

УДК 0.01:552.5

Н.А. ГРАБЕЦКАЯ

**ГРАВИТАЦИОННАЯ ДИФФЕРЕНЦИАЦИЯ МАТЕРИАЛА
КАК КРИТЕРИЙ ВОССТАНОВЛЕНИЯ УСЛОВИЙ ОСАДКОНАКОПЛЕНИЯ**

В статье рассматриваются особенности гравитационной дифференциации материала в отложениях различной генетической и фациальной принадлежности. Под гравитационной дифференциацией понимается соотношение между весом легких и тяжелых минералов в различных классах гранулометрического спектра.

Вопросам соотношения содержаний легких и тяжелых минералов в разных гранулометрических фракциях аллювия и прибрежно-морских осадков посвящены работы Л.Б. Рухина (1947), В.Н. Шванова (1964), Б.М. Осовецкого (1978). Выяснением условий концентрации тяжелых минералов разного диаметра в различных гидродинамических условиях занимались А.А. Аксенов с соавт. (1965), А.И. Имшенецкий (1959), В.Е. Рясина (1961), В.С. Трофимов (1963), А.А. Лазаренко (1964), З.В. Осипова (1967), Н.С. Окнова (1977). Основные положения этих работ заключаются в следующем:

1. Разница медианных размеров легких и тяжелых минералов (коэффициент смещения) отличается в субаэральных и субаквальных отложениях.

2. Накопление тяжелых минералов происходит преимущественно в одной или нескольких близких размерных фракциях и различается в осадках разного происхождения: в прибрежно-морских фациях это группа фракций размером 0,5—0,05 мм, в аллювии — 0,25—0,01 мм.

Данные по содержанию тяжелых минералов в разных гранулометрических фракциях гляциальных отложений приведены в работах А.В. Раукаса (1978), С.Д. Астаповой (1978), В.И. Ярцева (1978). Эти исследователи отмечают незначительные колебания содержаний тяжелых минералов по гранулометрическому спектру с плохо выраженным пиком в одной из песчаных или алевритовых фракций.

Нами при изучении кайнозойских отложений приморских низменностей Северо-Востока СССР была разработана методика комплексного литологического анализа (Грабцкая, 1980, 1983), в которую входило изучение характера распределения величины выхода тяжелых фракций — ВТФ по пяти классам крупности (от 1 до 0,01 мм). Кроме того, в составе тяжелых фракций каждого класса крупности определялся коэффициент гравитационного накопления — КГН (отношение числа зерен минералов с плотностью выше $3,6 \text{ г/см}^3$ к таковым с плотностью $2,9\text{—}3,4 \text{ г/см}^3$). В дальнейшем эта методика была применена для изучения ледниковых отложений центра Русской равнины, водно-ледниковых и бассейновых осадков на севере Западной Сибири и единичных образцов из других районов Севера. Всего по этой методике было обработано более тысячи образцов¹. В их число входили различные фации современных

¹ Большая часть из них — лично автором. Образцы ледниковых и водно-ледниковых отложений центра ЕТС были проанализированы и результаты анализа интерпретированы Л.А. Ссеновой под руководством автора. Результаты минералогического анализа отложений Полярного Урала и северного побережья Таймыра были любезно предоставлены автору В.М. Крупником.

осадков и древние (от миоценовых до верхнеплейстоценовых) отложения разного генезиса. Сравнение показало близкий характер распределения ВТФ и КГН по классам крупности в древних и современных отложениях одного и того же генезиса из разных районов. На основании средних арифметических значений ВТФ и КГН в каждом из пяти классов крупности отложений одного и того же твердо установленного генезиса были построены кривые распределения ВТФ и КГН, несущие определенную генетическую информацию. Дальнейшие исследования показали, что тонкие различия в характере кривых, наблюдаемые в осадках одного генезиса, обусловлены их принадлежностью к разным фациям, а в некоторых случаях — геоморфологической обстановкой. Сравнение с этими "эталонными" кривыми кривых, полученных для отложений неясного генезиса, позволило, используя и комплекс других литологических показателей (Грабецкая, 1983), высказать предположение о их генезисе (Грабецкая, 1980, 1986; Грабецкая и др., 1982, 1983а, б).

К сожалению, механизм формирования особенностей распределения ВТФ и КГН по классам крупности не всегда ясен, нуждается в дальнейшем осмыслении и экспериментальной проверке. Предлагаемые кривые носят эмпирический характер, но полученные с их помощью выводы подтверждаются всем комплексом литологических показателей, геоморфологическими и палеогеографическими данными.

На рис. 1 показана группа кривых, характерных для отложений, сформированных под воздействием гидродинамических факторов: аллювия, морских и озерных осадков.

Для русловой фации аллювия небольших рек Яно-Индибирской, Колымкой и Валькарайской низменностей на кривой ВТФ характерен пик во фракции 0,25—0,1 мм (рис. 1, III). Кривая КГН начинается с фракции 0,25—0,01 мм, так как в более крупных фракциях минералы с плотностью более 3,6 г/см³ отсутствуют. На кривой КГН наблюдается два пика: резкий — во фракции 0,05—0,01 мм, вообще характерный для отложений приморских низменностей Северо-Востока СССР с их незначительными уклонами и ослабленной динамической активностью, и менее четко выраженный — во фракции 0,25—0,1 мм, аналогичный пику на кривой ВТФ.

Для аллювиально-дельтовых осадков этих районов и перигляциального аллювия высоких террас Волги в районе Ржева (рис. 1, V и VI), так же как и для озерных отложений Колымской низменности (рис. 1, VII), характерен пик ВТФ и КГН во фракции 0,1—0,05 мм. Очевидно, аллювий выше зоны подпора морем или озеровидным расширением долины находится в зоне ослабленной динамики. Эта особенность сохраняется и при повышенных абсолютных значениях ВТФ и КГН в перигляциальном аллювии Волги.

К этой же группе относятся кривые распределения ВТФ и КГН в отложениях едомы¹ Колымской низменности (рис. 1, VIII), что позволяет говорить об их формировании в условиях аллювиальных разливов, что согласуется с точкой зрения, высказанной А.И. Поповым (1983).

Отложения пойменной фации некоторых притоков Колымы в ее низовьях на кривых ВТФ и КГН имеют пик во фракции 0,05—0,01 мм (рис. 1, IX).

Таким образом, характер распределения ВТФ указывает на фациальную принадлежность аллювия. Характер кривых КГН, слабее отражая фациальную принадлежность, свидетельствует о динамической активности водного потока, возможно связанной с неотектоникой.

Проанализированные нами несколько образцов горного аллювия Полярного Урала (рис. 1, X) отличаются высокими абсолютными значениями ВТФ и КГН, что может быть следствием как высокого содержания тя-

¹ Верхнеплейстоценовые льдистые лёссовидные образования.

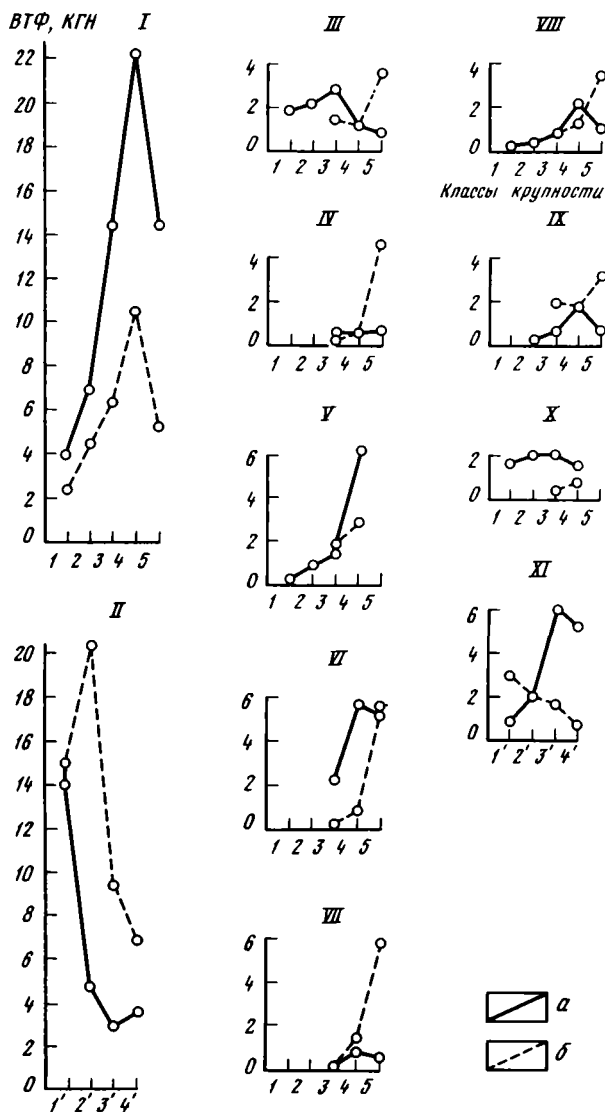


Рис. 1. Характер распределения гравитационных показателей по классам крупности в отложениях, сформированных под влиянием гидродинамических факторов

a — ВТФ, *б* — КГН. На рис. 1—4 классы крупности (в мм): 1—5 — образцы отложений Северо-Востока СССР, Русской равнины, Западного Забайкалья: 1 — 1—0,5; 2 — 0,5—0,25; 3 — 0,25—0,1; 4 — 0,1—0,05; 5 — 0,05—0,01. 1'—4' — образцы отложений Полярного Урала, Таймыра: 1' — 1—0,3; 2' — 0,3—0,1; 3' — 0,1—0,03; 4' — 0,03—0,01.

Генетические типы отложений: I — перигляциальный аллювий; II — горный аллювий; III — русловая фация аллювия; IV — пойменная фация аллювия; V — аллювиально-дельтовые; VI — озерные; VII — едома Колымской низменности; VIII — морские в зоне активного волнового воздействия; IX — то же, в зоне течения; X — то же, в условиях ослабленной динамики; XI — ледово-морские (?)

железных минералов в материнских основных и ультраосновных породах, так и мощности потока. Смещение пика на кривой ВТФ во фракцию 1—0,3 мм также свидетельствует о динамической активности водотока. По данным В.И. Ярцева (1978), в аллювии рек Белоруссии на участках тектонических поднятий пик ВТФ смещается в сторону крупных фракций. Пик на кривой КГН про-

слеживается во фракции 0,3—0,1 мм, т.е. остается характерным для русловой фации аллювия.

Современные и верхнеплейстоценовые морские осадки изучались в проливе Лонга (Грабецкая, Павлидис, 1982), в акватории и на побережье Ванькиной губы моря Лаптевых (Грабецкая, 1986); современные, среднеплейстоценовые и плиоцен-нижнеплейстоценовые — на побережье Валькарайской низменности Чукотки (Грабецкая, 1980).

Для современных и верхнеплейстоценовых осадков в зоне активного волнового воздействия в субаквальных условиях и на пляже, а также в зоне течений характерен пик ВТФ во фракции 0,1—0,05 мм. Кривые КГН имеют пик во фракции 0,05—0,01 мм, а на участках течений еще и дополнительный слабый пик во фракции 0,25—0,1 мм — показатель формирования осадков в текучей среде (рис. 1, VIII, IX).

Морские осадки в зоне ослабленной динамики (акватория Ванькиной губы, пролив Лонга) характеризуются отсутствием четко выраженного пика на кривой ВТФ и наличием слабого цика во фракции 0,1—0,05 мм на кривой КГН (рис. 1, X), что указывает на наличие волновой гравитационной дифференциации материала. Аналогичный характер кривых типичен для среднеплейстоценовых отложений энмакайской свиты Чукотки (Грабецкая, 1980). Несмотря на присутствие морской фауны, некоторые литологические признаки (бедный минералогический спектр, сильная выветрелость и наличие глинистых пленок на поверхности обломочных зерен) свидетельствуют о первоначально субазальных условиях формирования свиты. После затопления морем она подвергалась слабому волновому воздействию, которое выразилось лишь в повышении значений КГН во фракции 0,1—0,05 мм.

Таким образом, пик во фракции 0,1—0,05 мм на кривой ВТФ является показателем формирования осадков в бассейне. Собственно морской генезис осадка устанавливается на основании других показателей (Грабецкая, 1980, 1983; Грабецкая, Павлидис, 1982). Характер кривых КГН указывает на фациальные условия осадконакопления. Небольшие абсолютные значения ВТФ и КГН во всех изученных нами типах морских осадков свидетельствуют о кратковременности волнового воздействия на осадки, так как арктические бассейны большую часть года покрыты льдом.

Представляет интерес изучение характера кривых ВТФ и КГН в плохо сортированных суглинках неясного генезиса, развитых на северном побережье Таймыра. Анализ минералогического состава нескольких образцов по нашей методике дал своеобразные кривые (рис. 1, XI). Кривая ВТФ достаточно определенно говорит о морском генезисе осадков; характер кривой КГН напоминает кривые ВТФ и КГН склоновых отложений (см. ниже), что наряду с преобладанием в минералогическом спектре слабоустойчивых к выветриванию и гипергенных минералов свидетельствует о значительном поступлении в море несортированного материала с суши (айсберги?). Поскольку генезис осадков определяется характером ВТФ, можно предположить, что это в большей степени "морские" осадки, чем отложения энмакайской свиты.

К другой группе изученных нами субаквальных осадков принадлежат отложения, сформировавшиеся в динамически малоактивных, "застойных", условиях при интенсивно протекающих процессах гипергенного минералообразования. Это озерно-болотные современные и верхнеплейстоценовые отложения северной Якутии (рис. 2, I), современные и миоцен-плиоценовые лагунные отложения Валькарайской низменности Чукотки (рис. 2, II), донные илы Баренцева моря (рис. 2, III). На кривых ВТФ этих осадков четко выражен пик во фракциях 1—0,25 мм, представленных преимущественно гипергенными минералами. Второй пик прослеживается во фракции 0,05—0,01 мм, в которой преобладают обломочные минералы.

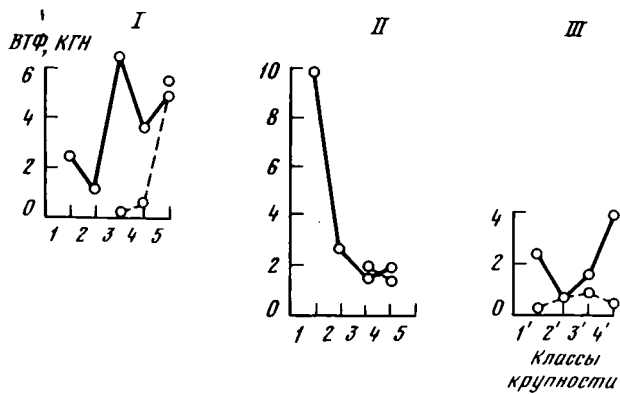


Рис. 2. Характер распределения гравитационных показателей по классам крупности в условиях интенсивного гипергенного минералообразования при подчиненной роли гидродинамических факторов
 Генетические типы отложений: I — озерно-болотные; II — лагунные; III — донные илы

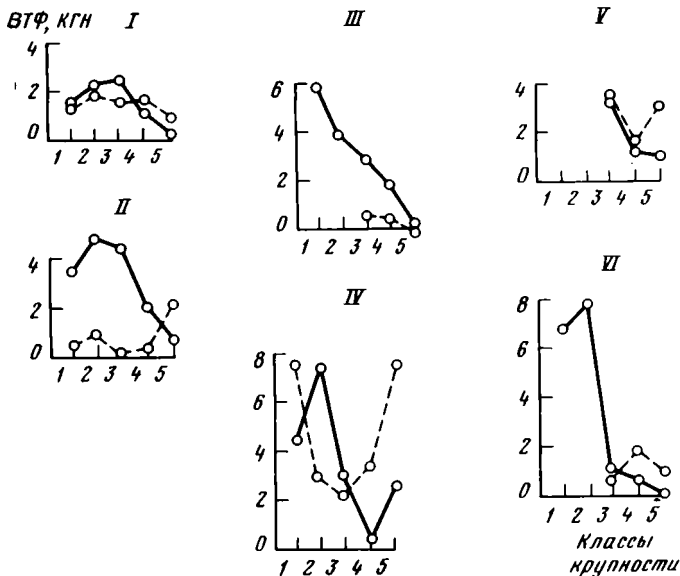


Рис. 3. Характер распределения гравитационных показателей по классам крупности в отложениях, сформировавшихся под воздействием процессов выветривания и латерального перемещения

Генетические типы отложений: I — кора выветривания; II — элювий; III — склоновые; IV — склоновые с горизонтами грунтовых вод; V — отложения склоновых шлейфов; VI — едома северо-запада Якутии

Выделяется также группа кривых распределения ВТФ и КГН, характерных для отложений, сформировавшихся в субэдральных условиях — в предгорьях, окаймляющих приморские низменности Северо-Востока СССР, на Полярном Урале, в Западном Забайкалье (Грабецкая, 1980; Грабецкая и др., 1983а, б). Это нижние горизонты площадных кор и линейные коры выветривания изверженных пород, современный элювий осадочных пород, современные склоновые отложения на разных породах, морена горного зырянского и сартанского оледенений. Эти отложения имеют близкий характер кривых ВТФ и КГН, что свидетельствует о формировании их под воздействием одних и тех же агентов — дезинтеграции и латерального перемещения. Кривые ВТФ и КГН лишены

четких пиков во фракциях 0,25—0,5,05 мм (рис. 3, I—V), что объясняется отсутствием гравитационной сепарации. В целом, наблюдается уменьшение значений ВТФ и КГН от крупных фракций к мелким, наиболее четко выражено в склоновых отложениях (рис. 3, III), наименее — в корях выветривания (рис. 3, I). Пик во фракции 0,05—0,01 мм в элювии (рис. 3, II), ВТФ и КГН в склоновых образованиях (рис. 3, IV) имеет эпигенетическое происхождение — это результат гравитационной сепарации в грунтовых и надмерзлотных водах, а также в постшлюфовых полостях. Накопление тяжелых минералов у кровли вечной мерзлоты отмечалось и ранее (Логинова, 1977). Так как этот пик указывает на водонасыщенность склоновых отложений, он может служить показателем неустойчивости склонов. Крупные размеры тяжелых минералов (пик ВТФ во фракциях крупнее 0,1 мм) связаны с близостью коренных пород и их слабой дезинтеграцией.

Кривые распределения ВТФ и КГН отложений склоновых шлейфов (рис. 3, V) на первый взгляд напоминают кривые распределения руслового аллювия (см. рис. 1, III). Отложения у подножия склона сопки на Чукотке отличаются более разнообразным минеральным спектром, чем материал, лежащий выше по склону, и хорошей окатанностью минеральных зерен (Грабецкая и др., 1983б). Возможно, что это отложения предгорной равнины или временного водотока, ее дренирующего. С другой стороны, отложения склонового шлейфа на Колымской низменности, сложенные заведомо местным материалом, имеют аналогичный характер кривых ВТФ и КГН. Фракция крупнее 0,25 мм в отложениях склонового шлейфа вообще отсутствует, так что, вероятно, именно этим можно объяснить различия между кривыми V (склоновый шлейф), III, и IV (склоновые отложения) на рис. 3. Пик КГН, а иногда и ВТФ во фракции 0,05—0,01 мм свидетельствует как о слабом перемыве, так и о наличии горизонта грунтовых (намерзлотных) вод.

К этой же группе кривых относятся кривые распределения ВТФ и КГН едомы в районе Ванькиной губы моря Лаптевых (рис. 3, VI). Кривая ВТФ аналогична кривой, характерной для склоновых отложений. На кривой КГН прослеживается четкий пик во фракции 0,1—0,05 мм ("озерный"). Не останавливаясь в данной работе на таких сложных и спорных вопросах, как источник материала едомы, способы его транспортировки и условия седиментации, укажем только, что характер кривых свидетельствует о значительных латеральных перемещениях, которым подверглись отложения в процессе седиментации. Сочетание этих условий может иметь место при заполнении термокарстовых озер в результате частичного вытаявания жильного льда. Это предположение согласуется с точкой зрения В.Н. Конищева (1975) об "аласном" происхождении якутской едомы. Сравнение кривых ВТФ и КГН североякутской и колымской едомы говорит об их формировании (или переотложении) в совершенно различных условиях: на Колымской низменности — многократный перемыв блуждающими, медленно текущими водотоками, впадающими в проточные и непроточные озера¹, а в районе Ванькиной Губы — латеральное перемещение по пологим склонам с формированием термокарстовых озерков на месте частичного вытаявшего жильного льда.

Рассмотрим характер кривых ВТФ и КГН гляциальных и флювиогляциальных отложений. Как уже говорилось выше, морена горных ледников Полярного Урала отличается отсутствием четких закономерных пиков на кривых ВТФ и КГН, но здесь нет и дефицита тяжелых минералов во фракциях мельче 0,1 мм, характерного для элювия, коры выветривания и части скло-

¹ Детальное изучение литологических особенностей и характера кривых ВТФ и КГН разрезов колымской едомы в обнажениях р. Чукочьей, Антохинский Яр, Дуваный Яр выявило значительную изменчивость этих показателей. На рис. 1, VII отражена интегрированная картина.

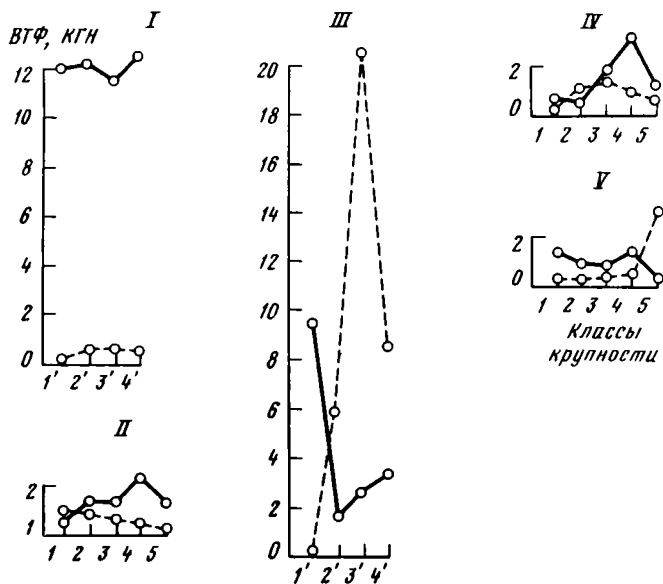


Рис. 4. Характер распределения гравитационных показателей по классам крупности в гляциальных и флювиогляциальных отложениях

Генетические типы отложений: *I* — морена в горах; *II* — морена на равнине; *III* — флювиогляциальные в горах; *IV* — флювиогляциальные на равнине; *V* — покровные суглинки

новых отложений (рис. 4, *I*). По-видимому, при таянии льда происходила очень слабая гравитационная сепарация (обогащение мелких фракций тяжелыми минералами), близкая по интенсивности к той, что происходит в горизонтах грунтовых вод.

Морены равнинных территорий (московская, реже днепровская района Ржева и Загорска) характеризуются отсутствием пиков на кривой КГН и близким его значением во всех классах крупности, наименьшим — в мелких фракциях. Кривая ВТФ имеет заметный пик во фракции 0,1—0,05 мм при близких значениях ВТФ в остальных классах крупности (рис. 4, *II*).

Водно-ледниковые отложения в горах (Полярный Урал) характеризуются пиком во фракции 1—0,3 мм на кривой ВТФ и 0,1—0,03 мм на кривой КГН (рис. 4, *III*). Кривые очень близки к кривым горного аллювия из этого же района, но смещение пика на кривой КГН в сторону мелких фракций свидетельствует об аллювиально-озерном режиме осадконакопления. Водно-ледниковые отложения на равнине имеют тот же характер кривой ВТФ, что и морена, залегающая с ними в одних разрезах (рис. 4, *IV*), но на кривой КГН заметен слабо выраженный пик во фракции 0,25—0,1 мм — показатель осадконакопления в текучих водах.

Несколько образцов покровных суглинков из центра и северо-востока ЕТС, проанализированных нами (рис. 4, *V*), имеют кривые ВТФ, близкие к кривой морены, являющейся исходной породой для покровных суглинков (Базилевская, Судакова, 1987). Заметный пик КГН во фракции 0,05—0,01 мм говорит или о выпадении осадка из взвеси в заболоченных озерах (рис. 2, *I*) в надмерзлотной верховодке (рис. 3, *II*, *IV*), или об очень слабом (периодическом?) перемыве осадков, аналогичном происходящему в пойменном аллювии (рис. 1, *IV*).

Приведенный материал свидетельствует о достоверности и информативности полученных нами эмпирических кривых. Кривые ВТФ и КГН часто неидентичны и характеризуют разные стороны процесса седиментации, что особенно важно для изучения полигенных отложений или осадков с невыясненным генезисом.

ABSTRACT

Methods of genesis definition and facies belonging of sediments are proposed in this article on the grounds of distribution character in heavy mineral contents in the granulometric fractions. The two group distributions of heavy minerals, with density 2.9—3.4 g/cm³ and over 3.6 g/cm³ are considered. As a result of the study more than a thousand samples of different age (mainly from the Asian North regions) the distribution curve of heavy minerals about the granulometric fractions had been plotted, typical for the sediments of different genesis. Study of sediments with incomprehensible origin permitted to understand of the condition for their forming.

ЛИТЕРАТУРА

- Аксенов А.А., Невеский Е.Н., Павлидис Ю.С., Шербаков Ф.А. Вопросы образования прибрежно-морских россыпей // Тр. Ин-та океанологии АН СССР. 1965. Т. 76. С. 70—74.
- Астапова С.Д. Особенности вещественного состава морен Белоруссии // Вещественный состав основных морен. М., 1978. С. 109—117.
- Базилевская Л.И., Судакова Н.Г. Зависимость литологии лёссов от подстилающих пород в центральной России // Вестн. МГУ. Сер. 5. География. 1987. N 1. С. 68—74.
- Грабецкая Н.А. О распределения тяжелых минералов по гранулометрическим фракциям в различных генетических типах отложений северной Якутии и Чукотки. Деп. в ВИНТИ, 1980, N 3768-80.
- Грабецкая Н.А. Литологические особенности кайнозойских отложений Валькарайской низменности и их палеогеографическая интерпретация. Деп. в ВИНТИ 14.11.80, N 4787-80. 16 с.
- Грабецкая Н.А. Новое в методике литолого-минералогического анализа кайнозойских отложений. Деп. в ВИНТИ. 24.06.83. N 3445-83. 13 с.
- Грабецкая Н.А. Литологические особенности кайнозойских прибрежных отложений района Ванькиной губы (море Лаптевых) // Геохимические исследования в лесных и тундровых ландшафтах. М.: Моск. гос. пед. ин-т, 1986. С. 71—81.
- Грабецкая Н.А., Павлидис Ю.А. Опыт применения комплексного литологического анализа для установления условий формирования осадков пролива Лонга (Чукотское море) // Проблемы геоморфологии, литологии и литодинамики шельфа. М.: Наука, 1982. С. 76—92.
- Грабецкая Н.А., Сорокина Е.П., Жбанов Э.Ф. Литологические особенности склоновых отложений зоны южной тайги (Западное Забайкалье) // Проблемы геохимии в географии, геологии, почвоведении. М.: Моск. гос. пед. ин-т, 1983а. С. 98—119.
- Грабецкая Н.А., Шурина Г.Н., Колесников С.Ф. Гипергенное преобразование минералов в элювии осадочных пород Чукотки // Почвоведение, 1983б. N 3. С. 90—103.
- Имшенецкий А.И. О концентрации тяжелых минералов в аллювии по данным экспериментальных работ // Сов. геология. 1959. N 7. С. 30—36.
- Концев В.Н. О происхождении льдистых алевроитов северной Якутии // II междунар. конф. по мерзлотоведению. Якутск. 1975. Вып. 8. С. 226—227.
- Лазаренко А.А. Литология аллювия равнинных рек гумидной зоны (на примере Днестра, Десны, Оки). М.: Наука, 1964. 236 с. (Тр. ГИН; Вып. 20).
- Логина И.Э. О гравитационной дифференциации тяжелых минералов в склоновых отложениях в связи с россыпеобразованием // Древние и погребенные россыпи СССР. Киев: Наук. думка, 1977. Ч. 1. С. 61—67.
- Окнова Н.С. К вопросу о выборе размерной фракции для минералогического анализа // Тр. Всесоюз. нефт. науч.-исслед. геол.-развед. ин-та. 1977. Вып. 311. С. 44—49.
- Осипова З.В. Об одном из способов обработки результатов минералогического анализа тяжелой фракции осадочных пород // Учен. зап. НИИГА. 1967. Вып. 7. С. 230—232.
- Осовецкий Б.М. К теории процесса накопления тяжелых минералов в песчаных осадках равнинных рек // Литология и полез. ископаемые. 1978. N 1. С. 31—63.
- Попов А.И. Об условиях формирования осадочно-криогенного (едомного) комплекса в плейстоцене на приморских равнинах субарктики // Проблемы криолитологии. Изд-во МГУ, 1983. Вып. XI. С. 19—35.
- Раукас А.В. Плейстоценовые отложения Эстонской ССР. Таллинн: Вилгус, 1978. 308 с.
- Рухин Л.Б. Гранулометрический метод изучения песков. Л.: Изд-во ЛГУ, 1947. 68 с.
- Рясина В.Е. О некоторых закономерностях распределения терригенных минералов в различных фациях современного аллювия р. Волги // Бюл. МОИП. Отд. геол. 1961. Т. 36. С. 106—114.
- Трофимов В.С. Условия образования дельтовых и прибрежно-морских россыпей полезных ископаемых // Дельтовые и мелководно-морские отложения. М.: Изд-во АН СССР, 1963. С. 89—96.
- Шванов В.Н. О распределении минералов в гранулометрических фракциях песков, отложенных водой и ветром // Вестн. ЛГУ. 1964. N 6. Сер. геол. и геогр. Вып. 1. С. 155—159.
- Ярцев В.И. Состав, распределение и особенности формирования тяжелой фракции антропогенных отложений Белоруссии: Автореф. дис. ... канд. геол.-минерал. наук. Минск, 1978. 23 с.