

УДК 552.1 : 543.5

**О НЕКОТОРЫХ СПОСОБАХ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ
ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКОГО АНАЛИЗА**

Н. М. АРУТЮНОВА, С. Г. САРКИСЯН

Приводится обзор некоторых из существующих методов обработки данных гранулометрического анализа и применения их для диагностики различных обстановок осадконакопления. Рекомендуется метод построения кумулятивных кривых с применением вероятностных процентных отношений по шкале ординат. Вычисление гранулометрических коэффициентов по способу Бекера и по методу квартилей нельзя считать удовлетворительным.

Данные гранулометрического анализа осадков играют большую роль при палеогеографических реконструкциях. Наряду с минералогическим составом пород, их текстурными особенностями, глинистыми минералами и т. д., эти данные могут быть полезными для диагностики различных обстановок осадконакопления.

Применение и обзор различных способов обработки данных механического состава осадков приведены в ряде работ (Krumbein and Pettijohn, 1938; Батурин, 1947; Рухин, 1947; Кленова, Попов, 1948; Лисицын, 1956 и др.).

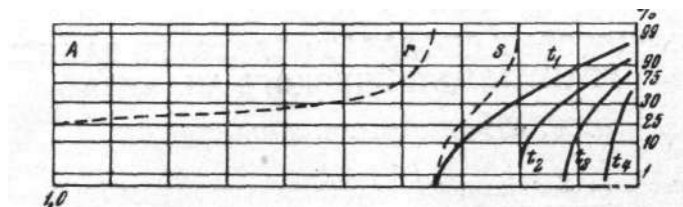
Наша статья посвящена обзору и анализу некоторых из существующих методов, которые позволяют по структурным особенностям осадков восстанавливать условия осадконакопления. В связи с этим рассматриваются также некоторые способы обработки результатов механического анализа и применение их для выяснения условий осадкообразования.

Авторы ограничиваются обзором работ преимущественно зарубежных исследователей, так как полагают, что работы отечественных литологов хорошо известны широкому кругу геологов.

Выбор той или иной методики изучения механического состава (ситовой анализ, анализ в шлифах и др.) определяется в каждом конкретном случае характером исследуемого материала. Наиболее рациональным при ситовом анализе (Krumbein, 1955), представляется набор сит с интервалом между ситами в 0,25 фи (Ф), но можно пользоваться набором с интервалом между ситами в 0,5 фи (Рухин, 1947). При анализе проб песка из современных осадков можно применять сита не стандартного размера, а диаметром 7,5 см (Mc Manus, 1965). В лаборатории ВНИГРИ производятся 19-фракционные и вводятся 33-фракционные ситовые анализы в диапазоне 2,5—0,04 мм (Рожков, Трофимова, 1968).

Цифровые данные механического состава подвергаются графической обработке и применяются чаще всего в виде гистограмм и кривых — кумулятивных или распределения. Наряду с этим применяются гранулометрические коэффициенты и статистические параметры. Гистограммы не дают количественной характеристики, они имеют иллюстративный характер (Лисицын, 1956), поэтому больший интерес представляют кумулятивные кривые и кривые распределения. Обычно кумулятивные кривые

строились с использованием арифметических процентных отношений по оси ординат (Krumbein and Aberdeen, 1937 и др.). Но все чаще исследователи применяют вероятностные процентные отношения (Otto, 1939; Doeglas, 1946 и др.). Используя различные способы для графического изображения результатов механического анализа — арифметический масштаб, логарифмическую шкалу, миллиметровую бумагу, Дуглас (Doeglas, 1946) пришел к выводу о том, что наилучший графический способ, отображающий дифференциацию седиментационного материала — построение графиков на арифметической вероятностной бумаге.



Фиг. 1. Дифференциация транспортируемого материала (Doeglas, 1946)

При пользовании миллиметровой бумагой окраинные части кривых почти всегда выглядят горизонтальными. Когда используется логарифмический масштаб, то дифференциация проявляется лишь в области крупнозернистых фракций, а в области тонкозернистых отсутствует. Арифметическая вероятностная бумага дает возможность изучить явление, которое обуславливает дифференциацию транспортируемого материала. Хорошо отсортированные пески на этой бумаге дают прямые линии. Характерные особенности в распределении частот размеров в осадке обнаруживаются не в центральной части кривой, а в ее окраинных частях.

По Д. Дугласу, форма кумулятивной кривой дает информацию относительно происхождения изучаемого осадка, т. е. относительно транспортируемого материала, способа дифференциации и смещения отлагающихся частичек. Дифференциация транспортируемого материала обуславливает три главных типа распределения: r , s и t (фиг. 1). Кривая типа r встречается главным образом там, где наблюдается высокая скорость потока и эродируется дно. Этот тип кривой обычен для песчаных и крупнозернистых донных отложений рек, которые постоянно подвергаются размыву донными течениями. Если скорость потока остается постоянной то отложения должны иметь распределение типа s . Когда скорость периодически варьирует (например, в реках) и происходит смещение нескольких фракций, то смешиваются различные типы распределения. Кривая типа t приурочена к условиям застойных вод.

Методика Д. Дугласа была успешно применена К. Крюи (Kruit, 1955) при изучении осадков дельты Роны и Ван Анделом — современных осадков залива Пария (Van Anandel and Postma, 1954).

Для диагностики обстановок осадконакопления кроме формы кривой механического состава привлекаются гранулометрические коэффициенты и статистические параметры. Наиболее известны гранулометрические коэффициенты Бекера, Траска и Крумбейна (Батулин, 1947). Вычисление коэффициентов Бекера связано с затратой большого количества времени, так как приходится применять планиметр; эти коэффициенты не являются показательными, ибо фракционный эквивалент может быть одинаковым у осадков разного состава. По А. Б. Вистелиусу (1951), коэффициенты Бекера безнадежно устарели. Для вычисления коэффициентов Траска и Крумбейна пользуются методом квартилей. Коэффициенты, определение которых базируется на квартилях, нельзя считать удовлет-

верительными, так как характерные особенности в распределении частот размеров в осадке обнаруживаются в окраинных частях кривой (Doeglas, 1946). В качестве индикаторов обстановки осадконакопления применяются статистические параметры: средний размер, стандартное отклонение, асимметрия и эксцесс. Некоторые исследователи важное генетическое значение придают асимметрии и эксцессу (Martins, 1965). Определение статистических параметров можно проводить по методу моментов (Юл, Кендэл, 1960; Рухин, 1957; Krumbein, 1955) или применять для этого графические методы (Inman, 1952; Folk, Ward, 1957). Метод Д. Инмана (Inman, 1952) применим только для унимодальных кривых, поэтому Р. Фолк и В. Уорд (Folk, Ward, 1957) разработали методику для бимодальных кривых, а Б. Саху (Sahu, 1964) ввел индекс модальности для распознавания бимодальной или полимодальной природы кривых распределения.

Р. Фолк (Folk, 1966) подробно проанализировал оба метода определения статистических параметров. По его мнению, **совершенно обязательно при этом построение кумулятивной кривой**, так как это помогает выявить бимодальность кривой, некоторые генетические связи, а также ошибки, допущенные при механическом анализе.

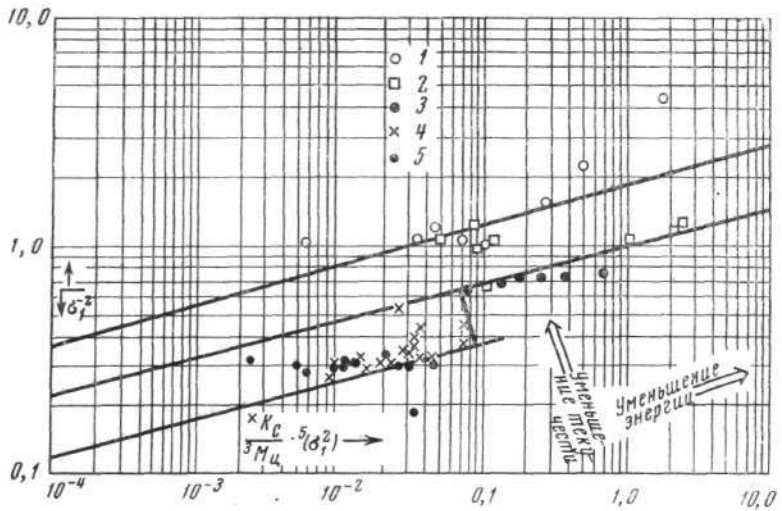
Статистические параметры получили довольно широкое распространение для дифференциации различных обстановок осадконакопления (Рухин, 1947; Mason and Folk, 1958; Friedman, 1961; Sahu, 1964; Gees, 1965; Rizzini, Borgetti, 1967; Sengupta, 1967; Halls, 1967 и др.). Применяя для определения статистических параметров методику Р. Фолка и В. Уорда, К. Мэзон и Р. Фолк (Mason and Folk, 1958) показали, что на о. Мустаг в Техасе пляжевые пески имеют отрицательную асимметрию, а дюнные — положительную. Г. Фридман (Friedman, 1961) применил метод моментов для определения статистических параметров. Им было изучено 267 образцов, собранных в США, Канаде, Мексике, Северной Африке, на Багамских и Бермудских островах. Оказалось, что пляжевые пески легко отличаются от дюнных и речных, потому что имеют отрицательную асимметрию. Однако отделение речных и дюнных песков не удалось провести только с помощью статистических параметров (по их количественной характеристике). Автор вынужден был для этой цели прибегнуть к дополнительным исследованиям — провести определение отношения среднего размера зерен кварца и одного из тяжелых минералов (граната или магнетита), которое различно в разных средах (согласно Энгельгардту)—воздушной (2,56) и водной (1,96).

И. Холлс (Halls, 1967) при изучении им современных и плейстоценовых песков, собранных на побережье Австралии, провел определение статистических параметров графическим методом и методом моментов. Однако эти работы не дали четкой дифференциации различных обстановок осадконакопления. Вероятно, поэтому некоторые исследователи применяют одновременно несколько методик, в том числе методику Д. Дугласа и Р. Пассега (Passega, 1964)¹. Так поступают Сиприа Сенгупта (Sengupta, 1967) при изучении песчаников и алевролита Гондваны, а также А. Риццини и Г. Боргетти (Rizzini, Borgetti, 1967), исследовавшие осадки различного генезиса бассейна р. По — русловые, лагунные, дюнные, пляжевые, баров.

Б. Саху (Sahu, 1964a, 1964b) исследовал 203 образца крупнозернистых кластических осадков (гравий, песчаники, алевролиты, конгломераты и т. д.). Из них: пляжевых — 99, эоловых — 52, мелководноморских — 25, дельтовых — 12, турбидных потоков — 13. Для каждого образца были определены статистические параметры M_p , s_p^2 , S_r , K_g , ко-

¹ Методика Р. Пассега подробно изложена в работе С. Г. Саркисяна, А. П. Розниковой и Т. В. Хорошиловой (1968).

торые затем были использованы для многомерного дискриминантного анализа. Выяснилось, что стандартные отклонения дискриминантных функций уменьшаются в следующей последовательности для обстановок осадконакопления: эоловая, пляжевая, мелководноморская, флювиальная (дельтовая) и турбидных потоков.



Фиг. 2. Эмпирический график для дифференциации различных обстановок осадконакопления (Sahu, 1964)

1 — турбидные отложения; 2 — дельтовые отложения; 3 — мелководноморские отложения; 4 — пляжевые отложения; 5 — эоловые отложения

Стандартное отклонение асимметрии показало значительное перекрытие в процессах и обстановках отложения, и поэтому этот фактор не применялся для интерпретации. Были использованы различные комбинации стандартных отклонений трех других статистических параметров, и наилучшую дифференциацию между различными процессами и обстановками осадконакопления удалось получить с помощью эмпирического графика (фиг. 2). Этот график строится на двойной логарифмической бумаге. На ось ординат нанесено среднее стандартное отклонение всех образцов в шкале фи ($\sqrt{\sigma_1^2}$), а на ось абсцисс отношение $\frac{Sk_k}{SM_z} \cdot S(\sigma_1^2)$, где Sk_k — стандартное отклонение кру-

тизны (kurtosis), SM_z — стандартное отклонение среднего размера (M_z), σ_1^2 — дисперсия всех образцов. Именно эта комбинация стандартного отклонения с тремя остальными статистическими параметрами дала наилучшие результаты, позволяющие дифференцировать процессы седиментации и различать обстановки осадконакопления. Попытки комбинировать другие параметры популяций (\bar{M}_z , \bar{S}_k и \bar{K}_G) не привели к более четкой дифференциации. На этом графике (см. фиг. 2) показаны также общие направления уменьшения энергии и текучести (fluidity) — двух основных факторов, которые, по мнению автора, определяют особенности механического состава кластических пород, отложившихся в той или иной среде. Первый фактор зависит от наличия течений, волнения, турбулентных потоков и т. д. в месте отложения осадка, второй — от плотности и вязкости среды осадкообразования. Границы между процессами и обстановками осадконакопления проведены визуально.

Г. Ф. Рожков и З. М. Трофимова (1968) описали способ вычисления первых четырех статистических моментов по весовым данным и в пересчете «а количество зерен с помощью машины типа БЭСМ-3М. Эти данные используются для определения эмпирических полигонов распределе-

ния (ЭПР), которые имеют различный вид для осадков, сформированных в разных фациальных условиях.

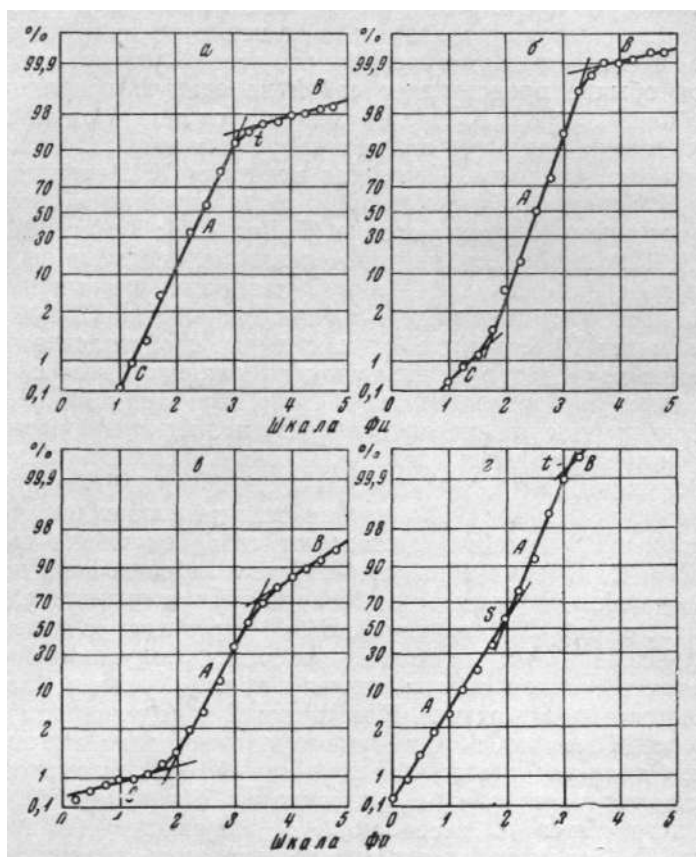
В последние годы широкое развитие получило изучение распределения размеров частиц в осадках для выявления особенностей процессов седиментации. Вначале исследования базировались на предположении о том, что распределение размеров частиц в осадке происходит по логарифмически-нормальному закону, и отклонения от этого закона не учитывались. Позднее было установлено, что это отклонение связано с тем, что осадок обычно представляет собой не единую популяцию, а смесь двух или более популяций, формирование которых обусловлено различными процессами; при этом каждая популяция имеет логарифмически-нормальное распределение. Применяв методику И. Гардинга (Harding, 1949) или В. Таннера (Tanner, 1959), можно определить процентное содержание этих компонентов в осадке (Fuller, 1961; Fuller, 1962; Spencer, 1963 и др.). Так, А. Фуллер, изучая морские мелководные пески, собранные им на побережье Южной Африки, установил, что кривые распределения этих песков отклоняются от логарифмически-нормального закона. Используя метод И. Гардинга, он нашел, что это отклонение — результат смешения двух популяций, каждая из которых имеет логарифмически-нормальное распределение. Д. Спенсер (Spencer, 1963) показал, что большинство кривых распределения представляет собой сложные смеси из двух или трех основных логарифмически-нормально распределенных популяций осадка.

А. Мосс (Moss, 1962, 1963), изучая осадки, отложившиеся в водной среде, установил, что они представляют собой смешение трех популяций — А, В и С, которые образуют четыре типа осадочных пород, представляющих собой различные комбинации этих популяций. Образование популяции А связано с сальтацией, В — с переносом во взвешенном состоянии (суспензия) и С — с волочением по дну. Популяция А составляет большую часть осадков, отложившихся в водной среде, и может слагать целиком пляжевые отложения. Популяция В в подчиненном количестве входит в состав осадков, образование которых связано с течениями, и ее присутствие является диагностическим признаком действия течений, потоков. Она встречается лишь, в ассоциации с популяцией А. Популяция С встречается в ассоциации с популяцией А и обычно с популяцией В. Она может составлять минимальную фракцию осадка или формировать более чем половину его.

Г. Вишер (Visher, 1967) считает, что изучение распределения размеров зерен помогает выявлению нескольких логарифмически-нормальных популяций, а смешение этих популяций может служить индикатором особенностей процессов седиментации. На основании изучения нескольких сотен образцов современных и в меньшей степени древних осадков Г. Вишер выделил 4 типа распределения размеров зерен (фиг. 3), характерных для различных обстановок осадконакопления. Первый тип распределения (фиг. 3, а) характерен для современных и древних речных отложений; второй (фиг. 3, б) — для мелководноморских песков, в формировании которых большую роль играет действие волн; третий (фиг. 3, в) — для золотых (дюны) и четвертый (фиг. 3, г) — для пляжевых отложений. Особенности этих типов распределений связаны с наличием или отсутствием популяций А, В и С, их количественными соотношениями, колебаниями в размерах зерен для популяций А и В), сортировкой и т. д. Так, первый тип распределения состоит только из двух популяций — А и В. Для них характерны большие колебания в размерах зерен (для популяции А 1—3 фи, для популяции В $3\frac{1}{4}$ — $4\frac{3}{4}$ фи) и резкий переход между ними в точке t . Во втором и третьем типах распределений присутствуют три, а в четвертом — два вида популяций. Особенности этих типов обусловлены преобладанием материала одной популяции (как во втором типе) или различными переходами от одной

популяции к другой, а также различными уклонами популяций А и В, отражающими степень сортировки.

Кривая распределения может быть использована также для выявления особенностей в процессе седиментации в осадках, которые сформированы материалом, поступившим из различных источников. В та-

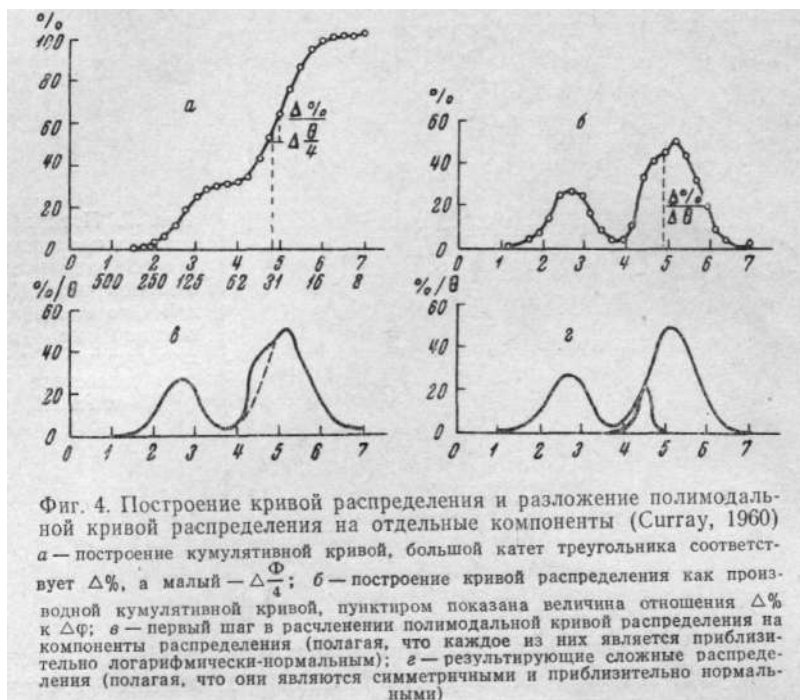


Фиг. 3. Четыре типа распределения размеров зерен, характеризующих различные обстановки осадконаполнения (Visher, 1967)

a — современные и древние речные отложения; *б* — мелководноморские пески; *в* — эоловые отложения; *г* — пляжевые отложения

ких многокомпонентных осадках Дж. Керрей (Curraу, 1960) предлагает выделять моды, связанные с различными по генезису компонентами, а затем проследить географическое распределение этих компонентов в осадке. Для каждого образца строится сначала кумулятивная кривая (фиг. 4, *a*). На оси абсцисс откладывается диаметр частиц в единицах фи, а по оси ординат — процентное содержание фракций. Затем строится кривая распределения как первая производная от этой кумулятивной кривой. По ряду соображений (неоправданно высокая точность, большая затрата времени и т. д.) Дж. Керрей отказался от известных методов и предложил свой метод, который состоит в том, что берется только первая разность при получении приближенного значения производной, соответствующая интервалу постоянной длины $\frac{1}{4}$ фи. Эта величина откладывается на оси абсцисс, а по оси ординат — отношение приращения кумулятивного процента к соответствующему приращению диаметра частиц $\Delta\%/\Delta\phi$. Полученные точки соединяются на глаз плавной кривой (фиг. 4, *б*). Положение моды на кривой распределения вычисляется с точностью до $1/10$ фи. Надо соблюдать осто-

рожность, чтобы не провести моду там, где приходят в соприкосновение результаты различных методов анализа, например там, где данные ситового дополняются данными пипеточного анализа. Далее полимодальная кривая может быть разложена на компоненты с нормальным (гаусовским) распределением. Это можно сделать с помощью ЭВМ, а при отсутствии ее — на глаз (фиг. 4, *виг*). Относительное количе-

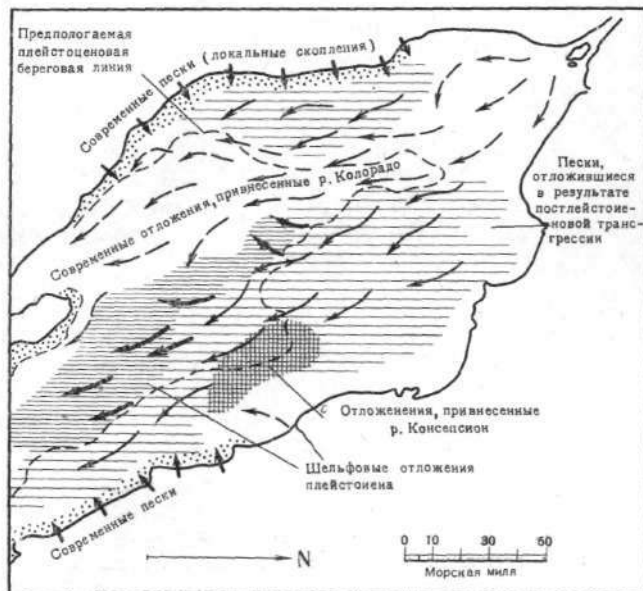


Фиг. 4. Построение кривой распределения и разложение полимодальной кривой распределения на отдельные компоненты (Сиггау, 1960) а — построение кумулятивной кривой, большой катет треугольника соответствует $\Delta\%$, а малый — $\Delta\frac{\Phi}{4}$; б — построение кривой распределения как производной кумулятивной кривой, пунктиром показана величина отношения $\Delta\%$ к $\Delta\Phi$; в — первый шаг в расчленении полимодальной кривой распределения на компоненты распределения (полагая, что каждое из них является приблизительно логарифмически-нормальным); г — результирующие сложные распределения (полагая, что они являются симметричными и приблизительно нормальными)

ство каждого компонента пропорционально площади, находящейся под каждой кривой распределения. В дальнейшем каждая кривая распределения может быть описана с помощью статистических параметров (среднее арифметическое, стандартное отклонение и др.). Если распределение действительно нормальное, то среднее арифметическое совпадает с модой. Определенные таким образом моды автор классифицирует, выделяя среди них несколько групп, которые отражают основные черты распределения главных компонентов в осадке, и прослеживает их географическое распределение.

Среди современных осадков северо-западной части Мексиканского залива Дж. Керрей выделил 4 типа мод и проследил их распределение. I и II типы принадлежат к двум основным видам песков, распространенным на шельфе. Образование их связано с разными источниками сноса и происходило в различные этапы трансгрессии, которая наступила после висконсинского оледенения. Между этими двумя типами существует небольшое перекрытие, подтверждающее независимое распределение и постседиментационное смешение осадков. III и IV типы мод связаны с шельфовыми фациями илов, отложение которых происходило в течение голоценовой трансгрессии и в посттрансгрессионный период. Между этими четырьмя типами наблюдается перекрытие, свидетельствующее о том, что массы осадка распределялись независимо и впоследствии смешивались. Метод Дж. Керрея был применен Т. Ван-Анделом (Van Andel, 1964) при изучении им современных осадков Калифорнийского залива (фиг. 5). При этом выяснилось, что в северной части Калифорнийского залива наиболее крупнозернистые моды приурочены к осадкам, залегающим близ гористых берегов, и связаны главным образом с источниками сноса. На распределение мод оказало

влияние также поступление материала, который привносится реками Колорадо и Консепсион, а также низкое стояние уровня в плейстоцене и трансгрессия в постплиоцене. В центральной и южной частях Калифорнийского залива в общем существует зависимость в распределении преобладающих мод с увеличением глубины и расстояния от берега, хотя иногда наблюдаются аномалии, не всегда объяснимые.



Фиг. 5. Предполагаемые условия транспортировки и отложения осадков в северной части Калифорнийского залива, основанные на изучении структурных особенностей и состава осадков (Van Andel, 1964)

Проведенный нами обзор показывает важную роль гранулометрического состава осадков в дифференциации различных обстановок осадконакопления, в их диагностике. Наряду с широко распространенным в СССР методом построения кумулятивных кривых с использованием арифметических процентных отношений по шкале ординат можно рекомендовать построение кривых с применением вероятностных процентов.

Вычисление гранулометрических коэффициентов по способу Бекера и по методу квартилей нельзя считать удовлетворительным.

Большое значение имеет изучение распределения размеров зерен в осадках. Оно позволило установить в них наличие одной или более логарифмически-нормальной популяции и использовать смещение этих популяций в качестве индикаторов обстановки осадконакопления. Статистические параметры, применяемые для этой цели, по-видимому, не всегда дают четкую дифференциацию.

В многокомпонентных осадках, материал которых сформирован вследствие поступления из различных источников сноса, большой интерес представляет выделение мод и изучение их географического распределения.

Батурин В. П. Петрографический анализ геологического прошлого по терригенным компонентам. Изд. АН СССР, Л., 1947.

Вистелиус А. Б. О состоянии обработки литологических наблюдений и методах ее улучшения. Изв. АН СССР. Сер. геол., № 3, 1951.

Кленова М. В., Попов П. Г. Интерпретация данных механического анализа. Тр. Гос. океаногр. ин-та, 5/17, 1948.

Лившицын А. П. К обработке результатов механического анализа морских осадков. Тр. Ин-та океанол., т. 19, 1956.

Рожков Г. Ф., Трофимова З. М. Способ статистической обработки гранулометрических данных на электронной вычислительной машине (ЭВМ). Литол. и полезн. ископ., № 2, 1968.

- Рухин Л. Б. Гранулометрический метод изучения песков. Изд. ЛГУ, 1947.
- Рухин Л. Б. Основные понятия о статистической обработке фактических данных. Методы изучения осадочных пород, т. I, Госгеолтехиздат, М., 1957.
- Саркисян С. Г., Розникова А. П., Хорошилова Т. В. Некоторые методы графического изображения гранулометрического состава применительно к нефтегазонасыщенным породам Западно-Сибирской низменности. Геология и нефтегазоносность центральной части Западно-Сибирской низменности. «Наука», М., 1968.
- Юл. Дж. Э. и Кендэл М. Д. Теория статистики. Госстатиздат, М., 1960.
- Сиргау J. R. Tracing sediment masses by grain size modes. Report of the Twenty-First Session Norden, International Geological Congress. Copenhagen, 1960.
- Doeglas D. J. Interpretation of the results of mechanical analyses. J. Sediment. Petrol., v. 16, No. 1, 1946.
- Folk R. L. A review of grain-size parameters. Sedimentology, v. 6, No. 2, 1966.
- Folk R. L., Ward W. S. Brazos river bar: a study in the significance of grain size parameters. J. Sediment. Petrol., v. 27, No. 1, 1957.
- Friedman G. M. Distinction between dune, beach and river sands from their textural characteristics. J. Sediment. Petrol., v. 31, No. 4, 1961.
- Fuller A. O. Size distribution characteristics of shallow marine sands from the Cape of Good Hope, South Africa. J. Sediment. Petrol., v. 31, No. 2, 1961.
- Fuller A. O. Systematic fractionation of Sand in the shallow marine and beach environment of the South African coast. J. Sediment. Petrol., v. 32, No. 3, 1962.
- Gees R. Moment measures in relation to the depositional environments of sands. Ecologiae geol. Helv., v. 58, No. 1, 1965.
- Halls J. R. Significance of statistical parameters for distinguishing sedimentary environments in New South Wales. Australia. Доклады и тезисы, представл. на VII Междунар. седиментол. конгресс. Великобритания, 1967.
- Harding J. P. The use of probability paper for the graphical analysis of polymodal frequency distributions. J. Marine Biol. Assoc. U. K., v. 28, No. 1, 1949.
- Inman D. Z. Measures for describing the size distribution of sediments. J. Sediment. Petrol., v. 22, No. 3, 1952.
- Kruit C. Sediments of the Rhone delta. Grain size and microfauna, Verhand. V. H. K. Nider. geol.-myn. genoot. Geol. ser. D-15. St. 3. Gravenhague, 1955.
- Krumbein W. C. Graphic presentation and statistical analysis of sedimentary data Recent Marine Sed. (symposium). Soc. Econ. Paleont. and Mineral, 1955.
- Krumbein W. C. and Ester Aberdeen. The sediments of Barataria bay. J. Sediment. Petrol., v. 7, No. 1, 1937.
- Krumbein W. C. and Pettijohn F. J. Manual of sedimentary petrography, N.-Z.-Z., Appletoncentury, 1938.
- McManus. Dean A. A. study of maximum load for small-diameter sieves. J. Sediment. Petrol., v. 35, No. 4, 1965.
- Martins L. K. Significance of skewness and kurtosis in environmental interpretation. J. Sediment. Petrol., v. 3, No. 3, 1965.
- Mason C. C. and Folk R. L. Differentiation of beach, dune and aeolian flat environments by size analysis, Mustang Island, Texas. J. Sediment. Petrol., v. 28, No. 2, 1958.
- Moss A. J. The physical nature of common sandy and pebbly deposit. Amer. J. Sci., v. 260, No. 5, 1962; v. 261, No. 4, 1963.
- Otto G. H. A modified logarithmic probability graph for the interpretation of mechanical analyses of sediments. J. Sediment. Petrol., v. 9, No. 2, 1939.
- Passega R. Grain size representation by CM patterns as a geological tool. J. Sediment. Petrol., v. 34, N 4, 1964.
- Rizzini A., Borgetti G. Grain sorting by fluvial transport. Доклады и тезисы, представленные на VII Междунар. седимент. конгресс. Великобритания, 1967.
- Sahu B. K. Depositional mechanismus from the size analysis of clastic sediments. J. Sediment. Petrol., v. 34, No. 1, 1964a.
- Sahu B. K. Significance of the size distribution statistics in the interpretation of depositional environments. Res. Bull. Panjab. Univ., v. 15, No. 34, 19646 (1965).
- Sengupta S. Grain-size frequency distribution as indicator of depositional environment in some Gondwana rocks. Доклады и тезисы, представленные на VII Междунар. седиментол. конгресс. Великобритания, 1967 г.
- Spencer D. W. The interpretation of grain size distribution curves of clastic sediments. J. Sediment. Petrol., v. 33, No. 1, 1963.
- Tanner W. F. Simple components obtained by the method of differences. J. Sediment. Petrol., v. 29, No. 3, 1959.
- Van Andel Tj. H. and Postma H. Recent sediments of the gulf of Paria. Reports of the Orinoco shelf Expedition, v. 1, Kon. Neder. Acad. Wetensch, Verh. v. 20, No. 5, 1954.
- Van Andel Tj. H. Recent marine sediments of gulf of California. Marine geology of California a symposium, memoir NO3. The American Association of Petroleum geologists, 1964.
- Visher G. S. Grain size distributions and depositional processes. Доклады и тезисы, представленные на VII Междунар. седимент. конгресс. Великобритания, 1967.