

усредоточены в двух сло-
ксимальные отрицатель-
' = -0.11 °C, по солёности
параметров был располо-

1999 г., пространственно-
г изопикнических анома-
гров ядра плюма при ап-
ольшой и малой горизон-
м ядра плюма по нефело-
 $V_m = 4/3 \cdot a \cdot b \cdot c = 0.83 \text{ км}^3$.
0.02 °C) объём зоны ано-
кой аномалии солёности
ищит тепла в слое анома-
сти) составил

⁴ Дж,

ть морской воды при 4 °C,
изопикническая аномалия
слое аномалии солёности
зляет

⁰⁶ кг,

su в пределах объёма V_{S_1} .
аномалий в ядре плюма в
нии плюма по вертикали
ски всех станций в его яд-

ных полей используются
отах [Morton, 1956; Speer,
на уравнениях сохранения
пущении пропорциональ-
дней вертикальной скоро-
очечного источника в ус-
ких плюмах это приводит
ературой на равновесный
юма оказывается равной
к плавучести F_0 определя-
ющих вод ρ_0 и вод источ-

ти, и его оценка равна:

N^3 ,

ских вод; $\alpha \sim 1.48 \cdot 10^{-4} \text{ °C}^{-1}$
ой воды; $g = 9.8 \text{ м} \cdot \text{с}^{-2}$ –
ести $\sim 10^{-3} \text{ с}^{-1}$; K_e – коэф-

фициент вовлечения, который варьирует от 5 до 3.76 [Speer et al., 1989, 1995].

Разброс значений используемых в модели эмпирических коэффициентов в применении к реальным гидротермальным плюмам, а также погрешность до 20% в определении Z_n приводят к существенным (на порядок) отличиям в оценках потоков тепла и плавучести. Если наблюдаемые вариации равновесного уровня составляют $Z_n = 250\text{--}350$ м от дна, то оценка тепловой мощности гидротермального поля Рейнбоу составляет $5 \cdot 10^6\text{--}6 \cdot 10^7$ Вт. По оценкам [Murton et al., 1999], вклад типичного гидротермального поля в суммарное поступление тепла в водную толщу обычно не превышает 10%, тогда как 90% приходится на конвективное нагревание вследствие кондуктивной теплоотдачи от дна рифтовой долины.

2.7. ЛАБОРАТОРНЫЕ ЭКСПЕРИМЕНТЫ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ СЛОИСТОСТИ ПЛЮМА

В большинстве теоретических работ плюм рассматривается как однородное вращающееся тело. При этом вне поля зрения остается вертикальная слоистость в распределении взвеси и других параметров. Наблюдения с высоким горизонтальным и вертикальным разрешением осенью 1999 г. и летом 2002 г. выявили слоистость, хорошо заметную на вертикальных профилях индивидуальных станций и вдоль разрезов плюма Рейнбоу. Связь этой слоистости с вариациями расхода и температуры флюида была исследована в серии лабораторных экспериментов с всплывающими турбулентными струями в устойчиво стратифицированной жидкости, имитирующей ситуацию вблизи гидротермальных источников. Необходимым условием эксперимента являлась турбулизация втекающей струи, в нашем случае за счет перепада давлений.

Детальное описание экспериментальной установки и параметров экспериментов приведено в [Алейник и др., 2001]. В ходе экспериментов варьировались такие параметры, как: стратификация ($N = 0.1 \div 1.0 \text{ с}^{-1}$), скорость и момент количества движения втекающих струй за счет изменений их расхода и перепада уровня, температура и плотность втекающих жидкостей.

Фотографии одного из экспериментов представлены на рис. 2.9,а–в, где показано вторжение двух турбулентных струй в устойчивую линейно-стратифицированную по плотности воду ($N = 0.86 \text{ с}^{-1}$). Темным цветом была окрашена струя тяжелой и холодной воды, а светлым – подогретой. Подкрашенные жидкости с положительной плавучестью (светлые) подавались поочередно через сопла, образуя турбулентные струи, напоминающие дымы «черных курильщиков». Было зафиксировано формирование слабых слоистых течений дипольного типа. Скопления краски – аналог «плюма» – оказывались разделены по вертикали. Распределение взвеси (краска) было упорядоченным в спирали, заметные в виде слоистых полос.

Во второй серии опытов (на вращающейся платформе) изучалась устойчивость формируемой слоистости. При различных вариациях условий этой серии экспериментов наблюдались формирование и эволюция разнообразных вихревых структур – монополей, диполей и триполей. Все вихревые

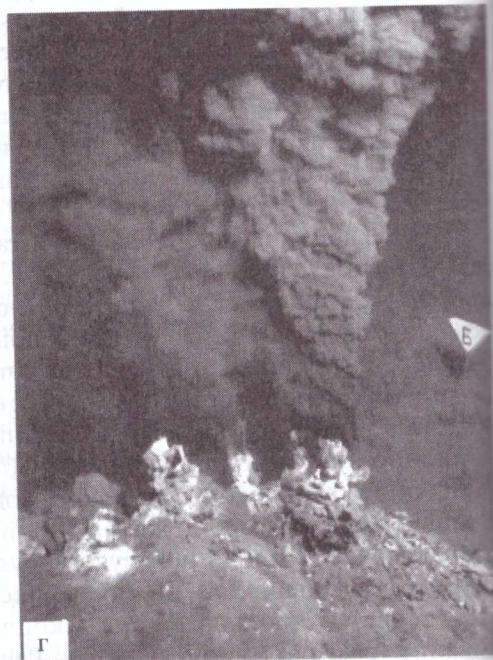
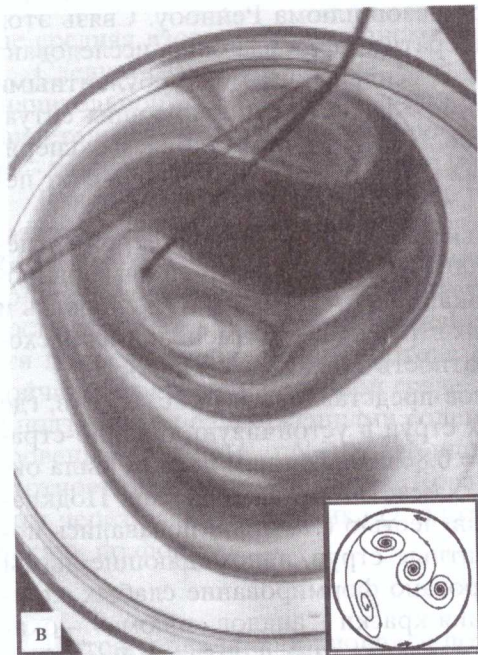
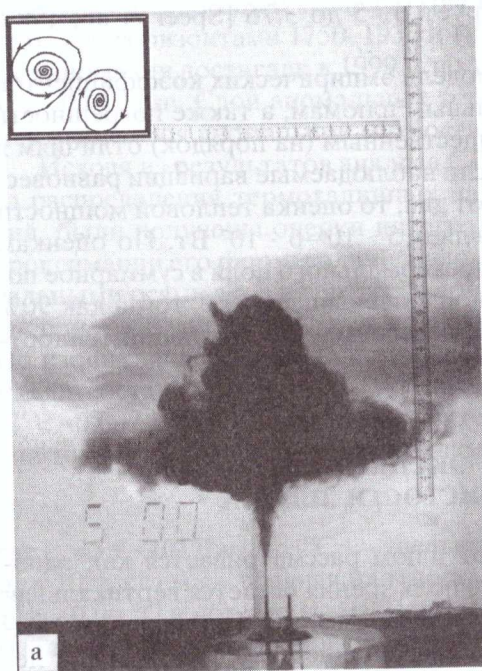


Рис. 2.9. Лабораторные эксперименты по впрыскиванию турбулентных струй холодной и тяжелой воды (темная, 24 °С, 35 psu), горячей и пресной воды (светлая, 90 °С, 0.5 psu) в линейно-стратифицированный бассейн – стационарный (а), вращающийся с частотой $N/f = 13$ (б, в). Здесь частота плавучести $N = 0.83 \text{ с}^{-1}$. Схема течений показана на врезке, вид сверху. Фото «черного курильщика» на поле Рейнбоу, размер треугольника 0.3 м (г), автор – Ю.А. Володин, съемка из ГОА «Мир-1» в октябре 1999 г.

структуры обладали общей чертой – распределение краски в них не было однородным. На фотографии (рис. 2.9,в) зоны повышенной завихренности выделяются по спиральным сгущениям краски более явно, чем в стационарном случае.

Сохранение вертикальной слоистости в зоне максимальной мутности может быть связано с тем, что поток по мере удаления от источника (всплывания), по-видимому, становится завихренным. Образующийся плюм представляет собой серию вихрей со спиральным распределением взвеси и химических трассеров.

2.8. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ материалов гидрофизических измерений, выполненных в экспедициях 1998–2003 гг. на борту НИС «Академик Мстислав Келдыш», показал следующее.

1. Сопоставление с климатическими данными засвидетельствовало, что температура и соленость вод на каждом полигоне соответствовали климатической норме. Анализ данных буев АРГО выявил рост теплосодержания верхнего 300-метрового слоя океана во всем этом регионе начиная со второй половины 2001 г., тогда как в целом для 2-километровой толщи вод обнаружено его понижение.

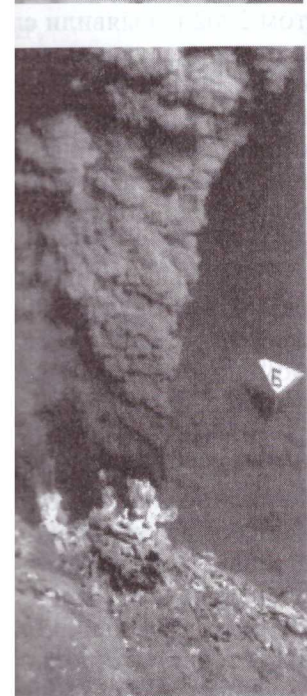
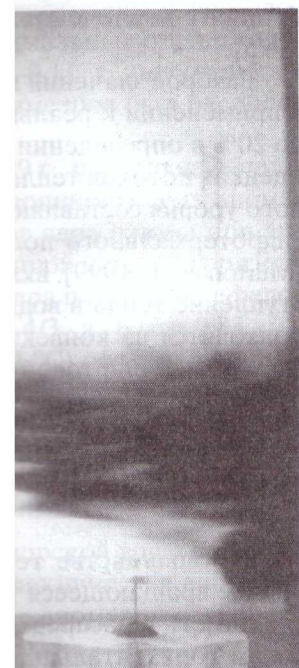
2. Наличие интенсивных аномалий нефелометрической мутности было выявлено на всех обследованных гидротермальных полях с высокотемпературными источниками.

3. Наиболее интенсивными за весь период наблюдений были плюмы нейтральной плавучести на полях ТАГ, Лаки-Страйк и Рейнбоу.

4. Выявлена значительная пространственно-временная изменчивость параметров плюма Рейнбоу. Плюм сократился по своей протяженности до 3,8 км осенью 1999 г. [Алейник и др., 2001] по сравнению с 6 км по данным английской экспедиции в 1997 г. [German et al., 1998; Thurnher et al., 2001]. В июле 2002 г. плюм вновь значительно увеличился до 6–7 км в направлении юго-запад – северо-восток от поля и 3–4 км в поперечном направлении, когда он «окутал» практически всю верхушку осевого поднятия.

5. Проведенные эксперименты по лабораторному моделированию плавучих струй в неподвижных и вращающихся устойчивых линейно-стратифицированных средах позволили установить факт, что вертикальное расслоение плюма происходит за счет спирального закручивания вторгающейся турбулентной струи и вовлекаемой в процесс окружающей ее жидкости. Это расслоение хорошо заметно при сопоставлении вертикальных профилей мутности на поле Рейнбоу (рис. 2.6.3, 2.8) и на фотографиях лабораторных экспериментов (рис. 2.9,б).

6. Выявлена значительная изменчивость гидротермальных процессов и связанных с этим изменений в термохалинной структуре вод и интенсивности плюмов по мутности в различных районах рифтовой зоны Срединно-Атлантического хребта в зоне от 23 до 37,5 °с.ш., что требует продолжения их детального исследования.



ентных струй холодной и тяжелой, 90 °С, 0.5 psu) в линейной с частотой $N/f = 13$ (б, в) на врезке, вид сверху. Фото 1.3 м (г), автор – Ю.А. Воло-

структуры обладали общей чертой – распределение краски в них не было однородным. На фотографии (рис. 2.9,в) зоны повышенной завихренности выделяются по спиральным сгущениям краски более явно, чем в стационарном случае.

Сохранение вертикальной слоистости в зоне максимальной мутности может быть связано с тем, что поток по мере удаления от источника (всплывания), по-видимому, становится завихренным. Образующийся плюм представляет собой серию вихрей со спиральным распределением взвеси и химических трассеров.

2.8. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ материалов гидрофизических измерений, выполненных в экспедициях 1998–2003 гг. на борту НИС «Академик Мстислав Келдыш», показал следующее.

1. Сопоставление с климатическими данными засвидетельствовало, что температура и соленость вод на каждом полигоне соответствовали климатической норме. Анализ данных буев АРГО выявил рост теплосодержания верхнего 300-метрового слоя океана во всем этом регионе начиная со второй половины 2001 г., тогда как в целом для 2-километровой толщи вод обнаружено его понижение.

2. Наличие интенсивных аномалий нефелометрической мутности было выявлено на всех обследованных гидротермальных полях с высокотемпературными источниками.

3. Наиболее интенсивными за весь период наблюдений были плюмы нейтральной плавучести на полях ТАГ, Лаки-Страйк и Рейнбоу.

4. Выявлена значительная пространственно-временная изменчивость параметров плюма Рейнбоу. Плюм сократился по своей протяженности до 3,8 км осенью 1999 г. [Алейник и др., 2001] по сравнению с 6 км по данным английской экспедиции в 1997 г. [German et al., 1998; Thurnher et al., 2001]. В июле 2002 г. плюм вновь значительно увеличился до 6–7 км в направлении юго-запад – северо-восток от поля и 3–4 км в поперечном направлении, когда он «окутал» практически всю верхушку осевого поднятия.

5. Проведенные эксперименты по лабораторному моделированию плавучих струй в неподвижных и вращающихся устойчивых линейно-стратифицированных средах позволили установить факт, что вертикальное расслоение плюма происходит за счет спирального закручивания вторгающейся турбулентной струи и вовлекаемой в процесс окружающей ее жидкости. Это расслоение хорошо заметно при сопоставлении вертикальных профилей мутности на поле Рейнбоу (рис. 2.6.3, 2.8) и на фотографиях лабораторных экспериментов (рис. 2.9,б).

6. Выявлена значительная изменчивость гидротермальных процессов и связанных с этим изменений в термохалинной структуре вод и интенсивности плюмов по мутности в различных районах рифтовой зоны Срединно-Атлантического хребта в зоне от 23 до 37,5 °с.ш., что требует продолжения их детального исследования.

турбулентных струй холодной и тяжелой (светлая, 90 °С, 0.5 psu) в линейно-циркулирующей с частотой $N/f = 13$ (б, в) показана на врезке, вид сверху. Фотолика 0.3 м (г), автор – Ю.А. Воло-