с.

65. Ходаков Г.С. Седиментационный анализ высокодисперсных систем. М.: Химия, 1981. 192 с.

66. Шванов В.Н. Песчаные породы и методы их изучения. Л.: Недра, 1969. 248 с.

67. Широкинских М.К. Гидравлические классификаторы. М.: Металлургиздат, 1947. 104 с

68. Юдкин Ю.П., Ходаков Г.С. Современные методы и приборы седиментационного анализа размеров частиц высокодисперсных частиц. Обзорная информация. Серия:системы и средства автоматизации химических производств. М.: НИИТЭхим, 1975. 46 с.

69. Юнг В.Н. Анализ гранулометрического состава цемента. Дополнение к книге Г.Кюль "Химия цемента в теории и практике". Л.: Гос.научн.техн.изд. Ленхимсектор, 1931. 145 с.

70. Krumbein W.G. Sise Freguency Distribution of Sediments. Petrol., 1934, N 4, p.65-67.

71. Hurst H.E. The Suspesion of Sand in Water. Proceed.Soc. London, A, 1929, N 124, p.196-201.

72. Reynolds Osborne. Phil. Trans., 1986.

73. Richerds, 41, Trans. Amer. Inst. of Min and Mettal.End., 396 p.

74. Rittinger P.R. Lenrbuch der Ausbereitungs kuns Kunde., Berlin, 1867.

75. Robinson. A new Metod for the Mechanical Analisis of coils and other Dispersions, Jorn. of Agriculture, 1922.

76. Stokes G.G. Trans. Cambridge Phil. Soc., 9, 8, 1851.

77. Tourtelot H.A. Hydraulic Eguivalence of Grains of Quartz and Heavier Minerals and Implications for Study of Placers. Geol.Survey Prof. Paper, 594-F, 1968.

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ДРОБНОМУ ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКОМУ АНАЛИЗУ СЕДИМЕНТАЦИОННЫМ СПОСОБОМ (С ПРИМЕНЕНИЕМ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО СЕДИМЕНТАТОРА ГС-1)

Редактор А.Х.Лаврова

Корректор С.Е.Репина

М - 23382 Подписано в печать 29 .12.89г. Формат 60x90/16

Объем 12 уч.-изд.л.Тираж 299 экз. Заказ 52. Цена 1 р. 80 к.

191104, Ленинград, Литейный, 38

Картолитография ВНИГРИ