

ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ КАК ПОКАЗАТЕЛЬ УСЛОВИЙ ИХ ФОРМИРОВАНИЯ (на примере позднеплейстоцен-голоценовых осадков северной части Баренцево-Карского шельфа)

И.А. Андреева, В.В. Крупская

ВИИИОкеангеология, Санкт-Петербург

Проведен детальный литологический анализ верхнечетвертичных отложений двух районов северной окраины Баренцево-Карского шельфа - переуглубленного желоба Св. Анны и желоба Франц-Виктория. Позднеплейстоцен-голоценовые отложения желобов подразделены на три толщи (сверху вниз): толщу слоистых осадков с гидротроилитом, толщу турбидитоподобных осадков и толщу диамиктонов. Для каждой из них на основе степени гранулометрической дифференциации установлены типовые характеристики и выявлены особенности, зависящие от процессов седиментации. Отличия обусловлены формированием осадков в различных фациальных условиях в зависимости от морфологической структурной позиции, что дает возможность использовать их при генетической интерпретации. Показано, что входящие в состав толщ осадки различного генезиса: моренные, флювиогляциальные, гляциотурбидитовые, подводно-флювиальные, подводно-элювиальные, нефелоидные - имеют свои отличительные гранулометрические особенности. Установленные типовые характеристики толщ позволяют с большим основанием проводить сопоставление верхнечетвертичных отложений севера Баренцево-Карского шельфа, а выявленные особенности фракционного состава осадков дают возможность использовать их при генетической интерпретации.

Введение

В пределах акватории Баренцево-Карского шельфа присутствуют закономерно сменяющие друг друга литологические комплексы, отождествляемые с ледниковыми, ледниково-водными и водными формациями, что достоверно было выяснено благодаря изучению донных отложений позднеплейстоцен-голоценового возраста [*Биогеоценозы...*, 1996; *Мусатов, 1997; Гатауллин и др., 1997; Andreeva et al., 1999*]. Выявление общих литологических признаков и индивидуальных особенностей каждого из комплексов дает возможность более обоснованно проводить их сопоставление, а также определять фациальную принадлежность разновозрастных отложений.

Целью работы явилось на основании детального исследования литологических особенностей отложений двух районов северной окраины Баренцево-Карского шельфа - переуглубленного желоба Св. Анны и желоба Франц-Виктория (рис. 1), где наиболее контрастно проявилась смена палеогеографических обстановок в позднечетвертичное время, выявить индикаторы фациальной принадлежности осадков.

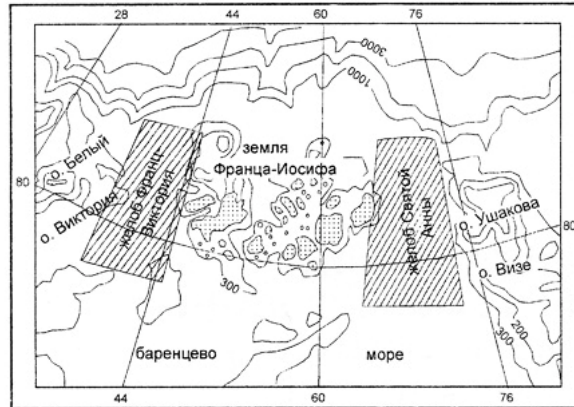


Рис. 1. Северная часть Баренцево-Карского шельфа
Штриховкой показаны районы детальных исследований

Материалы и методы

Работа основана на материалах двух рейсов: НИС «Профессор Логачев» в 1994 г. в желобе Св. Анны, где в ходе комплексных геолого-геофизических исследований от северной оконечности Новой Земли до 82° с.ш. было сделано 70 станций; и рейса НЭС «Академик Федоров» в 1998 г. в желобе Франц-Виктория, где при проведении комплексных океанографических и геологических исследований было осуществлено опробование на 7 грунтовых станциях от его кутовой части до 82° с.ш.

Комплекс литологических методов включал в себя детальное изучение структур, текстур и соотношений осадочных образований, проводимое в рейсах по грунтовым колонкам, а также детальный гранулометрический анализ осадков на 13 фракций по общепринятой методике [Петелин, 1967; Андреева, Лапина, 1998]. Для типовой характеристики осадков использовались графики распределения по разрезу песков, алевритов и пелитов (с использованием классификации, принятой для морских осадков [Лисицын, 1974]), а также трех глинистых фракций (грубодисперсной - 0,01-0,005 мм, среднедисперсной - 0,005-0,001 мм и тонкодисперсной $<0,001$ мм). Степень гранулометрической дифференциации и закономерности процессов седиментации, связанные с морфоструктурными особенностями района, определялись по гистограммам фракционного состава (ГФС), эмпирическим полям распределения (ЭПР) и графикам кумулятивных кривых (КК).

Гранулометрические особенности отложений были изучены на десяти разрезах, по пяти колонкам из каждого района, расположенных преимущественно вкост простирания прогибов, что позволило охарактеризовать изменения фракционной структуры осадков в зависимости от морфологических элементов желобов. Опробование колонок производилось с 5-10-сантиметровым интервалом.

Геолого-геоморфологические особенности желобов Святой Анны и Франц-Виктория

На формирование рыхлого чехла желобов Святой Анны и Франц-Виктория значительное влияние оказал рельеф дна, его геоморфологическая

позиция, контролирующая процессы осадконакопления, в том числе и литодинамические, а также интенсивность и характер денудации областей сноса [Качурина и др., 1999].

Рассматриваемые ранее желоба имеют как общие черты строения и развития, так и свои особенности, что заложило сходства и различия и в характер разрезов позднечетвертичных отложений. Различия в строении желобов связаны с историей их развития в неоген-четвертичное время, когда эти структуры, разделенные поднятием Земли Франца-Иосифа, оказались в несколько разных палеогеографических обстановках. К центральной части желоба Святой Анны был приурочен водный поток, который транспортировал рыхлые осадки, выносимые крупными сибирскими палео-реками, в сформированную к этому времени котловину Северного Ледовитого океана. Прогиб Франц-Виктория оказался в стороне от основного пути стока вод Европейского континента, который осуществлялся главным образом в направлении Норвежско-Гренландской котловины. Сходство обусловлено процессом формирования диамиктонов в позднеплейстоценовое время (в период деструкции ледникового покрова 13-10 тыс. лет т.н. [Polyak et al., 1997] и связанными с ней флювиогляциальными потоками и разносом вещества с одновременным наступлением морской трансгрессии).

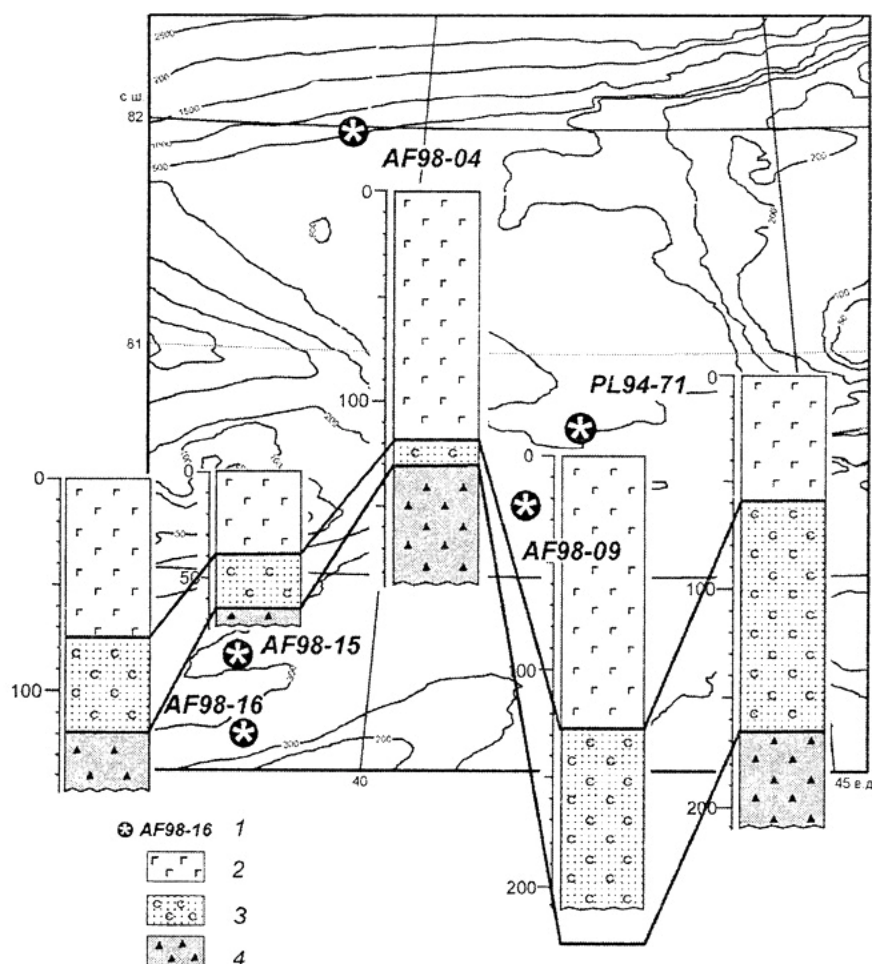


Рис. 2. Схема корреляции верхнечетвертичных отложений желоба Франц-Виктория

1 – станции пробоотбора; 2 – толща слоистых осадков с гидротроилитом;
3 – толща турбидитоподобных осадков; 4 – толща диамиктонов

Литология позднеплейстоцен-голоценовых отложений

Позднеплейстоцен-голоценовые отложения желобов подразделяются на три толщи (сверху вниз): толщу слоистых осадков с гидротроилитом, толщу турбидитоподобных осадков и толщу диамиктонов (рис. 2, 3).

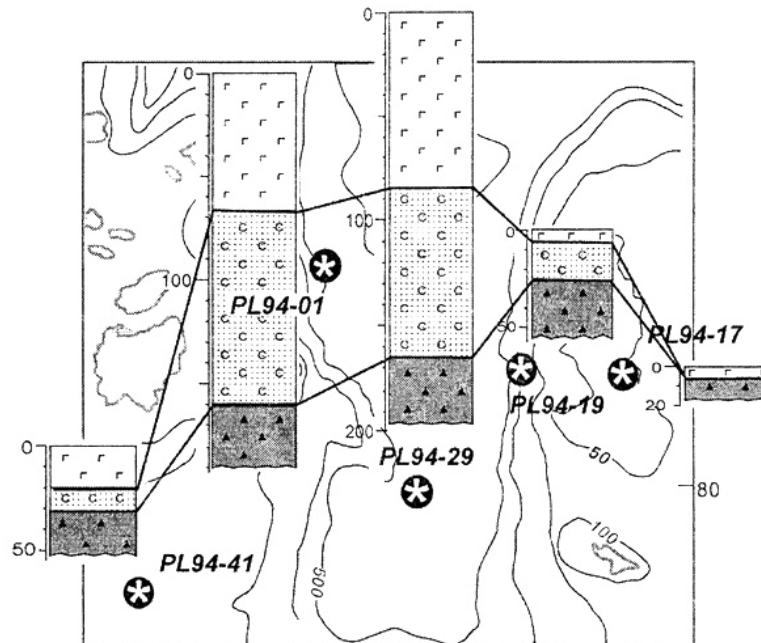


Рис. 3. Схема корреляции верхнечетвертичных отложений желоба Св. Анны
Условные обозначения см. на рис. 2

Толща слоистых осадков с гидротроилитом представлена горизонтально-слоистыми, реже массивными, текуче-пластичными алевропелитами. Отложения изменчивы по окраске (зеленовато-буро-серые), текстурам и включениям. Слоистость обусловлена разными причинами - частой сменой цветовой гаммы, закономерным распределением тонких прослоев песков и включений гнезд гидротроилита и гидроокислов железа. Для осадков этой толщи характерно наличие трубок полихет, растительных остатков, присутствие фауны. Иногда встречаются одиночные окатанные гальки. Отложения данной толщи имеют почти повсеместное распространение, но в зависимости от обстановки осадконакопления и морфоструктурной позиции их мощность меняется от 10 до 80 см на бортах склонов желобов, до 290 см в восточной части днища желоба Святой Анны. В районе желоба Франц-Виктория наибольшая мощность отмечается в центральной части структуры и на ее северной границе, на краю континентального склона (AF98-4-120 см). Меняется характер осадков (цвет, слоистость, тип содержащихся в них растительных остатков) и по латерали. Относительная плотность отложений - 1,30-1,50 г/см³, влажность-35-40%. Отличительной особенностью толщи является практически повсеместное присутствие в осадках большое количество гидротроилита в виде гнезд, пятен, прослоев. Кроме того, толща характеризуется присутствием в ее верхней половине одного или двух прослоев (1-2 см мощностью) плотной глины рыжего цвета с большим количеством гидроокислов железа.

Толща турбидитоподобных осадков без видимого перерыва, но иногда с нечетким размывом, залегает на подстилающих отложениях, мощность ее колеблется от 12 до 104 см в желобе Франц-Виктория и от 13 до 143 см в желобе Святой Анны. Осадки представлены серыми, реже бежево-серыми алевропелитами текуче-пластичной консистенции, как правило, с градационной слоистостью. Характерна примесь песчаного и песчано-гравийного материала, присутствие глинистых окатышей. Плотность осадков в среднем составляет $1,65 \text{ г/см}^3$, влажность - от 20 до 40%. Отдельные прослои (8-15 см) отличаются более сильной обводненностью. В центральной части прогиба Святой Анны, в пределах днища, мощность толщи колеблется от 30 см на севере акватории до 113 см в центральной части. Вкрест простирания структуры мощность толщи имеет контрастное колебание от 13 см в районе Северо-Восточно-Баренцевской возвышенности (PL94-41) до 130 см и более (не везде была вскрыта нижняя часть горизонта) на западном борту прогиба, сокращаясь до 80-90 см в районе днища желоба. О мощности данных осадков в южной части восточного борта прогиба судить сложно, так как все имеющиеся колонки не вскрыли этой толщи. В районе Центрально-Карской возвышенности (восточная часть желоба) в отдельных случаях они отсутствуют (PL94-17). В желобе Франц-Виктория наибольшая мощность толщи турбидитоподобных осадков наблюдалась в восточной и центральной части прогиба (около 100 см), причем в последнем случае ее подошва не вскрыта.

Характерным для толщи является присутствие в ее кровле «маркера» - прослоя от 2 до 12 см плотной, почти сухой глины, как правило, сильно ожелезненной, рыжего цвета, или темно-серого с гнездами гидроокислов железа. Данный прослой присутствует во всех колонках, расположенных в центральной части желоба Святой Анны и на его западном борту, а также в некоторых колонках желоба Франц-Виктория.

Толща диамиктонов залегает в основании рыхлого чехла. Подошва этой толщи не вскрыта и мощность ее точно не определена. По данным сейсмоакустики, на юге желоба Франц-Виктория и в смежных районах она колеблется от 0,5 до 70 м [*Polyak et al., 1997*]. Вскрытая при грунтовом опробовании максимальная мощность составляет 100 см (ст. AF98-16). Толща сложена плотными монотонными глинами темно-серого цвета, обогащенными гравийно-галечным материалом, дресвой, линзами песка. Она резко отличается от вышележащих осадков своей повышенной плотностью (до $2,2 \text{ г/см}^3$), а их влажность не превышает 20-25%.

Результаты гранулометрического анализа

Гранулометрический состав терригенных пород в фациальном анализе играет важнейшую роль при выяснении обстановок осадконакопления, поскольку распределение обломочных частиц по размерам является, по мнению большинства литологов, «индикатором особенностей динамической структуры процессов седиментации или среды осадконакопления» [*Романовский, 1988*]. Различные процессы деструкции материнских пород островов и фундамента шельфа, интенсивность обработки кластического материала при его транспортировке, длительность пребывания осадка в зоне активной гидродинамики в процессе седиментации играют ведущую роль в характере распределения обломочных частиц по фракциям и формируют определенные гранулометрические комплексы.

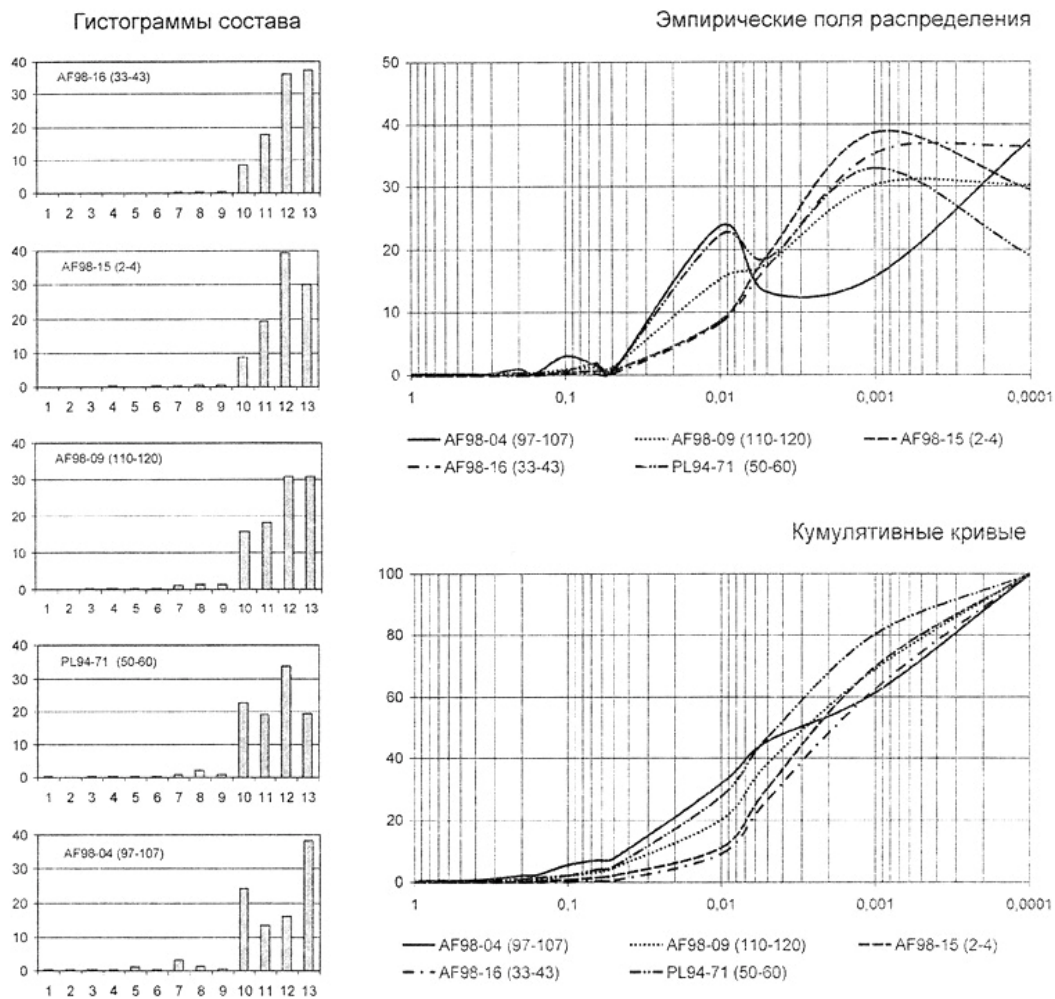


Рис. 4. Литологическая характеристика толщи слоистых осадков с гидротроилитом желоба Франц-Виктория
 По вертикальным осям – содержание в %, по горизонтальным – фракции в мм. Цифрами на гистограммах состава показаны фракции гранулометрического анализа (в мм): 1 – >1, 2 – 1–0,63, 3 – 0,63–0,4, 4 – 0,4–0,315, 5 – 0,315–0,2, 6 – 0,2–0,16, 7 – 0,16–0,1, 8 – 0,1–0,063, 9 – 0,063–0,05, 10 – 0,05–0,01, 11 – 0,01–0,005, 12 – 0,005–0,001, 13 – <0,001

Выполненные исследования особенностей гранулометрической дифференциации позволили определить типовые гранулометрические характеристики трех толщ позднеплейстоцен-голоценового возраста: слоистых осадков с гидротроилитом, турбидитоподобных осадков и диамиктонов.

Отложения толщи слоистых осадков с гидротроилитом представлены алевропелитами с небольшой примесью песка, почти с равными содержаниями алевритов и пелитов с незначительным преобладанием среднedisперсной глинистой фракции. В целом они характеризуются преимущественно одновершинными гистограммами фракционного состава, хорошо выраженными мономодальными эмпирическими полями распределения и крутыми кумулятивными кривыми. Но в то же время у осадков каждого желоба есть свои отличительные особенности. В желобе Франц-Виктория они более пелитовые, с содержанием средне- и тонкодисперсной фракций до 30% и более.

Гистограммы состава осадков чаще одновершинные с максимумом в средних пелитах (рис. 4). ЭПР - мономодальные, незавершенные с высокими

«хвостами» в тонких фракциях; кумулятивные кривые (КК) - крутые, с перегибами в пелитовых областях. Гистограммы осадков в желобе Святой Анны - одновершинные с максимумом в тонких алевритах (до 40%), содержание каждой из глинистых фракций незначительно превышает 20%. ЭПР - мономодальные, с несимметричным в сторону тонких фракций максимумом в алевропелитах и также с «хвостами» в пелитовой области (рис. 5). КК - изогнутые, с перегибами в алевритовой и пелитовой областях. Осадки средней части толщи в разрезах центра прогиба отличаются (см. рис. 5д) резко повышенным содержанием среднедисперсной пелитовой фракции и практически полным отсутствием тонкодисперсной.

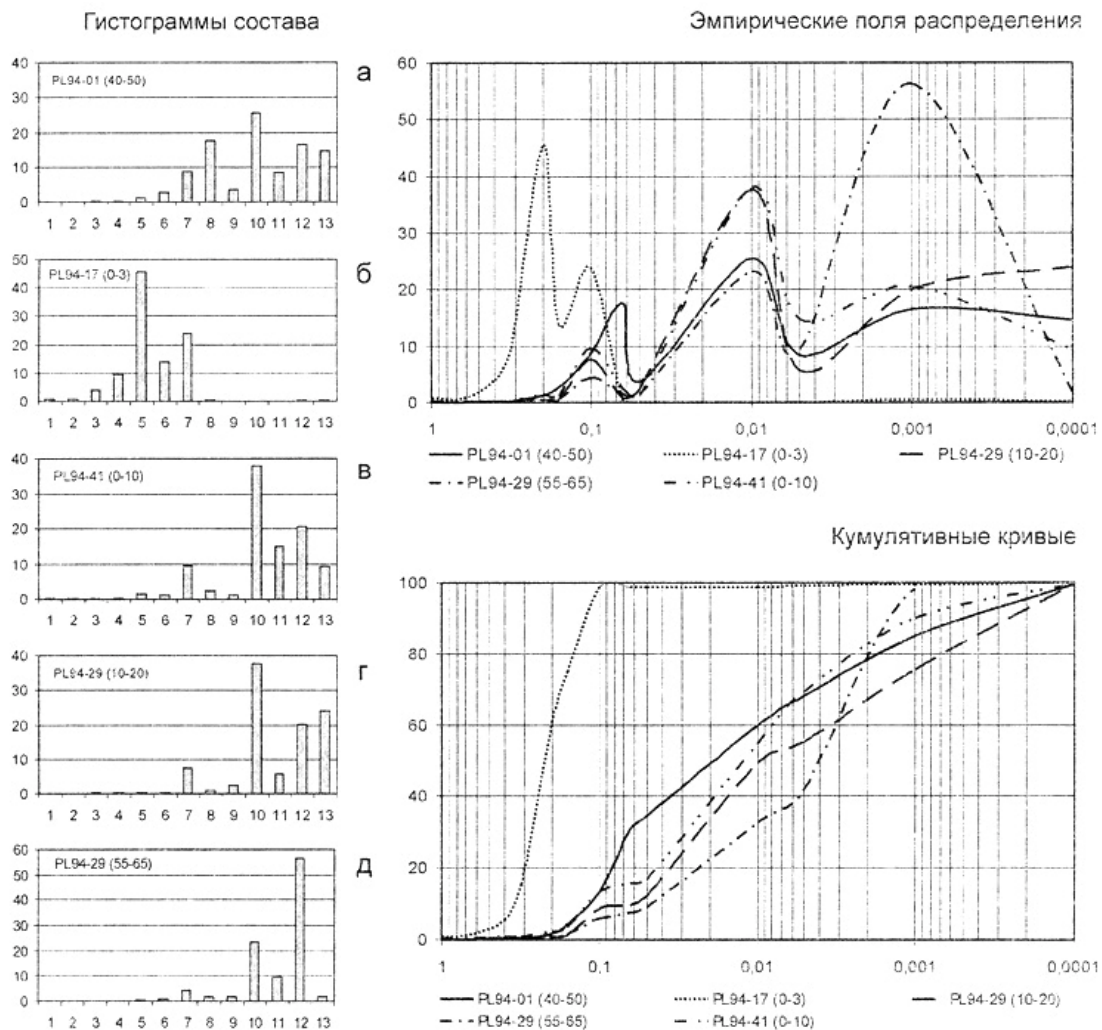


Рис. 5. Литологическая характеристика толщи слоистых осадков с гидротрохилитом желоба Св. Анны
Условные обозначения см. на рис. 4

Для осадков, сформированных на поднятиях (на малых глубинах), характерным является обогащение их песком и преобладание среди глинистых фракций грубодисперсной составляющей (см. рис. 5б). ЭПР так же мономодальные, но, как правило, с раздвоенным максимумом в песках. КК - очень крутые, достигают ~100% на границе пески-алевриты.

Особо выглядят granulометрические характеристики ЭПР и КК у слоистых осадков, которые накапливались в переуглубленных участках, на границе континентального шельфа (см. рис. 4д). ЭПР не имеют выраженных максимумов, а образуют нарастающую кривую с изгибом в области пелитовых фракций за счет увеличения содержания все более тонкодисперсных разностей. КК - крутые, с резким перегибом на границе глинистых фракций.

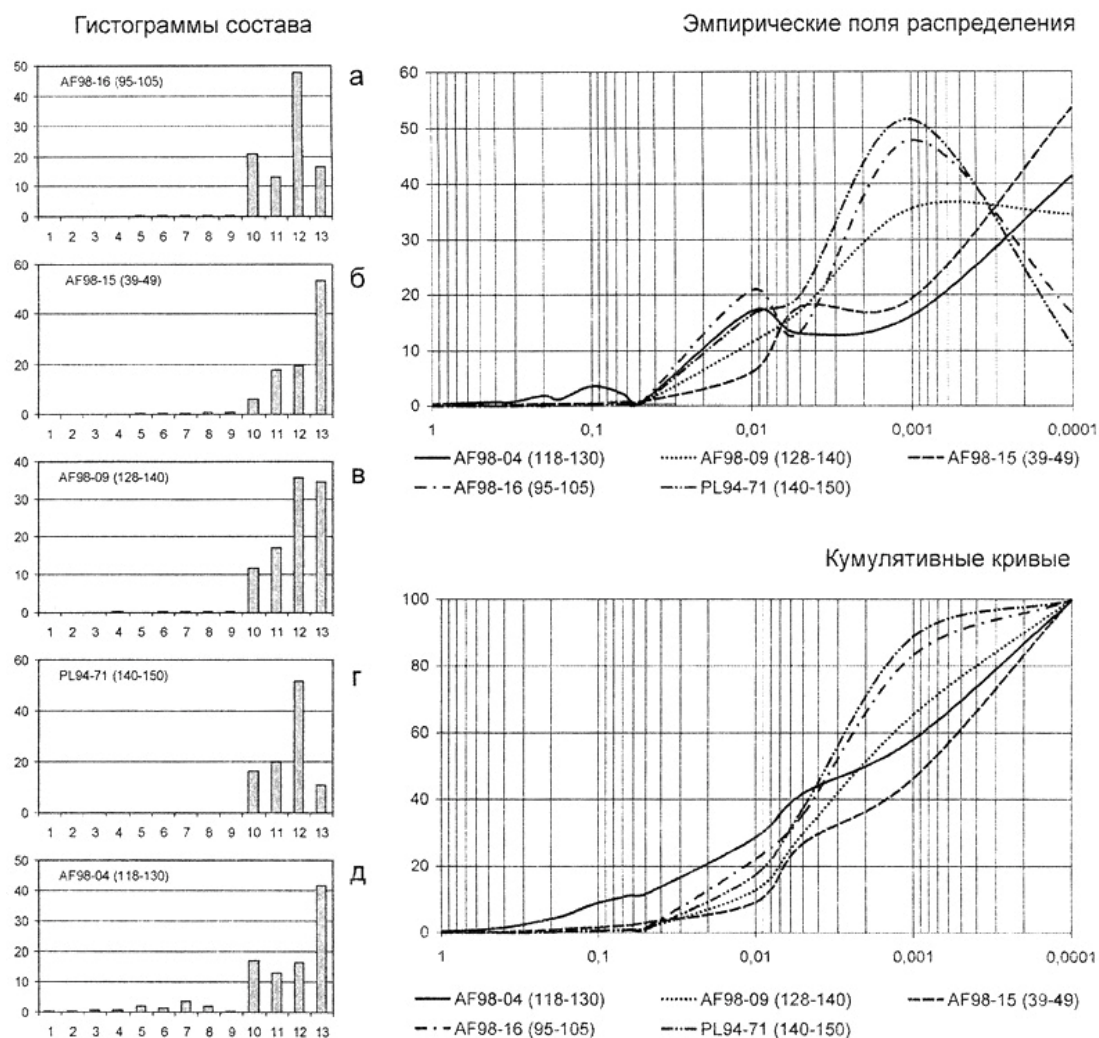


Рис. 6. Литологическая характеристика толщи турбидитоподобных осадков желоба Франц-Виктория
Условные обозначения см. на рис. 4

Отложения толщи турбидитоподобных осадков представлены алевропелитами, нередко песчанистыми, с преобладанием какой-либо глинистой фракции, чаще - среднedisперсной. В целом гистограммы одно-, двух- и трехвершинные, би- и мономодальные незавершенные ЭПР и пологие с одним и двумя нечеткими перегибами КК. Для осадков желоба Франц-Виктория характерны высокие гистограммы (рис. 6) с максимумами в пелитах (до 50%), ЭПР незавершенные с высокими «хвостами» в тонких фракциях, КК пологие, без резких перегибов. Для осадков этой толщи, сформированных на границе континентального склона (см. рис. 6д), характерна незавершенность в ЭПР за счет увеличения содержания самой тонкой глинистой фракции, что напоминает

описанный выше подводно-флювиальный тип осадконакопления. В желобе Святой Анны осадки более алевритистые, нередко с примесью тонкого песка.

В среднем гистограммы не высокие, с максимумами в тонких алевритах и пелитах, содержания преобладающих фракций редко превышает 40% (рис. 7). ЭПР бимодальные с более высоким максимумом в пелитах. КК довольно крутые, изогнутые, имеют положительные или отрицательные изломы в области алевритов и пелитов. Данный тип осадков имеет довольно выдержанную характеристику. Изменчивость выражается в основном в различном содержании алевритовой составляющей и незакономерной примеси песка.

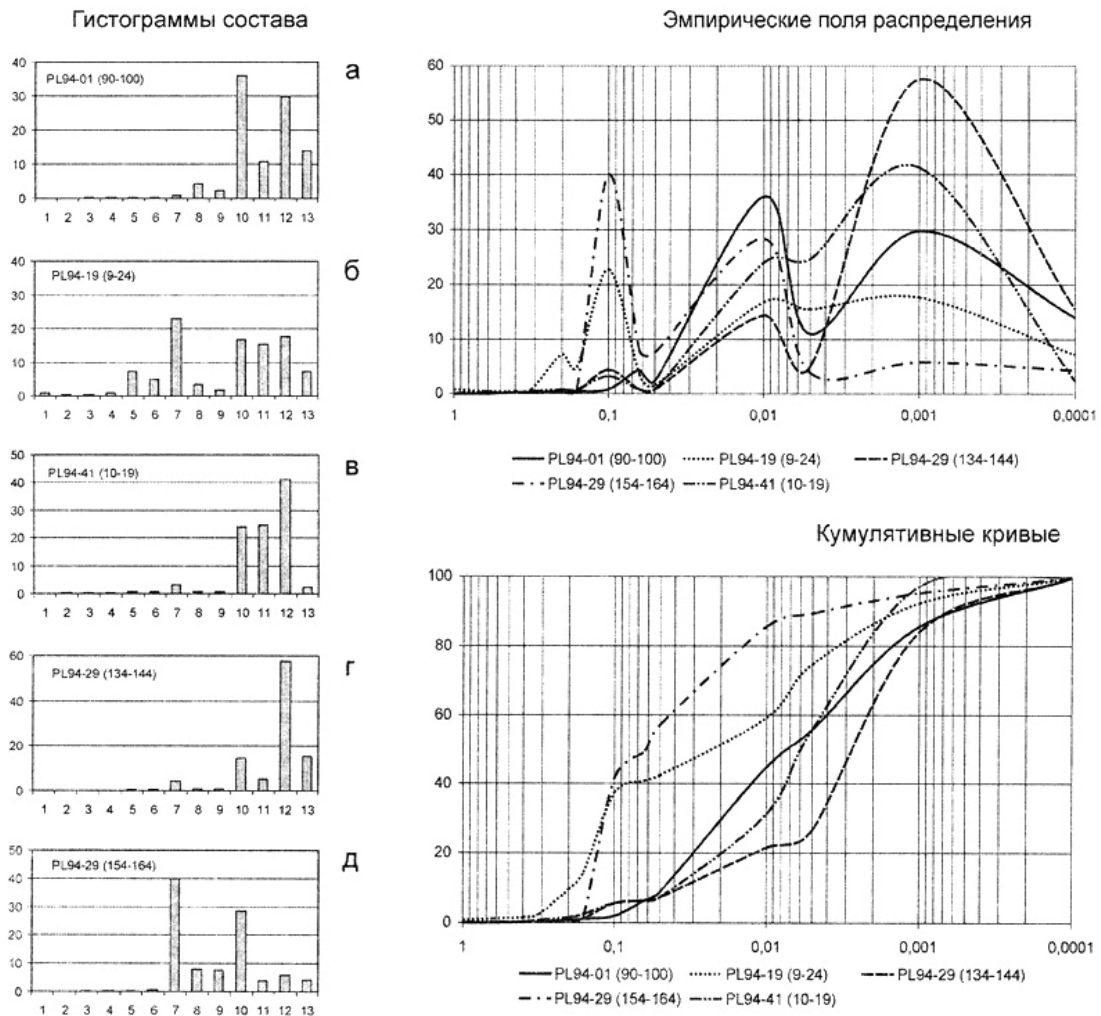


Рис. 7. Литологическая характеристика толщи турбидитоподобных осадков желоба Св. Анны
Условные обозначения см. на рис. 4

Особо необходимо рассмотреть спорадически встречающиеся сильно обводненные отложения алевропесчаного состава, которые образуют в основании толщи линзообразные тела (западный склон и центральная часть желоба Святой Анны). Гистограммы этих осадков резко двухвершинные с пиками в тонких песках и тонких алевритах (см. рис. 7б). ЭПР - бимодальное с небольшим асимметричным в сторону тонких фракций максимумом. КК очень крутая и имеет перегибы на границах песок-алеврит и алеврит-пелит.

Отложения толщи диамиктонов имеют своеобразный гранулометрический состав - это или алевро-пелиты со значительным (до 20%) содержанием песка (рис. 8), или миктиты с почти равным содержанием песков, алевритов и пелитов, среди которых заметно преобладает среднедисперсная разность (рис. 9). Для них характерны многовершинные гистограммы, полимодальные поля распределения и сглаженные, часто приподнятые кумулятивные кривые.

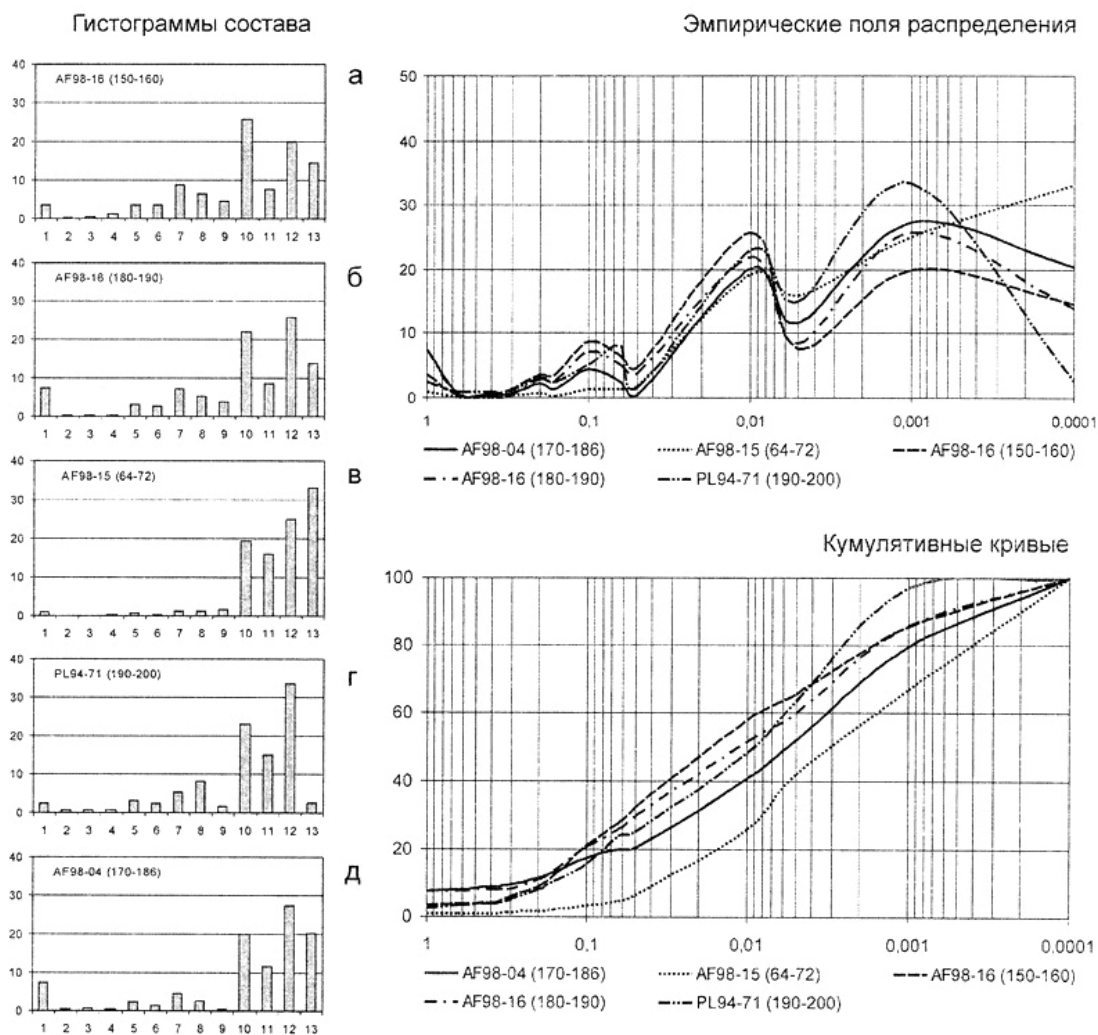


Рис. 8. Литологическая характеристика толщи диамиктонов желоба Франц-Виктория
Условные обозначения см. на рис. 4

Гистограммы осадков желоба Святой Анны низкие, содержание фракций редко превышает 25%. ЭПР полимодальные с симметричными, нередко раздвоенными максимумами в песках, асимметричными в сторону тонких фракций в алевропелитах. КК плавные постепенные, приподнятые в алеврито-песчаной области, с выраженными положительными перегибами и изломами.

Отличительной особенностью кумулятивных кривых осадков желоба Франц-Виктория является их приподнятость в песчаной области за счет относительно высокого содержания грубой фракции. Последняя проявлена и в ЭПР в виде высоких «хвостов» и многочисленных низких положительных экстремумов в песчаной области.

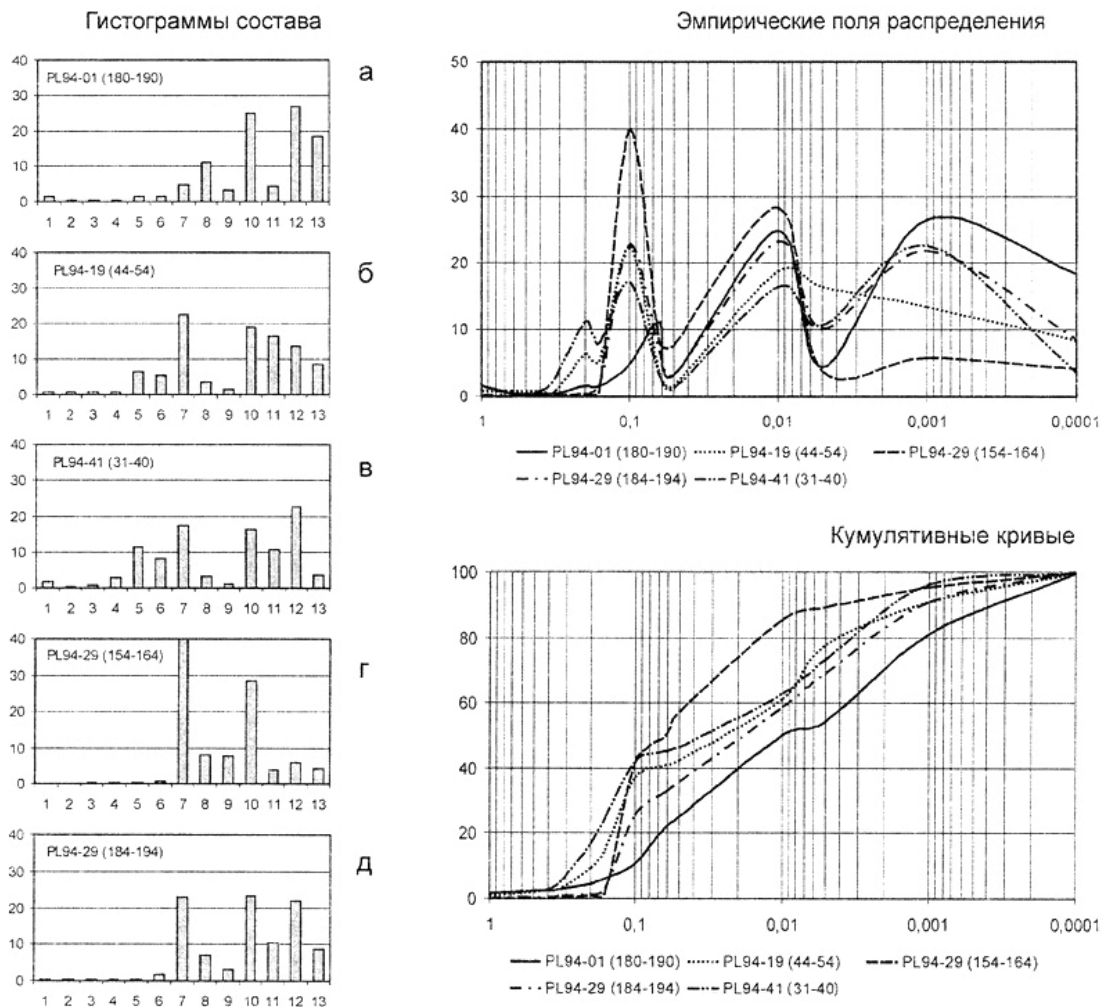


Рис. 9. Литологическая характеристика толщи диамиктонов желоба Св. Анны
Условные обозначения см. на рис. 4

Обсуждение и выводы

Известные ранее по литологическим описаниям комплексы осадков (слоистые с гидротроилитом, турбидитоподобные и диамиктоны), встречающиеся в желобах Святой Анны и Франц-Виктория, образовались в различных гидродинамических условиях. В составе этих толщ определены генетические типы осадков, которые отличаются специфическими гранулометрическими характеристиками: моренные, флювиогляциальные, гляциотурбидитовые, подводно-флювиальные, подводно-элювиальные, нефелоидные. Наибольшее разнообразие генетических типов характерно для толщи слоистых осадков с гидротроилитом, в которой встречены подводно-флювиальные, подводно-элювиальные и нефелоидные осадки. В толще турбидитоподобных осадков отмечены флювиогляциальные и гляциотурбидитовые осадки. Толща диамиктонов отличается распространением лишь одного типа - моренных отложений.

Слоистые осадки с гидротроилитом образовались в глубоководных условиях из хорошо сортированного субстрата, в условиях малоактивных

течений при решающей роли гравитационного процесса и представляют собой нефелоидный тип морского осадконакопления. На этом фоне отмечается зона активной гидродинамики в период формирования средней части разреза в центре прогиба, которая способствовала выносу наиболее тонкого материала. В целом, осадки желоба Франц-Виктория более пелитовые, чем в желобе Святой Анны. На поднятиях в процессе перемыва формируются подводно-элювиальные осадки, о чем свидетельствуют их совершенно отличные от других гранулометрические характеристики. Образование осадков в переуглубленных участках, на границе континентального шельфа происходит за счет активного привноса вещества потоками в виде взвесей и относится к подводно-флювиальному типу морского осадконакопления.

Турбидитоподобные осадки желоба Франц-Виктория напоминают подводно-флювиальные отложения. В целом характер осадков имеет сходство с турбидитами и их образование на шельфе связано, скорее всего, с гляциотурбидитовым типом ледово-морского осадконакопления. Образование спорадически встречающихся сильно обводненных отложений линзообразных тел в основании толщи (западный склон и центральная часть желоба Святой Анны) связано с флювиогляциальными потоками: разгрузкой относительно грубого, но хорошо сортированного материала в основании борта желоба и активным выносом пелитовой составляющей транзитными потоками к континентальному склону.

Особенности гранулометрического состава толщи диамиктонов свидетельствуют о низкой степени сортировки терригенного материала, что характерно для моренных отложений [*Конищев, Рогов, 1994*], а присутствие в осадках обломков различных пород с разной степенью окатанности, с учетом распространения данных отложений на склонах и в центральных частях прогибов, подтверждают их ледовый генезис. Выявленные особенности осадков толщи диамиктонов, которые в целом выражаются в более пелитовом составе отложений желоба Франц-Виктория, можно объяснить исходным составом областей денудации. В этом случае в формировании диамиктонов в большей степени принимали участие рыхлые отложения, очевидно, слагающие кору выветривания, а также триасовый аргиллитовый комплекс, тогда как областью денудации для осадков, сформировавшихся в желобе Святой Анны, преимущественно являлись юрские и меловые алевролиты и песчаники восточных островов архипелага Земли Франца-Иосифа.

Выявленные литологические особенности толщ позволяют с большим основанием проводить корреляцию верхнечетвертичных отложений севера Баренцево-Карского шельфа, а индикаторы фациальной принадлежности осадков - выявлять, с учетом морфоструктурных особенностей, их генетическую природу.

Литература

Андреева И.А., Лапина Н.Н. Методика гранулометрического анализа донных осадков Мирового океана и геологическая интерпретация результатов лабораторного изучения вещественного состава осадков. СПб.: ВНИИОкеангеология. 1998. 45 с.

Биогеоценозы гляциальных шельфов Западной Арктики. 1996. Апатиты. 286 с.

Гатауллин В.Н., Поляк Л.В., Эпштейн О.Г. Ледниковая геология восточной части Баренцева моря // Геология океанов и морей. Тез. докл. XII Международной школы морской геологии. М. 1997. Т. II. С.64-65.

Качурина Н.В., Шкатов Е.П., Андреева И.А. К вопросу о морфоструктурной позиции желобов Святой Анны и Франц-Виктории в свете новых геолого-геофизических данных // Разведка и охрана недр. 1999. №7-8. С. 32-34.

Конищев В.Н., Рогов В.В. Методы криолитологических исследований. М.: МГУ. 1994. 136 с.

Лисицын А.П. Осадкообразование в океанах. М.: Наука. 1974. 438 с.

Мусатов Е.Е. Распространение кайнозойского чехла на Баренцевоморском шельфе между архипелагами Шпицберген и Земля Франца-Иосифа // Океанология. 1997. №3. С. 444-450.

Петелин В.П. Гранулометрический анализ морских донных осадков. М.: Наука. 1967. 128 с.

Романовский С.И. Физическая седиментология. Л.: Недра. 1988. 240 с.

Andreeva I.A., Tarasov G.A., Kukina N.A., Krupskaya V.V. Granulometric composition of the Late Quaternary sediments // Modern and Late Quaternary of the St. Anna Trough Area, Northern Kara Sea. Berich. Polarforsch. 1999. P. 205-213.

Polyak L., Forman S., Herlihy E, Ivanov G., Krinitsky P. [Late Weichselian deglacial history of the Svyataya \(Saint\) Anna Trough, northern Kara Sea, Arctic Russia](#) // Marine Geology. 1997. V. 143. P. 169-188.

Detailed lithological analysis of Upper Quaternary sediments of two areas of Barents & Kara Seas Shelves (overdeeped St. Anna Trough and Franz-Victoria Trough) is carried out. Upper Pleistocene - Holocene deposits in These Troughs are subdivided into three sequences (downwards): stratified deposits containing hydrotrillite, turbidite-like deposits and diamictons. Basing on grain size differentiation typological characters of these depositional units are established and peculiarities of sedimentological processes are revealed. Differences are controlled by forming of deposits under various facial conditions depending from their morphostructural position; this constrains the possibility of their using during genetically interpretations. Deposits of variable genesis (glacial tills, glacial fluvial, glacial turbidities, submarine fluvial submarine alluvial, nepheloid deposits) are characterized by peculiar grain size composition. Revealed typological characteristics of these sequences make it possible to compare Upper Quaternary deposits of the Northernmost areas of Barents & Kara Seas Shelves and to carry out genetic interpretations.

Ссылка на статью:



Андреева И.А., Крупская В.В. Гранулометрические особенности донных отложений как показатель условий их формирования (на примере позднеплейстоцен-голоценовых осадков северной части Баренцево-Карского шельфа) // Опыт системных океанологических исследований в Арктике. Москва, Научный Мир, 2001, с.531-541.