

## ГРЯЗЕВОЙ ВУЛКАН ХААКОН МОСБИ (НОРВЕЖСКОЕ МОРЕ): ОСОБЕННОСТИ СТРОЕНИЯ И СОСТАВА ОТЛОЖЕНИЙ

В.В. Крупская\*, И.А. Андреева\*, Э.И. Сергеева\*\*, Г.А. Черкашев\*, П.Р. Vogt\*\*\*,  
М.К. Иванов\*\*\*\*

\* ВНИИОкеангеология, Санкт-Петербург

\*\* Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург

\*\*\* Научно-исследовательская геологическая лаборатория ВМФ США, Вашингтон

\*\*\*\* Центр ЮНЕСКО-МГУ по морской геологии и геофизике, геологический ф-т МГУ, Москва

Подводный грязевой вулкан Хаакон Мосби изучался довольно детально в ходе ряда экспедиций. В рейсах 1996 и 1998 годов на борту НИС «Профессор Логачев» был выполнен комплекс геолого-геофизических работ, на основании которых выделены морфоструктурные части, или зоны изучаемого объекта. После проведенного комплекса литологических исследований в районе грязевого вулкана выделены четыре литологических типа осадков: неизменная сопочная брекчия, измененная сопочная брекчия, измененные морские осадки и собственно морские осадки. Отдельные морфоструктурные части грязевого вулкана характеризуются определенным набором этих литологических типов.

### Введение

В результате научно-исследовательских работ Военно-морской лаборатории США (1989-1990 гг.) и норвежско-американской экспедиции на НИС «Хаакон Мосби» (1995 г.) в Норвежском море был обнаружен подводный грязевой вулкан, названный Хаакон Мосби [Vogt et al., 1997], детально изученный международной экспедицией на НИС «Профессор Логачев» в 1996 г., а затем в 1998 г. по программе «Обучение через исследование» (TTR-8).

Исследуемый объект располагается в центре оползневой долины в районе острова Медвежий в координатах 71°59,8' с.ш.-14°42' в.д. - 72°0,3' с.ш.-14°45' в.д. (рис. 1). Континентальная и океаническая кора граничат по древнему разлому Сенья [Crane, Egorov, 1997]. Осадочный чехол представлен кайнозойскими отложениями с возрастным диапазоном с эоцена до голоцена [Laberg, Vorren, 1996; Sattem et al., 1994; Fiedler, Faleide, 1996]. Мощность осадков достигает в среднем 6 км [Vorren et al., 1991]. В строении этой толщи выделяют два комплекса: догляциальный (эоцен-плиоценовый) и гляциальный (плиоцен-плейстоценовый), отложившийся за последние 2,3 млн. лет [Fiedler, Faleide, 1996; Hjelstuen et al., 1999]. Мощность ледниковых осадков составляет 50-70% от всего объема осадков [Hjelstuen et al., 1997].

Грязевый вулкан расположен на площади, где ледниковые плиоцен-плейстоценовые осадки достигают мощности 3 000-4 000 м [Eidvin et al., 1993]. Нарушенная зона, по данным сейсмопрофилирования, достигает 3 000 м в глубину, т.е. почти основания гляциального комплекса и обусловлена, вероятно, выходом газа и, возможно, грязь и воды [Hjelstuen, 1997, 1999; Vogt et al., 1997]. Огромная мощность осадочных отложений свидетельствует о высокой скорости осадконакопления, около 1 м / 1 000 лет [Vogt et al., 1997]. Величины первичной продукции, составляющие около 120 мг/м<sup>2</sup>сут, а также низкие величины потока взвеси в придонных слоях воды говорят о незначительном вкладе современных процессов биоседиментации в общий баланс осадочного материала [Leun и др., 1998].

### Материалы и методы

В ходе экспедиционных работ 1996 и 1998 гг. было изучено около 20 станций грунтового опробования, большинство из которых содержали газовые гидраты. Отложения, отобранные в кратере, характеризуются аномально высоким геотермальным градиентом, более 9°/м [Crane, Egorov, 1997], и температурой керна до 15°С в самой центральной части кратера (станция PL96-30).

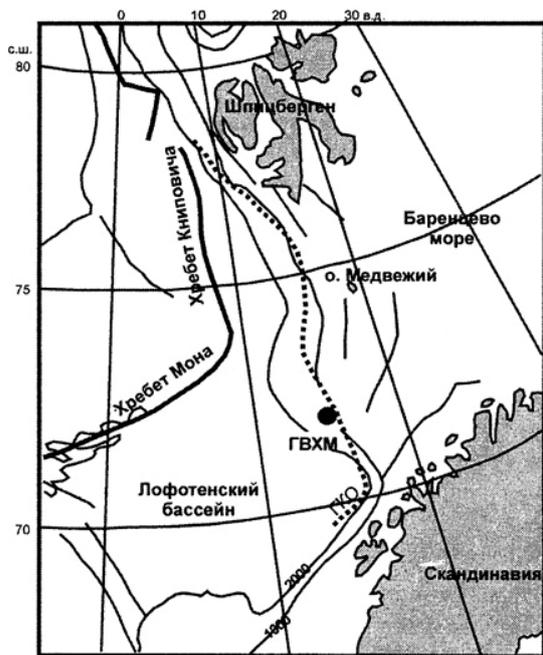


Рис. 1. Баренцевоморская окраина [Sattem et al., 1994] и местоположение подводного грязевого вулкана Хаакон Мосби  
ГКО – граница континент–океан;  
черный кружок – грязевого вулкана Хаакон Мосби

Особенности морфоструктуры поверхности дна исследовались по данным гидролокатора бокового обзора с частотой 30 и 100 кГц.

На основе литологических описаний составлялись корреляционные разрезы. По полученным в результате геологического опробования образцам проводился детальный гранулометрический анализ и минералогический анализ глинистой фракции.

Гранулометрический анализ выполнялся в литологической лаборатории ВНИИОкеангеология по стандартной методике комбинированным водно-ситовым методом на 13 фракций [Лапина, 1977; Андреева, Лапина, 1998].

Были проанализированы пробы донных осадков, характеризующие различные типы отложений грязевого вулкана Хаакон Мосби и вмещающих осадков. При этом по разрезам колонок, характеризующих различные типы осадков, осуществлялся сбор глинистых фракций для рентгенофазового анализа.

Рентгенофазовый анализ двух глинистых фракций (0,005-0,001 мм и <0,001 мм) из образцов, соответствующих различным литологическим типам выполнялся в рентгеновской лаборатории

геологического факультета Санкт-Петербургского государственного университета. Съемка образцов производилась на рентгеновском дифрактометре с Со-монохроматическим излучением с длиной волны 1,79021, предел измерений преимущественно 400 импульсов/сек, RC=5 и скорости счетчика 2°/мин. Использовались ориентированные и насыщенные этиленгликолем препараты.

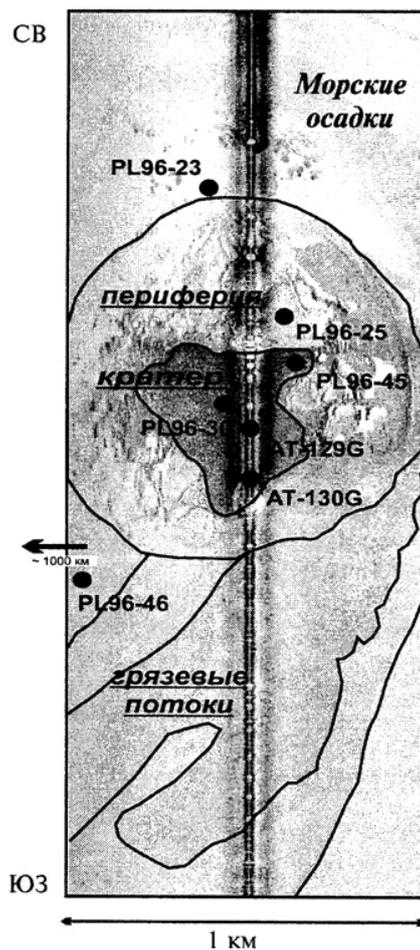


Рис. 2. Грязевого вулкана Хаакон Мосби  
Сонограмма ГБО "ORETECH" (100 кГц), морфологические зоны и места отбора грунтовых станций

### Морфологические особенности грязевого вулкана

Грязевой вулкан Хаакон Мосби выражен в рельефе дна кольцевой структурой диаметром до 1,5 км с относительным превышением над поверхностью дна от 7 до 15 м (рис. 2). Глубина моря около 1250 м. Четко выделяется концентрическая зональность вулкана.

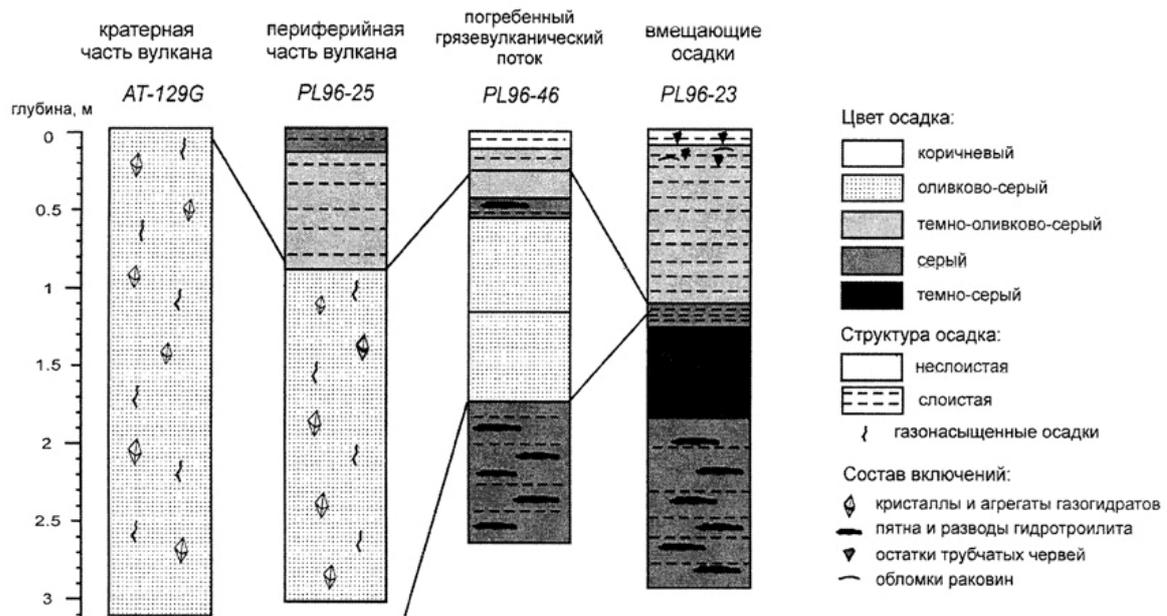


Рис. 3. Литологическая корреляция отложений грязевого вулкана и окружающих толщ

По данным гидролокатора бокового обзора можно условно выделить кратерную и периферийную части грязевого вулкана, погребенный грязевой поток и окружающие морские осадки. Центральная (кратерная) часть отличается сильным обратным рассеянием и представляет собой плоское асимметричное грязевое озеро диаметром около 200 м. Периферийная часть вулкана сложена непротяженными и плохо выраженными в рельефе грязевулканическими потоками из кратера. В этой области широко проявлены тектонические и оползневые нарушения, различные неровности рельефа. Потоки с вулкана тянутся почти на 3000 м вдоль по склону и выделяются по характерным следам течения, выраженным в рельефе, однако не нарушают современную структуру самого вулкана. Окружающие морские осадки отличаются слабым обратным рассеянием и формируют ровный рельеф дна.

#### Литологические описания колонок

Различные морфоструктурные части грязевого вулкана характеризуются разным комплексом структурно-текстурных признаков слагающих их осадков. Можно выделить четыре разновидности разрезов: кратерной и периферийной части вулкана, древнего грязевулканического потока и вмещающих гемипелагических осадков (рис. 3).

Колонки, отобранные из кратерной части (см. рис. 3) (например, станции PL96-30, PL96-45, а также AT-129G и AT-130G), сложены нестратифицированными газонасыщенными отложениями характерной творожистой структуры (сопочными брекчиями, согласно определению Е.Ф. Шнюкова [Шнюков и др., 1971]), часто с кристаллами и агрегатами кристаллов газовых гидратов (рис. 4). Поднятый на поверхность керн разбухал и «разваливался». Осадки из самой «кратерной» колонки PL96-30 газонасыщенны, но не гидратоносны. Температура керна достигает  $15^{\circ}$  при температуре придонной воды  $-0,8^{\circ}$  [Ginsburg et al., 1997]. Керн других станций, расположенных в кратерной зоне, отличается отрицательной температурой и присутствием газогидратов как в виде отдельных кристаллических выделений, так и в виде цемента. После дегазации сопочные брекчии теряли специфическую кавернозную текстуру и приобретали сметанообразный облик. Для сопочных брекчий характерно присутствие в составе песчаной фракции кристаллов гипса [Shilov et al., 1999]. Аналогичные выделения описаны в грязевых вулканах Керченско-Таманской области [Шнюков и др., 1986].

Колонки из периферийной части грязевого вулкана (см. рис. 3) обладают двучленным строением (станции PL96-25, PL96-33). Нижний комплекс - сопочная

брекчия, как в кратерной части, преимущественно с газогидратами. Верхний комплекс - морские осадки, преобразованные под влиянием грязевого вулканизма. Верхний окисленный коричневый слой отмечается не во всех колонках, что, по-видимому, связано с его частичным размывом с поверхности вулкана или/и с газовыми эманациями, поступающими по локальным разрывным нарушениям, которые, вероятно, способствуют быстрому восстановлению осадка.



Рис. 4. Фотография газовых гидратов из колонки АТ-130G (фото Е.В. Козловой)

Разрез колонки, отобранной из древнего грязевого потока (PL96-46) (см. рис. 3), имеет трехчленное строение. Верхний комплекс: (0-20 см) - слоистые морские комковатые гемипелагические осадки с пятнами и разводами гидротроилита. Средний комплекс (20-165 см) - сопочные брекчии, очень мягкие, «тонкие», сметанообразной консистенции осадки без признаков примазок гидротроилита. В этой части разреза обнаружены кристаллы гипса, отмеченные в отложениях сопочной брекчии кратерной и периферийной частей вулкана. Интересно, что прослой (42-57 см) резко отличается от вмещающей толщи и представлен слоистыми осадками с гидротроилитом. Нижний комплекс (165-260 см) - слоистые гемипелагические комковатые осадки с

многочисленными гнездами, пятнами и разводами гидротроилита.

Колонка за пределами вулкана (PL96-23) (см. рис. 3) сложена типичными гемипелагическими осадками. Разрез представлен переслаиванием осадков, обычно комковатых, с примазками, разводами и пятнами гидротроилита, иногда осадок достигает темно-серого и даже черного цвета вследствие обогащения гидротроилитом. Аналогичные осадки отмечает Ю.А. Богданов [Богданов и др., 1996, 1998] в районе несколько севернее исследуемого.

Таким образом, можно отметить, что для выделенных морфологических зон грязевого вулкана характерны различные комплексы отложений. Так, кратерная часть сложена современными сопочными брекчиями, периферийная часть - сопочными брекчиями и морскими осадками, грязевулканический поток - морскими осадками, сопочными брекчиями и снова морскими осадками, а фоновые представлены нормальными гемипелагическими осадками.

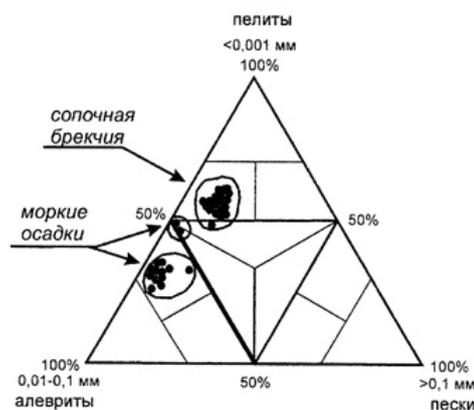


Рис. 5. Треугольная диаграмма гранулометрического состава

### Гранулометрические особенности отложений

При анализе осадочных образований, нацеленном на выяснение условий осадконакопления, важнейшая роль принадлежит гранулометрическому составу обломочных пород, поскольку особенности распределения частиц по размерам (фракциям) являются индикаторами динамической структуры процесса седиментации или среды осадконакопления

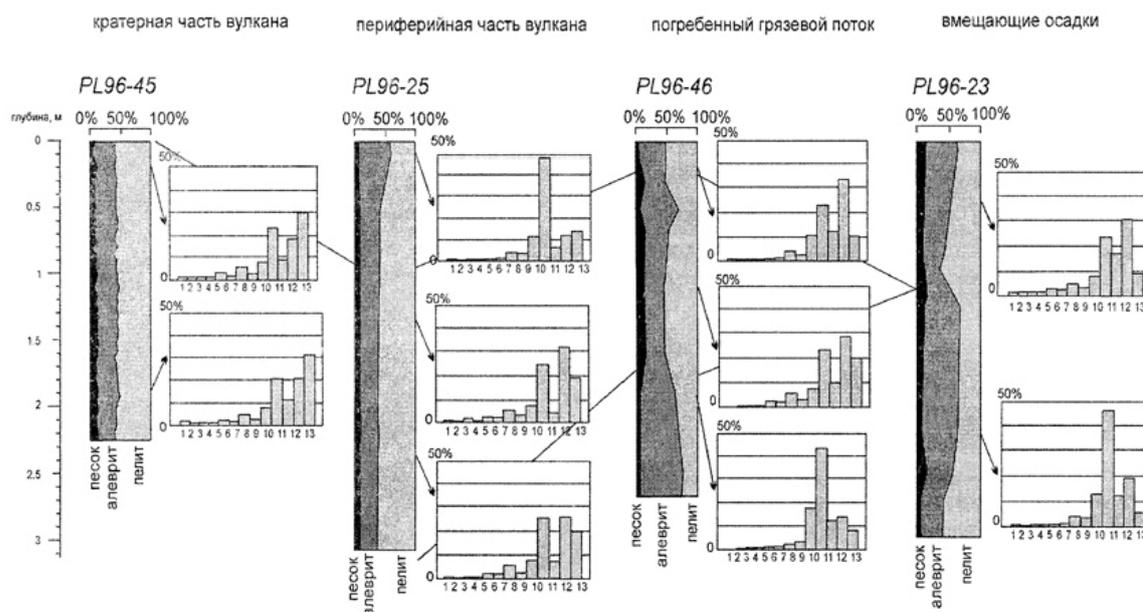


Рис. 6. Гранулометрические особенности отложений района грязевого вулкана Хаакон Мосби

Гранулометрические фракции (мм): 1 - >1,0, 2 - 1,00-0,63, 3 - 0,63-0,40, 4 - 0,400-0,315, 5 - 0,315-0,200, 6 - 0,200-0,160, 7 - 0,160-0,100, 8 - 0,100-0,063, 9 - 0,063-0,050, 10 - 0,050-0,010, 11 - 0,01-0,005, 12 - 0,005-0,001, 13 - <0,001

в палеогеографическом аспекте [Романовский, 1988].

Проведенный гранулометрический анализ включает в себя отбор 10 песчано-алевритовых и 3 глинистых фракций. Для определения типа осадков результаты гранулометрического анализа были нанесены (рис. 5) на треугольную диаграмму [Рыбалко, 1971], на основе классификации осадочных пород А.П. Лисицына [1986]. Достаточно четко выделяется три поля распределения точек состава: 1 - алевритовых пелитов, соответствующее сопочным брекчиям, 2 - пелитовых алевритов и 3 - песчано-алевритовых пелитов, отвечающие морским осадкам. Точки проб из колонок, отобранных из кратерной части вулкана, располагаются в поле алевритовых пелитов. Точки, отвечающие образцам из фоновых морских осадков, концентрируются в поле пелитовых алевритов. Разрезы периферийной части характеризуются двойным полем распределения точек фракционного состава (см. рис. 4): одно отвечает алевритовым пелитам и являет собой, в геологическом отношении, захороненные под современными осадками сопочные брекчии; второе поле отвечает пелитовым алевритам, представляющим собой морские осадки, сформировавшиеся под влиянием грязевулканических процессов. Результаты нанесения на

треугольную диаграмму данных по станции PL96-46 подтверждают сложность строения разреза древнего грязевого потока. Так, пробы из средней части разреза, выделяемые ранее как сопочные брекчии, попадают в поле, характерное для типичных сопочных брекчий, а нижняя и верхняя части разреза представлены морскими осадками и соответствуют пелитовым алевритам. Горизонт морских осадков среди сопочных брекчий относится к пелитовым алевритам.

Выделенные по литологическому описанию сопочные брекчии и морские осадки обладают различным гранулометрическим составом: сопочные брекчии являются алевритовыми пелитами, а морские осадки - преимущественно пелитовыми алевритами.

Как указано выше, согласно морфоструктурным особенностям грязевого вулкана Хаакон-Мосби, выделяется четыре части изучаемого объекта: кратерная, периферийная, древнего грязевулканического потока и собственно вмещающие гемипелагические осадки.

Для сопочной брекчии кратерной части (рис. 6) характерно однородное распределение по разрезу колонки песков, алевритов и пелитов с однотипным характером гистограмм фракционного состава. Характер распределения частиц по гранулометрическим фракциям -

трехвершинный, причем ни одна из фракций не превышает 30%. Содержание тонкоалевритовой фракции колеблется в очень узких пределах - 20-25%. Характерно преобладание содержания тонкодисперсной глинистой фракции (<0,001 мм) над грубодисперсной (0,01-0,005 мм) и доминирующее положение самой тонкой фракции в осадках сопочной брекчии кратерной части, так что отмечается увеличение содержания глинистых фракций в сторону уменьшения размера частиц. Подобное распределение гранулометрических фракций не характерно для верхних горизонтов морских осадков этого региона.

Морские гемипелагические осадки (см. рис. 6) характеризуются одно-, реже двухвершинным характером гистограмм, преобладанием грубодисперсной глинистой фракции над тонкодисперсной и низким содержанием последней.

Сопочные брекчии периферии вулкана отличаются от брекчий кратерной части двухвершинным характером распределения на фоне преобладания тонко- над грубодисперсной глинистой фракции. По сравнению с кратерными, сопочные брекчии, захороненные под толщей более поздних осадков, отличаются уменьшением содержания тонкодисперсной глинистой фракции.

Осадки верхней части разреза периферии грязевого вулкана отличаются одновершинными гистограммами состава, притом что среди глинистых фракций наблюдается увеличение содержания в сторону уменьшения размерности. То есть морские осадки периферийной части вулкана несут в себе признаки вышеуказанных типов: сопочных брекчий, что выражается в характере распределения глинистых фракций и морских осадков, что в свою очередь выражается в типе гистограмм распределения гранулометрических фракций.

Особый интерес представляет разрез из древнего грязевулканического потока. Колонка характеризуется трехчленным строением. При сравнении полученных результатов гранулометрического анализа проб, отобранных из различных частей потока, сопочной брекчии и морских осадков периферийной зоны вулкана, а также фоновых морских осадков за его

пределами, было выявлено, что (см. рис. 6) верхняя часть разреза соответствует морским осадкам, средняя - сопочным брекчиям, а нижняя - снова морским осадкам. Для горизонта комковатых осадков среди сопочных брекчий характерно распределение гранулометрических фракций такое же, как и для морских осадков из фоновой колонки.

При детальном рассмотрении результатов гранулометрического анализа можно отметить различия не только между такими крупными категориями, как сопочные брекчии и морские осадки, но также и между сопочными брекчиями кратерной и периферийной частей вулкана, фоновыми морскими осадками и морскими осадками, залегающими по периферии грязевого вулкана.

### **Особенности состава пелитовой фракции**

Глинистые минералы могут служить индикаторами разнообразных геологических процессов, а их типоморфные ассоциации могут отражать различные геологические обстановки [Дриц, Коссовская, 1990].

Поэтому, чтобы выявить закономерности состава глинистых минералов, характерных для различных литологических типов, был проведен рентгенофазовый полуколичественный анализ [Шлыков, 1991; Дьяконов, 1984] пелитовой составляющей осадков (фракции 0,005-0,001 и <0,001 мм) подводного грязевого вулкана и окружающих осадков.

Как видно из рисунка 7, отложения изучаемого района характеризуются многокомпонентным составом глинистой составляющей. Из глинистых минералов в разных концентрациях присутствуют гидрослюда (иллит), хлорит, каолинит, смектит и смешаннослойные минералы ряда иллит-смектит. Из неглинистых минералов обнаружены гипс, кальцит и тонкодисперсный кварц. При этом гипс отмечается только в образцах сопочных брекчий, что, вероятно, связано с кристаллизацией этого минерала из термальных вод, поступающих вверх вместе с газовым флюидом по подводящему каналу [Шнюков и др., 1971].

Иллит диагностировался по областям межплоскостных расстояний рефлекса 001 [Рентгенография..., 1983]  $d/n = 9,9\text{Å}$ , хлорит

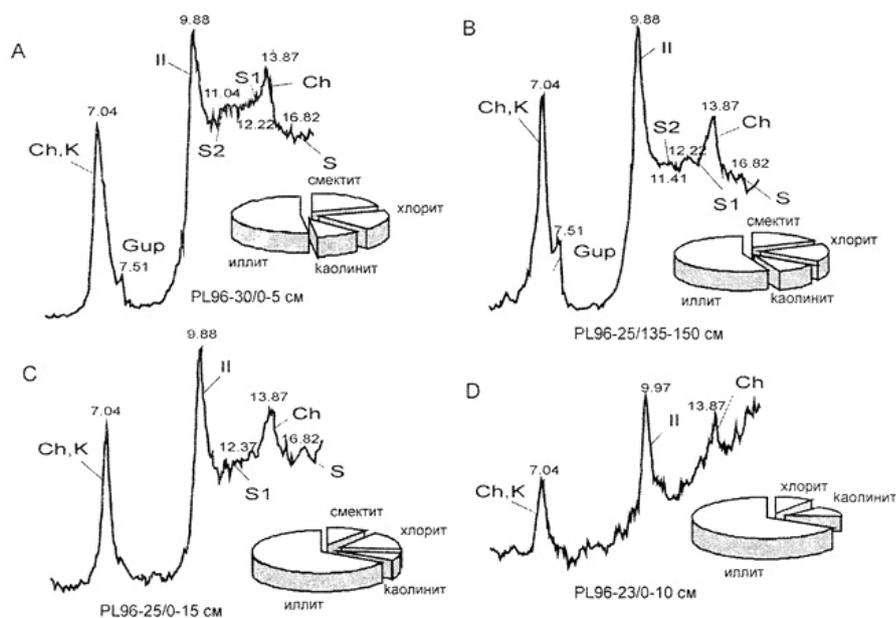


Рис. 7. Рентгенограммы пелитовой фракции осадков и соотношение глинистых минералов

А – сопочная брекчия, В – измененная сопочная брекчия, С – измененные гемипелагические осадки, Д – гемипелагические осадки; 7,07 – значение межплоскостных расстояний (d/n), S, S1 и S2 – смектиты (объяснение в тексте), Ch – хлорит, К – каолинит, II – иллит, Gup – гипс

-  $d/n = 13,9\text{\AA}$  и каолинит -  $7,0\text{\AA}$ . Эти минералы были обнаружены в том или ином количестве во всех образцах. Однако их соотношения в отдельных литологических типах различны. Преобладающим является иллит, его содержание колеблется в широких пределах и составляет в среднем 50-70%. Отношение интенсивностей отражений 001 гидрослюды и хлорита закономерно увеличивается в направлении от неизменных сопочных брекчий кратера (2,0) через измененные сопочные брекчий (2,2) и измененные морские осадки (2,3) периферии к фоновым осадкам (2,9). В том же направлении увеличивается содержание гидрослюды и хлорита. При этом содержание каолинита в морских гемипелагических осадках почти в два раза меньше, чем в брекчиях, и достигает промежуточного значения в измененных морских осадках. При диагностике иллита отмечается несимметричность отражения 001 в ориентированных препаратах, что свидетельствует о гидратированности структуры минерала. Это наиболее четко проявлено в сопочных брекчиях, в которых также отмечается значительное увеличение смешаннослойных минералов и почти полное отсутствие рентгеноаморфной фазы по сравнению с морскими осадками, как измененными, так и неизменными.

Среди смектитов можно выделить две минеральные фазы: Ca-Mg (S), который диагностируется в области значений  $d/n = 16,8-16,0\text{\AA}$  и K-Na (S1 и S2) определяемые по межплоскостным расстояниям  $d/n = 12,4-12,2\text{\AA}$  и  $d/n = 11,0-11,8\text{\AA}$  [Дриц, Коссовская, 1990].

Отличительной особенностью исследуемых образцов является уменьшение содержания смектитов в направлении: сопочные брекчий (~20%), морские осадки периферийной части (~10%) и морские гемипелагические осадки фона (<5%) (см. рис. 6). Причем фазовый состав смектитов наиболее разнообразен в глинистой составляющей сопочных брекчий, где наблюдается присутствие всех трех фаз (S, S1 и S2). Для гемипелагических осадков периферийной части вулкана характерно наличие смектитов фаз S и S1, а для окружающих морских осадков - только S1 (см. рис. 7). Изменчивость минерального состава глинистых минералов вниз по разрезу показана на рисунке 8.

Рассматривая изменчивость минерального состава тонкой фракции осадков, отобранных из древнего погребенного грязевулканического потока (рис. 9), можно пронаблюдать, что для средней части разреза характерно повышенное содержание смектитов, смешаннослойных минералов ряда иллит-

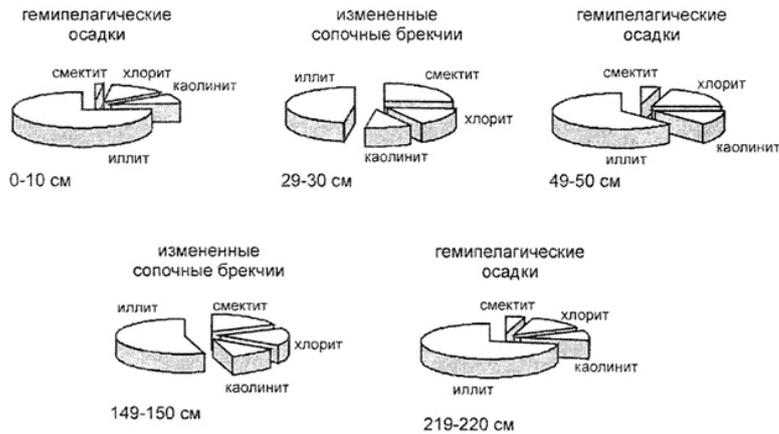


Рис. 8. Соотношение глинистых минералов в осадках погребенного грязевого потока

смектит, гидратированность структуры гидрослюды, незначительное увеличение содержания хлорита и каолинита, что является типичным для сопочных брекчий. Для нижней и верхней частей разреза, а также для горизонта комковатых морских осадков отмечается уменьшение вышеупомянутых минералов, что типично, в свою очередь, для морских осадков фоновой колонки, отобранной за пределами грязевого вулкана.

### Обсуждение

По текстурно-структурным признакам четко выделяются сопочные брекчии и морские осадки. Исходя из условий залегания и осадкообразования, могут быть выделены: неизменные сопочные брекчии кратерной части, измененные сопочные брекчии периферийной части грязевого вулкана, неизменные морские осадки периферийной части вулкана. При этом сопочные брекчии кратерной части являются продуктом современной деятельности грязевого вулкана. Измененные сопочные брекчии периферийной части погребены под более молодыми осадками и претерпели некоторые постседиментационные изменения. Вмещающие морские осадки сформированы в результате нормальной седиментации на склоне. Измененные морские осадки периферийной части образовались в результате гемипелагической седиментации, но были преобразованы под влиянием процессов грязевого вулканизма. Тектурные различия среди сопочных брекчий и морских осадков

проявлены слабо, зато можно наблюдать сильные различия при более детальных исследованиях. В ходе проведения гранулометрического анализа было отмечено, что образцы из сопочных брекчий кратерной части грязевого вулкана хорошо держат взвесь и не коагулируют даже без применения химического диспергатора, необходимость

применения которого для других образцов не вызывала сомнений [Петелин, 1967]. Характерно, что содержание тонкодисперсной глинистой фракции в этих образцах занимает доминирующее положение среди других фракций, причем отмечается четкая закономерность увеличения содержания глинистых фракций в сторону уменьшения диаметра частиц. Сопочная брекчия периферийной части вулкана претерпела некоторые постседиментационные преобразования вследствие захоронения под более молодыми осадками. Соотношение грубодисперсной глинистой и тонкодисперсной фракции в этих осадках остается таким же, как и в сопочных брекчиях кратерной части, но содержание самой тонкой глинистой фракции меньше, чем в молодых сопочных брекчиях. В результате прошедших преобразований эти осадки уже стали склонными к коагуляции и для них уже применялись методы химического диспергирования. В морских осадках мы видим совершенно иное распределение глинистых фракций. Для них типично очень малое содержание самой тонкой глинистой фракции (первые проценты), что объясняется выносом или/и коагуляцией этой фракции в процессе транспортировки, осаждения или постседиментационных преобразований и выражается в одновыпуклых гистограммах состава. На характере распределения частиц по фракциям в морских осадках периферийной части отразились как процессы гемипелагической седиментации, так и процессы грязевого вулканизма. В результате можно видеть на

фоне одновышинных гистограмм состава, характерных для типичных морских осадков, распределение глинистых фракций, типичное для сопочных брекчий, чаще всего кратерной части.

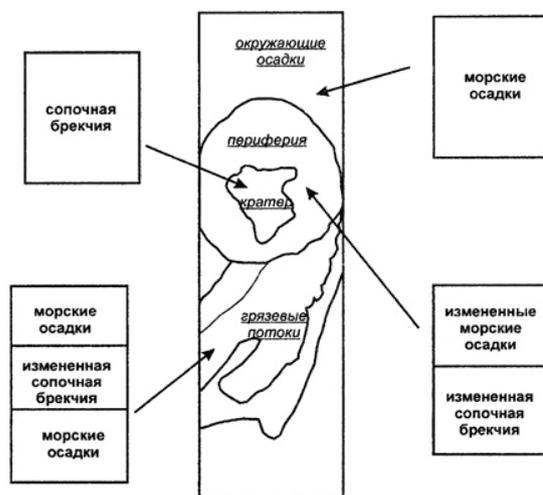


Рис. 9. Распределение литогенетических типов отложений, приуроченных к различным морфоструктурным частям грязевого вулкана

Такое нетипичное для морских осадочных образований верхняя часть осадочного чехла исследуемого района распределение глинистых фракций, как в сопочных брекчиях и измененных морских осадках периферийной части, вероятно, связано с фильтрацией газа и воды в ходе процессов грязевого вулканизма. В этом случае снимаются статические заряды на глинистых частицах. Наиболее хорошо эти процессы проявлены в неизменных сопочных брекчиях кратерной части, что вполне понятно. В измененных (преобразованных) сопочных брекчиях периферийной части уже менее проявлены процессы грязевого вулканизма, а в результате захоронения под осадками восстанавливается некоторое количество первичных статических зарядов на глинистых частицах, вследствие чего содержание тонкой глинистой фракции уменьшается и характер распределения гистограмм несколько иной, чем в неизменных сопочных брекчиях. На поверхности грязевого вулкана в периферийной его части широко развиты тектонические нарушения, по которым, вероятно, происходит выход газа или/и

воды. В результате такой фильтрации поверхностные морские осадки, расположенные в структуре грязевого вулкана, приобретают специфический облик гистограмм состава морских осадков и сопочных брекчий одновременно.

Степень влияния тех или иных процессов формирования осадков отражается на гранулометрических особенностях, на основании которых можно выделить 4 литологических типа отложений, отмеченных в районе подводного грязевого вулкана Хаакон Мосби: 1 - сопочные брекchie, 2 - измененные сопочные брекchie, 3 - измененные гемипелагические осадки, 4 - собственно гемипелагические осадки.

Влияние процессов формирования на облик отложений сказывается не только на особенностях гранулометрического состава, но и на особенностях состава глинистой составляющей изучаемых осадков. Все выделяемые по структурному признаку литологические типы отличаются набором глинистых минералов, их соотношением, а также присутствием некоторых неглинистых минералов. Для всех сопочных брекчий характерно высокое содержание смектитов и их разнообразие, а также присутствие гипса. Все морские осадки объединяет низкое содержание смектитов, отсутствие гипса, резкое преобладание иллита. Таким образом, влияние грязевого вулканизма отмечается именно по содержанию смектитов и гипса, возможно, отчасти и новообразованных.

Для неизменных сопочных брекчий также характерно содержание каолинита, вероятнее всего аутигенной природы, в два раза больше, чем в окружающих морских осадках. Так как это связано, по всей видимости, с процессами, проходящими непосредственно в грязевулканическом очаге, то можно допустить, что температура переработки в жерловой части не превышала 400°C, находясь в пределах 100-400°C [Шнюков и др., 1971].

Высокие содержания смектитов и смешаннослойных минералов ряда иллит-смектит в сопочных брекчиях связаны преимущественно с привнесением вещества из очага грязевого вулкана вверх по подводящему каналу. Хотя, возможно, что глинистые минералы частично подверглись преобразованию в процессе

грязевулканической деятельности под воздействием водного флюида грязевого вулкана, характеризующегося повышенными значениями температуры и давления. Уменьшение содержания смектита и смешаннослойных минералов в измененных морских осадках до исчезновения в поверхностных морских осадках свидетельствует о существенной роли гемипелагической седиментации, в то время как повышение содержания смектитов в измененных гемипелагических осадках указывает на влияние грязевулканической деятельности в ходе образования этих осадков.

Отсутствие же рентгеноаморфной фазы в сопочных брекчиях по сравнению с морскими осадками, особенно с поверхностными, может свидетельствовать о значительной степени постседиментационных преобразований пород - источников твердых выносов грязевого вулкана.

Проведенные рентгеновские исследования глинистой составляющей различных литологических типов осадков грязевого вулкана Хаакон-Мосби позволяют выделить две генетические группы осадков на основании преобладания тех или иных процессов. Первая группа объединяет все сопочные брекчии и характеризуется существенным влиянием процессов грязевого вулканизма. При этом максимальное влияние проявлено в сопочных брекчиях кратера. Вторая - включает все гемипелагические осадки, причем измененные гемипелагические осадки периферии по глинистой составляющей наследуют как свойства сопочных брекчий, так и морских осадков. При этом каждый литологический тип отличается содержанием смектитов, разнообразием их минерального состава, наличием смешаннослойной фазы, присутствием гипса и каолинита и, таким образом, литологические типы, выделяемые на основании текстурно-структурных признаков, выделяются и по особенностям минерального состава глинистой составляющей этих осадков.

Для каждой из выделяемых морфоструктурных частей грязевого вулкана характерно свое сочетание литологических типов. Для каждого литологического типа, в свою очередь,

характерны свои диагностические признаки, на которых отразились процессы формирования осадков. Таким образом, выделяемые литологические типы осадков грязевого вулкана Хаакон Мосби и окружающих осадков могут быть обозначены как литогенетические, их распространение показано на рисунке 9.

Средняя часть разреза погребенного грязевулканического потока, на основании литологических признаков, является результатом активной деятельности вулкана и представляет собой поток сопочной брекчии. Наличие внутри него горизонта нормальных морских осадков говорит о перерыве в излияниях и свидетельствует по крайней мере о двух этапах активизации грязевулканической деятельности Хаакон Мосби. В настоящее время изучаемый грязевой вулкан находится в спокойной стадии развития.

### **Заключение**

Проведенные исследования в районе развития грязевого вулкана Хаакон Мосби позволили прийти к следующим выводам.

- В районе развития грязевого вулкана Хаакон Мосби на фоне окружающих морских осадков выделяются кратерная и периферийная части вулкана, а также грязевые потоки различных генераций. Все эти морфоструктурные зоны характеризуются разным комплексом осадков.

- На основании литологических исследований выявлены четыре типа осадков: неизменная сопочная брекчия, измененная сопочная брекчия, нормальные гемипелагические осадки и измененные гемипелагические осадки, каждый из которых характеризуется специфическим набором диагностических признаков.

- Существование горизонта гемипелагических осадков среди измененной сопочной брекчии в разрезе погребенного грязевулканического потока свидетельствует по крайней мере о двух этапах активной деятельности грязевого вулкана Хаакон Мосби.

- Особенности гранулометрического состава отложений и минералогического состава пелитовой составляющей наиболее четко отражают степень влияния на них грязевого вулканизма и гемипелагической

седиментации, а также наложение в разной степени этих процессов.

Авторы выражают глубокую благодарность сотрудникам Центра ЮНЕСКО-МГУ по морской геологии и геофизике Г.Г. Ахматову, С.В. Буряку,

П.В. Шашкину и института ВНИИОкеангеология Б.Г. Ванштейну за оказанную ими помощь и поддержку, без которых настоящая работа не была бы выполнена.

### 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. 50 с.
- Богданов Ю.А., Гурвич Е.Г., Лукашин В.Н., Серова В.В., Горбунова З.Н., Горбунов Г.В., Тримонис Э.С., Козлов С.А., Кондратенко А.В.* Состав и свойства донных осадков // Океанологические исследования и подводно-технические работы на месте гибели атомной подводной лодки «Комсомолец». М.: Наука. 1996. С. 287-313.
- Богданов Ю.А., Горбунова З.Н., Серова В.В.* Литолого-минералогическая характеристика донных осадков Норвежского моря вблизи о. Медвежий // Океанология. 1998. Т.38. №4. С.597-603.
- Дриц В.А., Коссовская А.Г.* Глинистые минералы: смектиты, смешаннослойные образования. М.: Наука. 1990. 214 с.
- Дьяконов Ю.С.* Полуколичественное рентгенографическое определение минералов глин (слоистых силикатов). М.: ВИМС. 1984. 25 с.
- Лапина Н.Н.* Методика изучения вещественного состава донных отложений (на примере Северного Ледовитого океана). Л.: НИИГА. 1977. 55 с.
- Леин А.Ю., Возт П.Р., Крейн К., Егоров А.В., Пименов А.С., Савичев А.С., Гинсбург Г.Д., Иванов Г.И., Черкашев Г.А., Иванов М.В.* Геохимические особенности газоносных (CH<sub>4</sub>) отложений подводного грязевого вулкана в Норвежском море // Геохимия. 1998. №2. С.230-249
- Лисицын А.П.* Вопросы морского геологического картирования (на примере континентальной окраины Африки) // Доклады ЮНЕСКО. 1986. 416 с.
- Петелин В.П.* Гранулометрический анализ морских донных осадков. М.: Наука. 1967. 75 с.
- Рентгенография основных типов породообразующих минералов (слоистые и каркасные силикаты). *В.А. Франк-Каменецкий* - ред. Л.: Недра. 1983. 359 с.
- Романовский С.И.* Физическая седиментология. Л.: Недра. 1988. 240 с.
- Рыбалко А.Е.* К вопросу классификации современных морских осадков по гранулометрическому составу // Вестник ЛГУ. Сер. 7. 1971. №6. С.41-47.
- Шлыков В.Г.* Рентгеновские исследования фунтов. Учебное пособие. М.: МГУ. 1991. 184 с.
- Шнюков Е.Ф., Науменко П.И., Лебедев Ю.С. и др.* Грязевой вулканизм и рудообразование. Киев: Наукова думка. 1971. 332 с.
- Шнюков Е.Ф., Соболевский Ю.В., Гнатенко Г.И. и др.* Грязевые вулканы Керченско-Тиманской обители. Атлас. Киев: Наукова думка. 1986. 415 с.
- Crane K., Egorov A.V.* High heat flow and warm water-methane enriched plumes above the Хаakon Mosby Mud Volcano // EOS. 1997. V.29. OS41A-4
- Eidvin T., Jansen E., Riis F.* [Chronology of Tertiary fan deposits off the western Barents Sea: implications for the uplift and erosion history of the Barents shelf](#) // Marine Geology. 1993. V. 112. P. 109-131.

Fiedler A., Faleide J.I. [Cenozoic sedimentation along southwestern Barents Sea margin in relation to uplift and erosion of shelf](#) // Global and Planetary Change. 1996. №12. P. 75-93.

Ginsburg G., Milkov A., Cherkashev G., Egorov A., Vogt P., Crane K. Gas hydrates of the Haakon Mosby Mud Volcano // EOS. 1997. V.29. OS41A-6

Hjelstuen B.O., Vogt P.R., Faleide J.I. et al. Regional setting and deep seismic structure of the Haakon Mosby Mud Volcano // EOS. 1997. V.29. OS41A-2

Hjelstuen B.O., Eldholm O., Faleide J.I., Vogt P.R. [Regional Setting of Haakon Mosby Mud Volcano, SW Barents Sea Margin](#) // Geo-Marine Letters. 1999. V. 19. P.22-28.

Laberg J.S., Vorren T.O. [The Middle and Late Pleistocene evolution of the Bear Island Trough Mouth Fan](#) // Global and Planetary Change. 1996. № 12. P. 309-330.

Sattem J., Bugge T, Fanavoll S. et al. [Cenozoic margin development erosion of the Barents Sea: Core evidence from southwest of Bjornoya](#) // Marine Geology. 1994. V. 118. P. 257-281.

Shilov V., Druzhinina N., Vasilenko L., Krupskaya V. [Stratigraphy of sediments from the Haakon Mosby Mud Volcano area](#) // Geo-Marine Letters. 1999. V. 19. P. 48-56.

Vogt P.R., Cherkashev G., Ginsburg G., Ivanov G., Milkov A., Crane K., Lein A., Sundvor E., Pimenov N., Egorov A. [Haakon Mosby Mud Volcano provides unusual example of venting](#) // EOS. 1997. V.78. № 48, 2. P. 549, 556-557.

Vorren T.O., Richardsen G., Knutsen S.-M., Henriksen E. [Cenozoic erosion and sedimentation in the western Barents Sea](#) // Marine and Petroleum Geology. 1991. V. 8. P. 317-340.

During an international expedition of the RV Professor Logachev in 1996 and 1998 a detailed study of the submarine Haakon Mosby Mud Volcano was made. Sidescan sonar survey carried out allowed for distinguishing several morphological parts within the Mud Volcano. Basing on lithological investigation, several sediment types of deposits from the Haakon Mosby Mud Volcano area were distinguished. Each of the morphological parts is characterized by a specific assemblage of these sediment types.

#### Ссылка на статью:



Крупская В.В., Андреева И.А., Сергеева Э.И., Черкашев Г.А., Vogt П.Р., Иванов М.К. **Грязевой вулкан Хаакон Мосби (Норвежское море): особенности строения и состава отложений** // Опыт системных океанологических исследований в Арктике. Москва, Научный Мир, 2001, с. 492-502.