

Механизм аномального смещения Гольфстрима в 2011 г.

С.М. Першин*

*Институт общей физики им. А.М. Прохорова РАН
119991, г. Москва, ул. Вавилова, 38
Концерт «Моринсис-Агат»
105275, г. Москва, шоссе Энтузиастов, 29*

Поступила в редакцию 11.12.2015 г.

Предложен физический механизм беспрецедентного смещения (около 200 км) на север течения Гольфстрим летом–осенью 2011 г. у берегов Новой Каролины. Обосновано, что инерционное движение по прямой и «соскальзывание» с прежней траектории при повороте на восток обусловлены аномально большим нагревом воды до температуры особой точки (19–20 °С), при которой происходит кратное снижение ее сдвиговой вязкости из-за термоиндуцированной конверсии спиновых орто- и параизомеров молекул H₂O. Показано, что аномально высокий подогрев воды является следствием катастрофы на нефтяной платформе Deepwater Horizon в Мексиканском заливе и разлива нефти. Изменение отражательного и испарительного процесса из-за радужной пленки на площади в сотни тысяч квадратных километров (<http://newsland.com/news/detail/id/1218207>) обеспечивает дополнительный нагрев океана.

Ключевые слова: смещение Гольфстрима, влияние антропогенного фактора на глобальный климат, нефтяная радужная пленка, аномальный нагрев воды, снижение сдвиговой вязкости воды, термоиндуцированная конверсия орто- и параизомеров H₂O; displacement of the Gulf Stream, anthropogenic factor influence on global climate, oil rainbow film, anomalous heating of water, reduce of the shear viscosity of water, thermoinduced conversion of the ortho-para isomers of H₂O.

Известно, что с 29 ноября по 11 декабря 2015 г. в Ле-Бурже (Франция) работала 21-я конференция, проводимая в формате Рамочной конвенции ООН об изменении климата (СОР-21), и 11-я – в рамках совещания сторон по Киотскому протоколу (СРП-11). Цель конференции СОР-21 – подписание международного соглашения по поддержанию увеличения средней температуры планеты на уровне ниже 2 °С, применимого ко всем странам. Экологические катастрофы, например авария на нефтеплатформе в Мексиканском заливе 20 апреля 2010 г., могут приводить, как будет показано ниже, к локальному потеплению океана в кратное число раз выше 2 °С и запускать неуправляемые процессы глобального масштаба.

Осенью 2011 г. было обнаружено заметное потепление воды и значительное увеличение скорости течения на шельфе у берегов Новой Англии (Северная Каролина). Измерения, выполненные учеными Института океанографии США (Wood Hole Oceanographic Institution (WHOI)), показали, что течение Гольфстрим впервые за всю историю наблюдений сместилось на север на аномально большую величину (более чем на 200 км) и приблизилось к берегам Северной Америки [1]. Сильный (до 19–20 °С) нагрев верхнего слоя (до 50–70 м) океана (больше обычного на 6,5–6,7°) с одновременным повышением солености (см. профиль на рис. 1 из

работы [1]) не мог быть обусловлен каким-либо известным на настоящий момент механизмом.

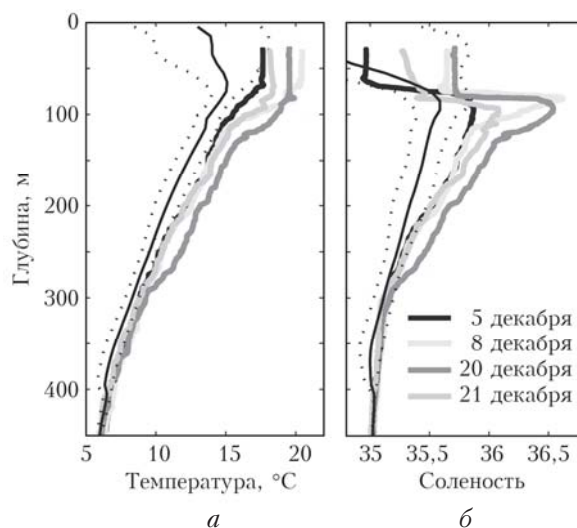


Рис. 1. Вариации профилей температуры (а) и солености (б) по данным работы [1]. Черная линия (крайняя левая) – профиль среднегодовой температуры и солености; точки – среднеквадратичное отклонение от среднего

В физике воды [2] эта область температур (19–20 °С) известна как температура особой точки – локального экстремума сдвиговой вязкости или внутреннего трения. Ранее [3] было экспериментально установлено, что сдвиговая вязкость умень-

* Сергей Михайлович Першин (pershin@kapella.gpi.ru).

шается кратно (в 3–5 раз) в окрестности температуры особых точек воды 4 и 19 °С (см. рис. 2 по данным работы [3]).

Из рис. 2 видно, что увеличение температуры раствора соли (кривая 3) на 3–5° с 14–15 до 20 °С сопровождается быстрым снижением сдвиговой вязкости (сокращением времени установления оптической однородности [3]). Отсюда следует, что температура воды в океане в окрестности 19–20 °С является управляющим фактором, который существенно меняет значение коэффициента внутреннего трения и, соответственно, реологические свойства воды. Заметим, что для пресной воды (кривая 2) изменения вязкости в окрестности 19–20 °С менее критичны и более инерционны по температуре, чем для соленой (кривая 3). Очевидно, что при нагреве или охлаждении в окрестности специфической температурной точки 19 °С гидродинамика воды будет варьироваться в соответствии с изменениями внутреннего трения или вязкости [3].

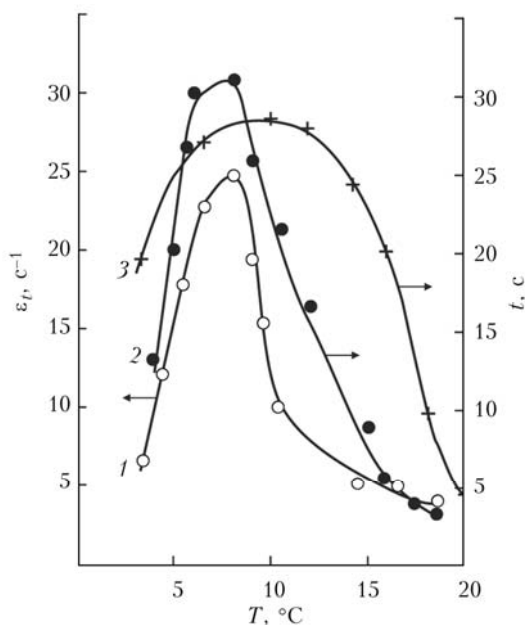


Рис. 2. Температурная зависимость скорости сдвиговой деформации ϵ_t в воде, при которой начинает разрушаться ее структура (1), и времени восстановления t (правая шкала) оптических неоднородностей в воде (2) и в растворе 0,08% соли NaCl (3), измеренная методом теневой фотографии области механического возмущения в объеме сосуда (из работы [3])

Так, при температуре 19–20 °С можно ожидать кратного (более чем в 5 раз) уменьшения сдвиговой вязкости (см. рис. 2), что будет проявляться в смещении больших объемов океанских течений на участках поворота траекторий из-за центростремительного ускорения, например, фрагмента $100 \times 100 \times 0,1 \text{ км}^3$ Гольфстрима, размеры которого являются типичными для расчетных моделей движения [4–6].

Физическая природа значений температуры особых точек, к которым относятся температуры 4 и 19 °С (их в воде и во льду несколько десятков

[2]), остается пока неясной. Учет квантовых отличий молекул H_2O (спиновые орто- и парасостояния) позволил нам дать новое физическое толкование этим аномалиям воды и показать, что значения температур особых точек не являются случайными, а определяются энергией квантов вращательных переходов молекул H_2O и взаимной термоиндуцированной конверсией их спиновых орто- и параизомеров.

Так, в работе [2] удалось установить совпадение энергии вращательного кванта $h\Omega_{mn}$ перехода орто- и параизомеров молекулы H_2O между уровнями m и n и теплового движения kT_c в окрестности температур особых точек T_c :

$$kT_c = h\Omega_{mn}, \quad (1)$$

где k – постоянная Больцмана, h – постоянная Планка.

Резонансные столкновения (1) приводят к вращательному переходу в возбужденное (девозбужденное) состояние орто- или параизомера (или обоих одновременно, как в окрестности температуры 4 и 19 °С, что отличает их от других особых точек). После перехода на верхний (нижний) уровень молекулы образуют смешанные квантовые состояния (или квантовые биения [7, 8] с близко расположенным уровнем другого изомера H_2O). В этих состояниях происходят конверсии (переворот спина протона) спиновых изомеров при наличии катализатора с градиентным магнитным полем [3, 9, 10], например триплетного кислорода O_2 с большим суммарным магнитным моментом спина двух электронов. Отметим, что спиновые орто- и параизомеры H_2O принципиально отличаются квантовыми свойствами.

Один из спиновых изомеров, ортоизомер H_2O , имеет магнитный момент, проявляется в ЯМР-томографе и всегда вращается [7–10]. Напротив, параизомеры H_2O не имеют магнитного момента, и часть из них не вращается (пропорционально заселенности нулевого вращательного уровня) при комнатной температуре в соответствии с распределением Больцмана. Изменение соотношения орто- и параизомеров, особенно в окрестности значений температуры особой точки в соответствии с резонансом (1), меняет способность молекул воды к образованию водородосвязанных комплексов и другие свойства воды [3, 9, 10]. Например, эти свойства проявляются в спиновой селективности [9, 10] связывания параизомеров H_2O в водных растворах при формировании гидратных оболочек макромолекул (белков, ДНК) [11, 12], что сопровождается увеличением коэффициента упругости раствора [13].

Таким образом, аномально большой нагрев воды [1] в потоке Гольфстрим в 2011 г. (см. рис.1), который не регистрировался ранее у берегов Новой Англии (Северная Каролина), неизбежно должен сопровождаться кратным уменьшением сил внутреннего трения (см. рис. 2) при температуре 19–20 °С, как показано в работе [3], и соскальзыванием с изогнутой траектории течения (как автомобиль на скользком повороте) и сохранением инерционного направленного движения на север. При этом течение

«проскакивает» прежнюю точку поворота на восток, несмотря на изгиб линии шельфа, а также «помощь» приводного ветра атлантического вихря. Существенно, что с понижением температуры в декабре 2011 г. (см. рис.1), которое сопровождается повышением вязкости и коэффициента трения (см. рис. 2), сила внутреннего трения возрастает и возвращает течение на прежнюю траекторию [1] поворота к Европе.

Для того чтобы иметь представление о масштабах последующих энергетических процессов при таких «маневрах», напомним, что течение Гольфстрим имеет ширину до 200 км на поверхности океана, глубину до 800 м и скорость перемещения до 10 км/ч. Весь этот объем воды переносит в арктический бассейн с запада на восток энергию, которую производил бы источник с эквивалентной мощностью $\sim 10^{15}$ Вт (несколько петаватт) (<http://sciencereform.narod.ru/GolfstrimRu.html>). Возможно, подогрев Гольфстрима в последние годы стал проявляться в заметном оголении от снега и льда именно западных берегов островов и архипелагов Арктики (Международная конференция «Открытая Арктика», Москва, 21.11.2014; <http://arctic-days.ru>).

Как упоминалось выше, начало понижения температуры слоя океана (см. профиль на рис. 1) в конце декабря 2011 г. до 17 °С (повышение вязкого трения на рис. 2) совпало с возвращением Гольфстрима на прежнюю траекторию.

Что же могло послужить причиной аномально большого повышения температуры и солености верхнего слоя течения Гольфстрим? Сформулированные в работе [1] предположения о том, что нагрев воды мог быть обусловлен возможным теплым тропическим ливнем, противоречат факту одновременного повышения солености в приповерхностном слое (рис. 1) и дают основание для поиска другого физического механизма нагрева океана. Для последующего обсуждения приведем результаты экспериментальных исследований — зондирования радужной нефтяной пленки на поверхности воды лидаром на диодном импульсном лазере с предельно малым (сравнимым с солнечным) уровнем излучения по плотности энергии [14].

На рис. 3 представлена схема лидарного зондирования поверхности акваторий с надводного корабля. Лидар был установлен на верхней палубе, на треноге со стандартным адаптером для крепления фото- или телекамеры, который обеспечивал поворот и фиксацию лидара по азимуту и углу места. Пучок лазера был направлен к поверхности под углом около 30°.

При зондировании радужной пленки нефти на водной поверхности было обнаружено новое явление — увеличение сигнала обратного рассеяния по сравнению с зондированием чистой поверхности воды, несмотря на «выглаживание» поверхности воды при наличии пленки. На рис. 4 сигналы лидарного зондирования в виде гистограммы распределения числа фотоотчетов (под огибающей импульса) от чистой поверхности воды (штрихованные столбцы) и от пятна с пленкой (сплошные

столбцы) сведены вместе для удобства сравнения и анализа. Отчетливо видно более чем 10-кратное увеличение сигнала обратного рассеяния от пятна с пленкой.

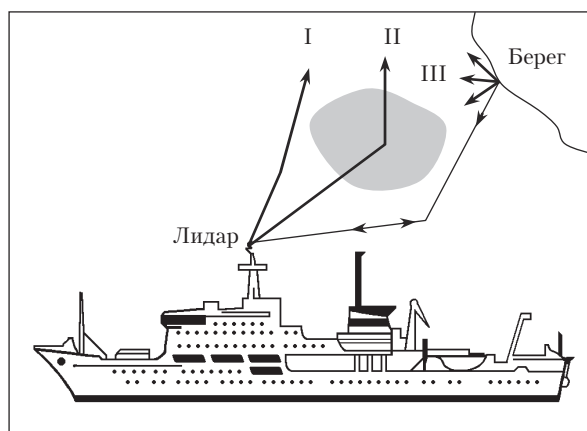


Рис. 3. Схема размещения лидара на корабле для зондирования загрязнения акваторий. Трассы I, II и III указывают направление пучка лидара на чистую поверхность воды (I), на пятно радужной пленки нефти (II) и на береговые объекты через двойное отражение от водной поверхности (III)

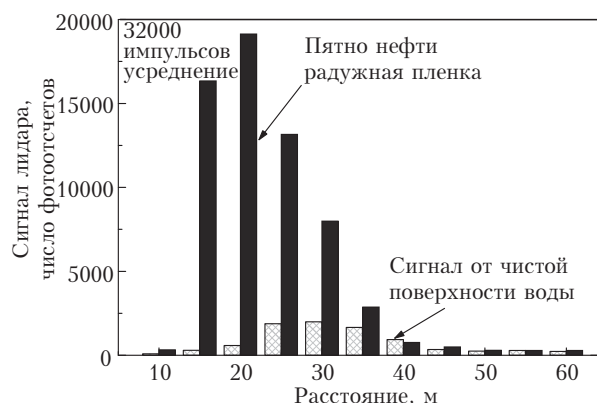


Рис. 4. Сигнал лидара обратного рассеяния от чистой поверхности воды (штрихованные столбцы) и от пятна радужной пленки нефти (сплошные столбцы)

Физический механизм этого явления до конца не ясен [14] и требует отдельного изучения. Одним из факторов увеличения сигнала обратного рассеяния здесь может быть переупаковка водородосвязанных комплексов воды в контактном слое, прилегающем к пленке. Ранее подобная переупаковка наблюдалась в граничном с полимером слое воды [15], из которого выталкивались (от стенки полимера в объеме) взвешенные в воде полистирольные микрошарики. Мы считаем, что наиболее вероятной структурой здесь могут быть кластеры воды с льдоподобной структурой водородных связей.

Особенно важно здесь то, что радужная пленка нефти (см. рис. 4) изменяет профиль рассеяния света и в толще приповерхностного слоя воды, несмотря на ее микронную толщину, сравнимую с длиной волны излучения, и высокую прозрачность. Известно, что чистая морская вода в условиях

штиля обеспечивает «доставку» до 10% солнечного света на глубину более 100 м. Принимая во внимание то, что коэффициент френелевского отражения морской поверхности 1–2% (рис. 5), можно считать, что основная доля солнечного излучения (рис. 6) идет на нагрев слоя толщиной 100 м и более. Обнаруженное увеличение коэффициента рассеяния света при наличии радужной пленки на поверхности указывает на изменение профиля коэффициента рассеяния под поверхностью и скорости нагрева воды приповерхностного слоя толщиной несколько десятков метров (см. рис. 1).

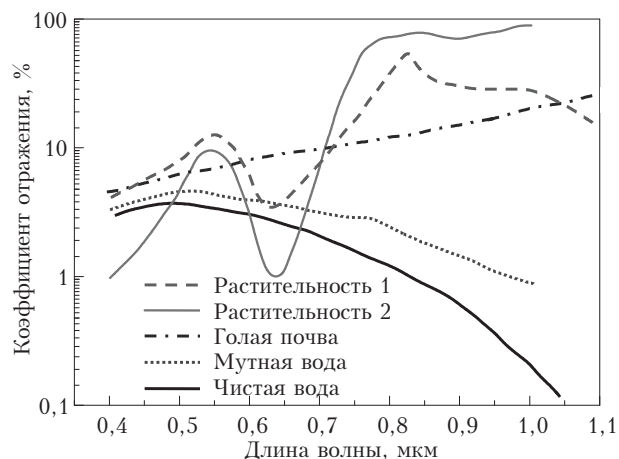


Рис. 5. Дисперсия коэффициента отражения (альбедо) пяти поверхностей: растений, почвы и акваторий в видимом и ближнем (до 1,1 мкм) ИК-диапазоне

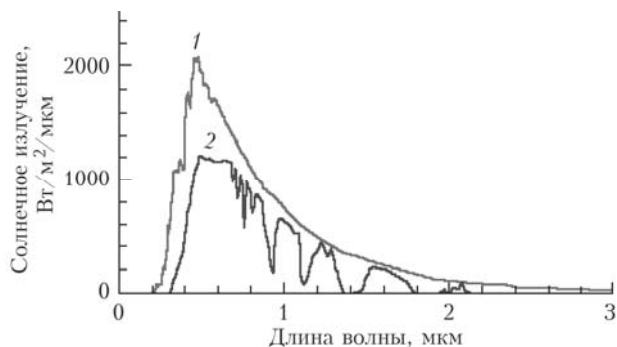


Рис. 6. Спектр мощности излучения Солнца вне атмосферы (1) и на уровне моря (2)

Кроме изменения профиля коэффициента рассеяния радужная пленка экранирует потери тепла (удельная теплота парообразования 2450 кДж/кг) на испарение воды (<http://www.seapeace.ru/oceanology/atmosphere/31.html>) при наличии в ней (нефти) помимо летучих (бензины, керосины и пр.) других высокомолекулярных углеводородов, масел и поверхностно-активных веществ (ПАВ) [16]. Известно [17], что пленки некоторых ПАВ толщиной в одну молекулу (около 20 Å) уменьшают испарение на десятки процентов. В этом случае прозрачная пленка пропускает солнечную радиацию в объем воды, уменьшает потери на испарение и обеспечивает подогрев воды как в классическом парнике. Заметим, что толстые (2–5 см) слои разлива нефти

также блокируют испарение при эффективной аккумуляции солнечной энергии из-за низкого альбедо (например, размягчение асфальтового покрытия в средних широтах), часть которой затрачивается на подогрев воды. Напомним, что после катастрофы 20.04.2010 г. в воды Мексиканского залива под давлением 770 атмосфер (!) ежесуточно попадало, по разным оценкам, от 5 до 100 тыс. баррелей нефти (здесь 1 баррель = 160 л). За несколько месяцев такой «производительности» десятки тысяч квадратных километров поверхности залива были покрыты нефтью в виде островов массивных пятен и радужной пленки (рис. 7).

Другим физическим механизмом уменьшения потерь на испарение воды при наличии радужной пленки на ее поверхности является сглаживание мелкомасштабных ветровых волн [17]. Под действием турбулентных пульсаций атмосферы на поверхности океана генерируются трехмерные гравитационно-капиллярные волны. Несмотря на небольшую высоту и длину (менее 2 см), эти волны увеличивают площадь поверхности до 20% [17]. Тогда при той же мощности нагревателя (солнечная постоянная, см. рис. 6) уменьшение площади поверхности на 20% из-за сглаживания мелкомасштабных волн и шероховатости радужной пленкой (рис. 8) будет сопровождаться уменьшением потерь на испарение. Отсюда следует, что только этот механизм обеспечивает увеличение тепловой энергии, которое будет приводить к дополнительному повышению температуры океана, что наблюдалось в потоке Гольфстрима (см. рис. 1) [11].

Важным фактором в балансе аккумуляции и потерь энергии нагрева океана после катастрофических разливов нефти являются также плавающие под поверхностью острова нефти. Огромного размера пятна (сотни километров) толщиной до 90 м не всегда разделяются на мелкие, и специалисты уже обнаружили гигантские подводные пятна-острова, дрейфующие по Мексиканскому заливу на глубине в сотни метров. Эти подводные «острова» эффективно поглощают солнечное излучение и остывают, передавая тепло в объем воды (без охлаждения ветром, когда они на поверхности, рис. 7). Иногда эти «острова» всплывают и загрязняют поверхность океана новой порцией легких фракций нефти, формируя пятна радужной пленки. Важно знать, что всплытие подобных островов может происходить и через годы. Например, на спутниковых изображениях Керченского пролива [18] было обнаружено (17.06.2008 г.) протяженное нефтяное пятно, которое поднялось на поверхность через 8 мес после аварии (11.11.2007 г.) танкера «Волга-Дон». Несомненно, что подобный подъем гигантских островов нефти происходил в Мексиканском заливе через год (когда был зарегистрирован сдвиг Гольфстрима [11]) после взрыва на платформе Deepwater Horizon компании Transocean. Учитывая их более мощный подогрев в условиях тропического лета, по сравнению с Керченским проливом [18], можно ожидать многократный подъем «островов» и образование гигантских пятен радужной пленки вокруг них.



Рис. 7. Пятна-островки и радужная пленка нефти в Мексиканском заливе после катастрофы на платформе Deepwater Horizon



Рис. 8. Снимок отчетливой границы большого пятна нефтяной пленки с борта вертолета. Видно, как мелкомасштабная рябь от винта вертолета на чистой поверхности воды сглаживается на границе участка с пленкой и отсутствует на поверхности с пленкой

Таким образом, рассмотренные выше физические механизмы показывают, что разливы массивной нефти с образованием радужной пленки в Мексиканском заливе после катастрофы 20.04.2010 г. и всплытие пятен в последующие годы неизбежно сопровождаются дополнительным подогревом океана на несколько градусов. Так, оценки температуры, сделанные Пудовым [19], показывают, что воды Мексиканского залива после этой аварии могли прогреваться до 30 °С и выше на толщину до 100 м (см. рис. 1), что является также мощным фактором зарождения, поддержки и усиления ежегодных разрушительных тайфунов и торнадо, число которых возросло после аварии 20.04.2010 г. Для нас

важно отметить, что петлеобразный участок Гольфстрима начал контактировать с пятнами разлива нефти уже 19.05.2010 г., как показали спутниковые изображения Европейского космического агентства. Так, летом—осенью 2011 г. Гольфстрим мог нагреться до 30 °С в петле в Мексиканском заливе и остывать при интенсивном испарении по мере освобождения поверхности от пленки и продвижения на север. Очевидно, что потеря воды при интенсивном испарении будет сопровождаться увеличением ее солености, что было зарегистрировано [1] на профиле солености (рис. 1), который почти подобен профилю температуры. Видно, что соленость воды уменьшается с температурой.

Проведенный анализ показал, что физическим механизмом аномально большого (около 200 км) смещения на север течения Гольфстрим летом—осенью 2011 г. у берегов Новой Каролины, скорее всего, является инерционное движение по прямой и сдвиг на повороте из-за кратного снижения сдвиговой вязкости воды [3] при ее подогреве до температуры особой точки 19–20 °С.

Учет квантовых отличий спиновых орто- (всегда вращается и имеет магнитный момент) и параизомеров (часть всегда не вращается и нет магнитного момента) H_2O в воде позволил обосновать [2] величины значений температур особых точек, которые не являются случайными. Эти температуры соответствуют условию (1) совпадения энергии теплового движения kT_c и вращательных квантов $h\Omega_{min}$ орто- и/или параизомеров H_2O , в окрестности которых скорость [7, 8] вариации отношения орто- и параизомеров (1:1) [20] возрастает и стремится к равновесному (3:1). Учитывая сильную неравновесность воды по спиновой температуре (1:1 соответствует температуре –240 °С и поэтому вода перегрета по спиновой температуре на 250–270 градусов [20]), следует ожидать увеличения отношения орто- и параизомеров в сторону равновесного (3:1). Увеличение отношения сопровождается увеличением числа ортоизомеров и кратным снижением вязкости (см. рис. 2 из работы [3]) из-за их постоянного вращения.

Нагрев воды, как следует из наблюдений за изменениями течения Гольфстрим [1] и свойств воды (см. рис. 2), является ключевым фактором его смещения, поскольку снижение температуры в декабре (см. рис. 1) сопровождалось возвращением течения на прежнюю траекторию. В данной статье было предложено и обосновано, что аномально высокий подогрев воды является следствием катастрофы и разлива нефти в Мексиканском заливе

с образованием радужной пленки на площади сотен тысяч квадратных километров.

Оценки специалистов [21] показывают, что к настоящему времени около 20% поверхности океана загрязнено продуктами разлива сырой нефти и радужной пленкой (см. рис. 9 из обзора [21]).

Заметим, что Арктика пока свободна (рис. 9) от радужной пленки, но отгрузка нефти на платформе «Приразломная», а также транспортировка нефти танкерами по Северному морскому пути несомненно ускорят ее загрязнение и изменение глобального климата, модели которого [5, 6] не учитывают пока влияние радужной пленки на процессы потепления планеты [17, 19]. Постоянный рост объема перевозок нефти по океанам и аварии требуют непрерывного мониторинга вариации площади радужной нефтяной пленки и других загрязнений Мирового океана лидарными средствами [14, 22–24] с борта беспилотных носителей. Эти подспутниковые измерения используются для последующей калибровки спутниковых изображений [18] в моделях глобального потепления [5, 6].

Следует также отметить, что прогресс в терагерцовой спектроскопии [25, 26] позволил подтвердить существование в воде до 2% свободно-вращающихся (как в газе) мономеров (спиновых изомеров) H_2O . Несомненно, что свободно-вращающиеся спиновые орто- и параизомеры будут отличаться индивидуальным спектром вращения [11, 12] и термоиндуцированными резонансными переходами (1). Графически выполнение условия (1) представлено на рис. 10.

Наличие узких резонансов мономеров H_2O [11–13, 25, 26] дает основание заключить, что повышение спектральной яркости изображения участков поверхности Гольфстрима (океана) на частоте $0,74\text{ см}^{-1}$ (1,35 см, 22,2 ГГц, переход $6_{16}-5_{23}$) ортоизомеров H_2O и снижение на частотах 183 ГГц

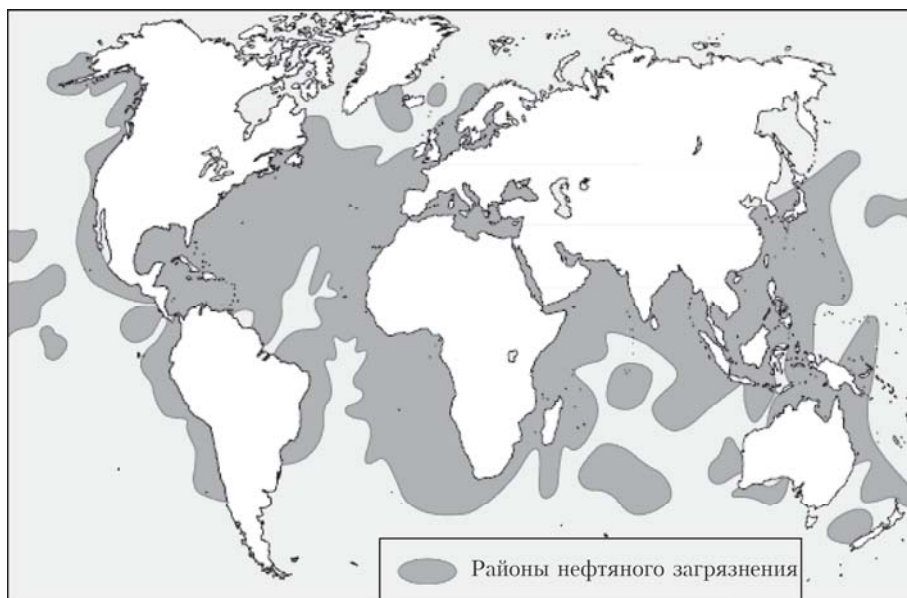


Рис. 9. Нефтяное загрязнение Мирового океана (по Ю.И. Мониной)

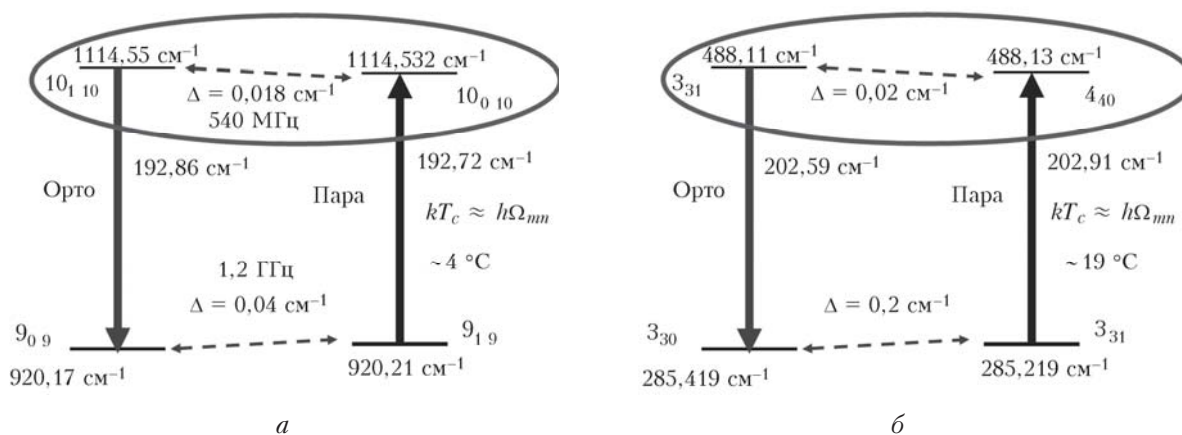


Рис. 10. Схема вращательных уровней спиновых орто- и параизомеров H_2O термоиндуцированных переходов в окрестности $4\text{ }^\circ\text{C}$ (а) и $19\text{ }^\circ\text{C}$ (б) соответственно и смешанных квантовых состояний близко расположенных верхних и нижних уровней [2]

и 325 ГГц параизомеров спутникового радиометра будут указывать на увеличение отношения орто- и параизомеров (как в атмосфере [27]) для прогноза вариации его траектории и учета в моделях глобального климата [5, 6].

1. Gawarkiewicz G.G., Todd R.E., Plueddemann A.J., Andres M., Manning J.P. Direct interaction between the Gulf Stream and the shelfbreak south of New England // Sci. Reports. 2012. V. 2. Article number 553. DOI: 10.1038/srep00553.
2. Pershin S.M. Coincidence of rotational energy of ortho-para molecules and translation energy near specific temperatures in water and ice // Phys. Wave Phenom. 2008. V. 6, N 1. P. 15–25.
3. Стебновский С.В. О сдвиговой прочности структурированной воды // Ж. техн. физ. 2004. Т. 74, вып. 1. P. 21–24.
4. Стоммел Г. Гольфстрим. Физическое и динамическое описание. М.: Изд-во ИЛ, 1963. 227 с.
5. Монин А.С., Жухарев Г.М. Океанские вихри // Успехи физ. наук. 1990. Т. 160, вып. 5. С. 1–47.
6. Семенов В.А., Шелехова Е.А., Мохов И.И., Зуев В.В., Колтерманн К.П. Роль Атлантического долгопериодного колебания в формировании сезонных аномалий температуры воздуха в Северном полушарии по модельным расчетам // Оптика атмосф. и океана. 2014. Т. 27, № 3. С. 215–223. Semenov V.A., Shelekhova E.A., Mokhov I.I., Zuev V.V., Koltermann K.P. Role of the Atlantic Multidecadal Oscillation in Formation of Seasonal Air Temperature Anomalies in the Northern Hemisphere According to Model Calculations // Atmos. Ocean. Opt. 2014. V. 27, N 3. P. 253–261.
7. Cosleou J., Herlemont F., Khelkhal M., Legrand J., Chapovsky P.L. Nuclear spin conversion in CH_3F induced by an alternating electric field // Eur. Phys. J. D. 2000. V. 10. P. 99–104.
8. Chapovsky P.L. New access to very weak interactions in molecules // J. Phys. B. 2001. V. 34. P. 1123–1131. URL: arXiv:physics/0011043
9. Першин С.М. Влияние квантовых отличий орто-пара спиновых изомеров H_2O на свойства воды // Биофизика. 2013. Т. 58, № 5. С. 910–918.
10. Першин С.М. Эффект Коновалова в водных растворах низких концентраций: роль спиновых орто-параизомеров H_2 // Доклады АН. 2014. Т. 455, № 1. С. 44–47.
11. Бункин А.Ф., Нурматов А.А., Першин С.М. Когерентная четырехфотонная спектроскопия низкочастотных либраций молекул в жидкости // Успехи физ. наук. 2006. Т. 176, № 8. С. 883–889.
12. Бункин А.Ф., Першин С.М., Хусаинова Р.С., Потехин С.А. Спин-изомерная селективность молекул воды при гидратации ДНК // Биофизика. 2009. Т. 54, № 3. С. 396–401.
13. Бункин А.Ф., Першин С.М. Низкочастотная спектроскопия биомолекул в водных растворах с помощью четырехволнового взаимодействия // Квант. электрон. 2010. Т. 40, № 12. С. 1098–1102.
14. Pershin S.M. Oil spills detection by portable micro-pulse eye-safe backscattering lidar // Phys. Vibr. 2001. V. 9, N 3. P. 192–196.
15. Pollack G.H. Fourth Phase of Water. Seattle WA, USA: Ebner&Sons Publishers, 2013. 357 p.
16. Коротков П.А., Писанский А.И. Лидарные методы обнаружения нефтяных загрязнений акваторий. Киев: Изд-во Киевского ун-та им. Тараса Шевченко, 1989. 252 с.
17. Петриченко С.А., Пудов В.Д., Ярошевич М.М. Метод индикации депрессоров испарения на поверхности воды // Водные ресурсы. 1985. Т. 12, № 6. С. 167–170.
18. Churyumov A.N., Kravtsov Yu.A., Lavrova O.Yu., Litovchenko K.Ts., Mityagina M.I., Sabinin K.D. Resonant and nonresonant mechanisms of forming space radar images of the ocean // Adv. Space Res. 2002. V. 29, N 1. P. 111–116.
19. Пудов В.Д. Загрязнение Мирового Океана и парниковый эффект // Гидрометеобезопасность. 2007. Т. 4, № 1. С. 83–91. URL: http://www.dex.ru/riskjournal/2007/2007_4_1/83-91.pdf
20. Pershin S.M., Bunkin A.F. Temperature Evolution of the Relative Concentration of the H_2O ortho/para Spin Isomers in Water Studied by Four-Photon Laser Spectroscopy // Laser Phys. 2009. V. 19, N 7. P. 1410–1414.
21. Антропогенное загрязнение Мирового океана и его охрана. URL: <http://www.e-reading.link/chapter.php/127765>
22. Bunkin A.F., Voliak K.I. Laser Remote Sensing of the Ocean. Methods and Applications. New York; Chichester; Weinheim; Brisbane; Singapore; Toronto: John Wiley&Sons Inc., 2001. 244 p.
23. Жухарев Г.М. Океанские вихри // Успехи физ. наук. 1990. Т. 160, вып. 5. С. 1–47.

24. *Bunkin A.F., Klinkov V.K., Lednev V.N., Lushnikov D.L., Marchenko A.V., Morozov E.G., Pershin S.M., Yulmetov R.N.* Remote sensing of seawater and drifting ice in Svalbard fjords by compact Raman LIDAR // *Appl. Opt.* 2012. V. 51, N 22. P. 5477–5485. URL: <http://dx.doi.org/10.1364/AO.51.005477>
25. *Yada H., Nagai M., Tanaka K.* Origin of the fast relaxation component of water and heavy water revealed by terahertz time-domain attenuated total reflection spectroscopy // *Chem. Phys. Lett.* 2008. V. 464. P. 166–170.
26. *Пеньков Н.В., Яшин В.А., Фесенко Е.Е.(мл), Фесенко Е.Е.* Расчет количества свободных молекул воды в водных растворах с помощью спектральных параметров из ТГц области с учетом процессов экранировки // *Биофизика.* 2014. Т. 59, № 3. P. 428–431.
27. *Троицкий А.В., Кутай Ш.Д., Ошарина Н.Н.* Исследование теплового микроволнового излучения земной атмосферы в условиях нарушения спин-изомерного равновесия водяного пара // *Сб. докладов XXII Всерос. конф. по распространению радиоволн.* Ростов-на-Дону: Изд-во Южного Гос. ун-та. 2008. Т. 1. С. 271.

S.M. Pershin. Mechanism of the Gulf Stream anomaly shift in 2011.

A new physical mechanism of Gulf Stream abnormally large heating (up to 20 °C) and current shifting to the North (~200 km) in the summer 2011 off the coast of New Carolina was suggested and discussed. The key point is a tenfold decrease of sea water shear viscosity due to conversion of H₂O para-ortho spin isomers when heated to a temperature singular point (19–20 °C). This results in Gulf Stream shifting from the previous trajectory due to an inertial motion in a straight line. The observed phenomenon was triggered by Deepwater Horizon disaster in the Gulf of Mexico in 2010. The huge oil eruption resulted in iridescent film formation over a hundreds of thousands of square kilometers area (<http://newsland.com/news/detail/id/1218207>). The thin oil film dramatically changed the solar radiation absorbance and sea water thermodynamics, blocked the evaporation.