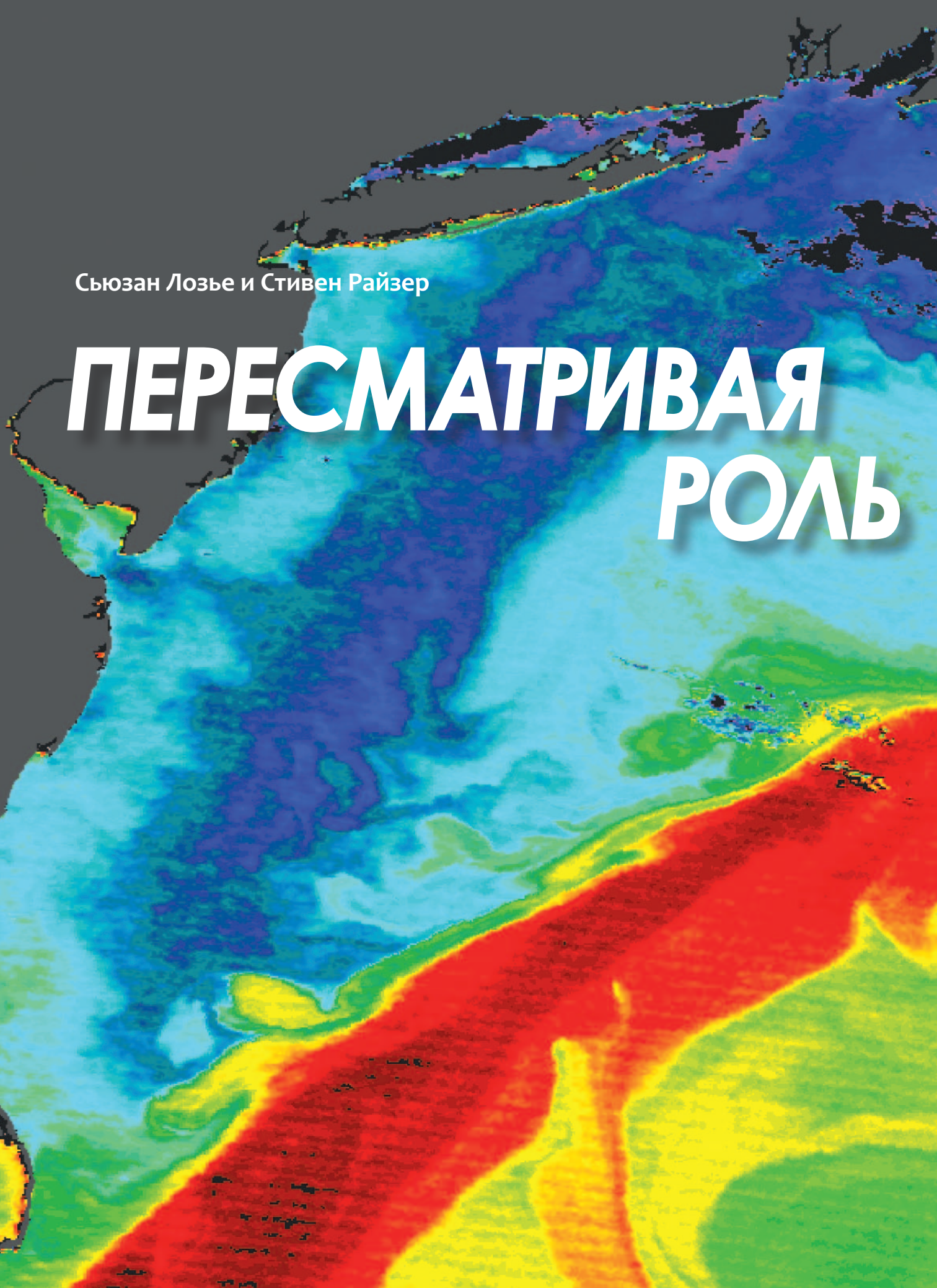
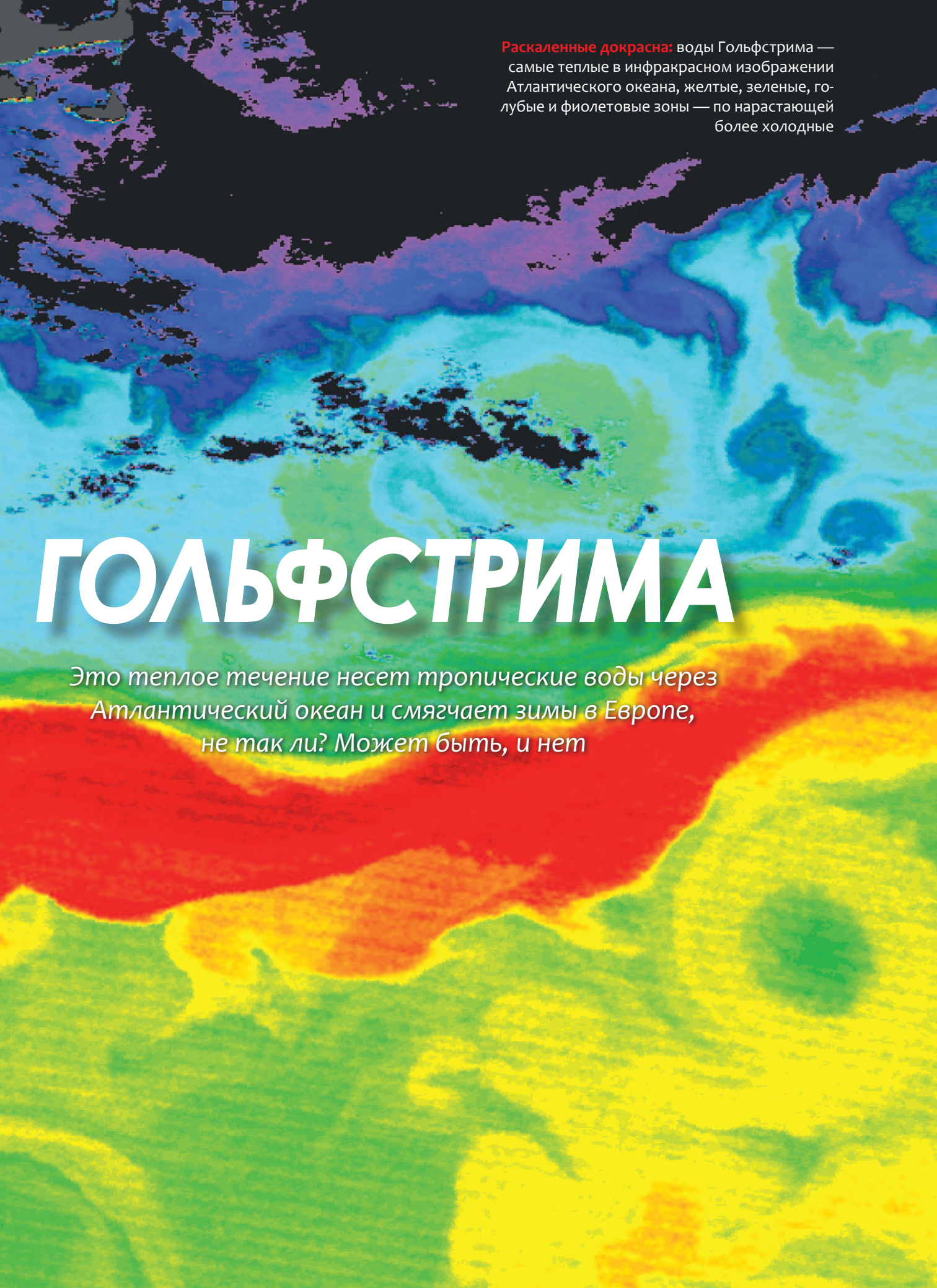
Сьюзан Лозье и Стивен Райзер

ПЕРЕСМАТРИВАЯ РОЛЬ





Раскаленные докрасна: воды Гольфстрима — самые теплые в инфракрасном изображении Атлантического океана, желтые, зеленые, голубые и фиолетовые зоны — по нарастающей более холодные

ГОЛЬФСТРИМА

Это теплое течение несет тропические воды через Атлантический океан и смягчает зимы в Европе, не так ли? Может быть, и нет

ОБ АВТОРАХ

Сьюзан Лозье (M. Susan Lozier) — специалист по физической океанографии, профессор Школы по изучению окружающей среды им. Николаса при Университете Дьюка, участник Научной группы США по изучению меридиональной циркуляции в Атлантическом океане.

Стивен Райзер (Stephen C. Riser) — океанограф, профессор Вашингтонского университета; с давних пор член национальной ассоциации и международной организационной группы *Argo*.

В течение столетия школьники учили, что крупное океаническое течение под названием Гольфстрим (меняющее названия по ходу движения) несет теплые воды из тропической зоны Атлантического океана к северо-западным берегам Европы. Здесь его воды согревают воздушные массы, которые проникают вглубь суши, делая зимы в Европе мягче, чем на Северо-Востоке США.

Возможно, пришло время пересмотреть эту складную историю. Бурное развитие интереса к мировому климату побудило ученых всесторонне изучить влияние Гольфстрима и его продолжений на климат. Исследователи обнаружили, что воздействие этой системы течений не так определенно, как представлялось в русле традиционных знаний. На основе данных изучения океанов и моделирования появились новые объяснения, почему зима в Северной Европе в целом менее сурова, чем на тех же широтах на Северо-Востоке США и Канады, но модели по-разному показывали роль Гольфстрима. Одно из объяснений также проливает свет на то, почему зима на Северо-Западе США теплее, чем на противоположной стороне Тихого океана в России.

В то же время последние исследования бросили тень сомнения на известное предположение, возникшее несколько лет назад, что таяние ледников в Северном Ледовитом океане могло бы остановить Гольфстрим, полностью изменив порядок формирования погоды в Европе. Тем не менее в этих исследованиях существует догадка, что глобальные изменения климата могли бы по крайней мере подействовать на силу Гольфстрима, что ослабит влияние общемирового потепления на Северную Европу.

Альтернативные теории

На климат в различных частях мира прежде всего влияет шарообразность Земли. Поскольку в низких широтах солнечные лучи падают на земную поверхность почти или полностью отвесно, здесь они приносят больше тепла на единицу площади, чем в более высоких широтах. Это различие в нагревании поверхности Земли служит причиной перемещения воздушных масс в атмосфере и перераспределения тепла, переноса его из тропического пояса к полюсам. Мировой океан, покрывающий 70,8% поверхности Земли, также играет важную роль

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

- Три новых направления климатических исследований показывают, что наше прежнее понимание роли Гольфстрима в смягчении зимней погоды в Европе может быть не вполне верным. В этих исследованиях высказываются различные взгляды.
- В двух работах чрезвычайно большая роль приписывается направлению господствующих ветров, а в третьем центральное место занимают потери тепла океаном.
- На многих климатических моделях показано, что обширное таяние ледников в Северном Ледовитом океане в действительности не заглушит Гольфстрима, как считалось ранее.
- Вопрос о влиянии океанов на климат в Европе и в других местах по всему миру должен прояснится в течение десятилетия. Сегодня в глобальной сети *Argo*, включающей более 3 тыс. буев-измерителей, можно получить практически в режиме реального времени карты распределения температур и солености океанов на глубине до 2 тыс. м.

PRECEDING PAGES: COURTESY OF PETER MINNETT AND BOB EVANS University of Miami/MODIS/NASA

в этом перераспределении. Верхний двухметровый слой океана накапливает больше солнечного тепла, чем вся атмосфера над океаном, т.к. удельная теплоемкость (показатель, определяющий способность запасать тепло) кубометра воды приблизительно в 4 тыс. раз больше, чем того же объема воздуха (и примерно в четыре раза больше, чем почвы). Температура воды в верхнем слое океана (100–200 м) на средних широтах может меняться на 10° *C* в течение года, при этом накапливается и высвобождается огромное в сравнении с атмосферой и поверхностью суши количество тепла. И, поскольку океанические течения, такие как Гольфстрим, переносят океанические воды из одних районов Мирового океана в другие, тепло, накопленное в одном месте, может затем быть высвобождено в атмосферу в другом на расстоянии тысяч километров.

Учитывая эти перемещения и способность океана сохранять тепло, нетрудно сделать предположение, что океанические течения могут быть причиной того, что зимние температуры воздуха в Ирландии, расположенной на востоке Атлантики на 50° с.ш., почти на 20° *C* выше, чем примерно на тех же широтах на западе Атлантического океана в районе Ньюфаундленда. Таким же образом средняя температура воздуха на 50° с.ш. в восточной части Тихого океана около Ванкувера на 20° *C* выше, чем на той же широте у южной оконечности русского полуострова Камчатка.

В XIX в. географ и океанограф Мэтью Фонтейн Мори (Matthew Fontaine Maury) первым приписал относительно мягкий климат Северо-Западной Европы влиянию Гольфстрима и его продолжений. Это мощное океаническое течение сначала имеет северное направление, проходя вдоль юго-восточных берегов США и перенося теплые воды из субтропиков и тропиков. Приблизительно на широте мыса Хаттерас, штат Северная Каролина, Гольфстрим поворачивает на северо-восток и уходит в Атлантический океан. Мори высказывал догадку, что Гольфстрим обеспечивает теплом дующие над ним с запада ветры, направляющиеся через Атлантический океан к Северо-Западной Европе. Он также полагал, что если Гольфстрим каким-то образом потеряет силу, то зимние ветры будут значительно холоднее и в Европе наступят зимы с господством воздушных масс из Арктики. Через многие годы теория Мори стала почти аксиомой, при этом вплоть до недавнего времени она оставалась по большей части непроверенной на практике.

Примерно десять лет назад Ричард Сигер (Richard Seager) из Геофизической обсерватории им. Ламонта — Догерти Колумбийского университета и его коллеги нашли новое объяснение теплым зимам в Европе, которое не имеет ничего общего с Гольфстримом. На моделях Сигера видно, что, когда атмосферное струйное течение, обтекающее земной шар с запада на восток, попадает в Скалистые горы, оно начинает отклоняться на север и юг. В результате возникают ветры, дующие с северо-запада по западной стороне Атлантического океана и с юго-запада по восточной. Северо-западные ветры приносят холодный континентальный воздух на Северо-Восток США, в то время как юго-западные ветры несут теплый морской воздух на Северо-Запад Европы.

С этой точки зрения тепло, смягчающее климат Европы, — не заслуга Гольфстрима. Это тепло, накопленное у берегов Европы в стометровом слое океана в летний период, высвобождается в атмосферу зимой, когда юго-западные ветры перемешивают поверхностные воды океана. Согласно этому сценарию, классическая гипотеза Мори неверна: температурные различия западной и восточной сторон Атлантического океана устанавливают крупномасштабное распределение ветров при встрече с цепями гор плюс местный запас тепла в водах океана вблизи Европы.

Важно отметить, что при создании Сигером модели не был прямо учтен перенос тепла океаническими водами, но это вскоре нашло отражение в исследовании Питера Райнеса (Peter Rhines) из Вашингтонского университета и Сирпы Хаккинена (Sirpa Hakkinen) из Центра космических полетов *NASA* им. Годдарда. Они выдвинули встречный довод, который дал некоторую поддержку историческим воззрениям Мори уже на современном уровне. После просмотра архивных документов с данными о температурах на поверхности океана оба океанографа сделали заключение, что количества тепла, накопленного в верхнем слое восточной части Атлантического океана на широтах Северной Европы, достаточно, чтобы поддержать температуру воздуха на уровне мягкой зимы только в течение декабря среднестатистического года. Дополнительное тепло для смягчения погоды в остальную часть зимы надо добыть откуда-то еще. Наиболее вероятный источник — текущий в северо-восточном направлении Гольфстрим.

Измерения показали, что на 35° с.ш. — почти широта Северной Каролины — в северном направлении переносится около 0,8 ПВт тепловой энергии, главным образом Гольфстримом. На 55° с.ш. (на этой широте расположен Лабрадор в Канаде) этот перенос тепла в сторону полюса ничтожно мал. Куда же поступает тепло? Райнес и Хаккинен полагали, что оно уходит из океана в атмосферу на всем протяжении Гольфстрима и его продолжений. Затем преобладающие ветры переносят тепло в восточном направлении, где оно смягчает климат Европы. Райнес и Хаккинен по существу свидетельствовали в пользу теории Мори, а Сигер выступал против, выделяя роль атмосферного струйного течения.

В 2011 г. Йохай Каспи (Yohai Kaspi) из Научно-исследовательского института им. Вейцмана в Реховоте, Израиль, и Тапио Шнайдер (Tapio Schneider) из Калифорнийского технологического института огласили третью гипотезу, основанную на новейших численных моделях атмосферы и океанов. Они допускали частичную верность обоих сценариев, как Сигера, так и Райнеса, но основное внимание направили на распределение атмосферного давления. На модели Каспи и Шнайдера показано, что отток тепла из океана в атмосферу на пути Гольфстрима, там, где он отходит от восточного берега США, создает к востоку стационарную систему низкого

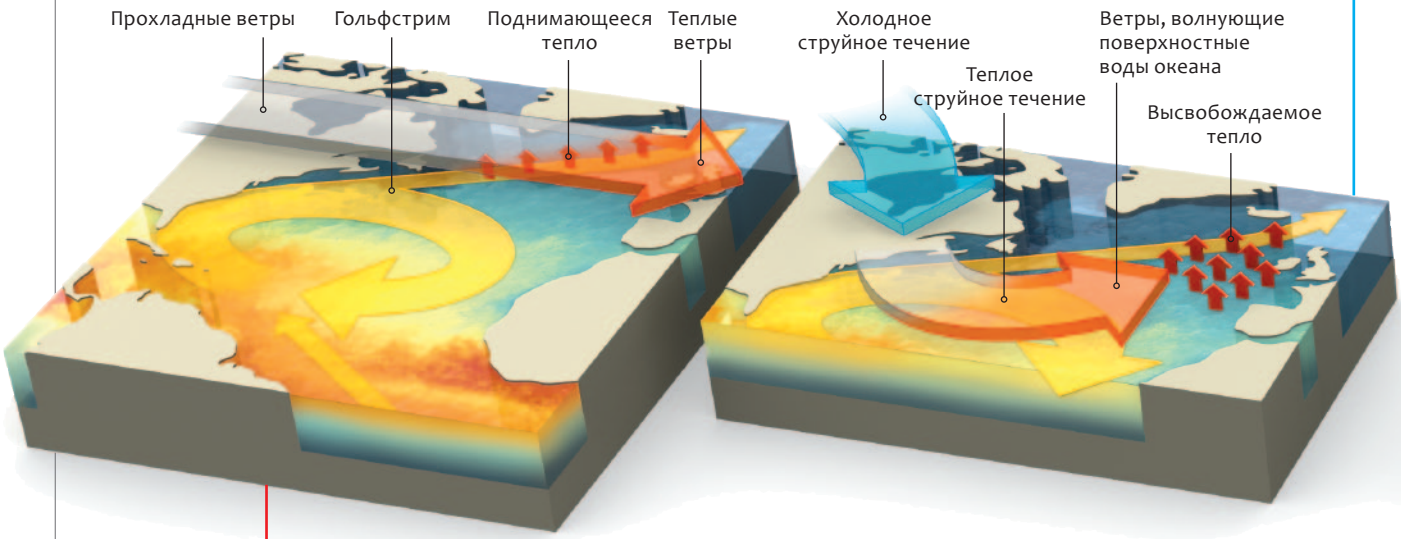
Альтернативные теории

ПОЧЕМУ ЗИМА В ЕВРОПЕ ТЕПЛЕЕ

На протяжении столетия принималось объяснение, что благодаря теплым водам Гольфстрима зимы в Европе мягче, чем на той же широте на североамериканской стороне Атлантического океана. Но новые объяснения подчеркивают роль струйного течения (господствующие ветры) и арктического воздуха.

Новая теория № 1: струйное течение

Извивающееся струйное течение движется с юго-запада по направлению к Европе. На поверхности океана ветры волнуют эти теплые воды, высвобождая тепло, которое накапливалось водой в летний период.



Классическая версия неверна

Гольфстрим несет теплые тропические воды вдоль побережья Юго-Востока США, а затем пересекает Атлантический океан, направляясь к Европе. Согласно старым представлениям, эти воды, достигая Европы, нагревают над собой воздух. Ветры уносят этот воздух вглубь суши.

атмосферного давления на европейской стороне Атлантического океана. Формируется также стационарная система высокого давления к западу, над восточной оконечностью Северной Америки. По ряду причин в итоге такое распределение приводит к тому, что установившаяся система низкого давления снабжает теплым воздухом Западную Европу посредством юго-западных ветров струйных течений, которые всю зиму собирают тепло, выделяемое Гольфстримом и его продолжениями. Постоянное высокое давление затягивает холодный воздух из Заполярья, остужая восточную часть Северной Америки и усиливая разницу температур между Северной Америкой и Европой.

Таким образом, климатические различия в Атлантическом океане проистекают не только из подогрева Западной Европы, но и из выхолаживания Северной Америки. В обоих регионах устанавливаются свои особенные температурные режимы благодаря характеру атмосферной циркуляции, обусловленной потерей тепла океаном на пути следования Гольфстрима.

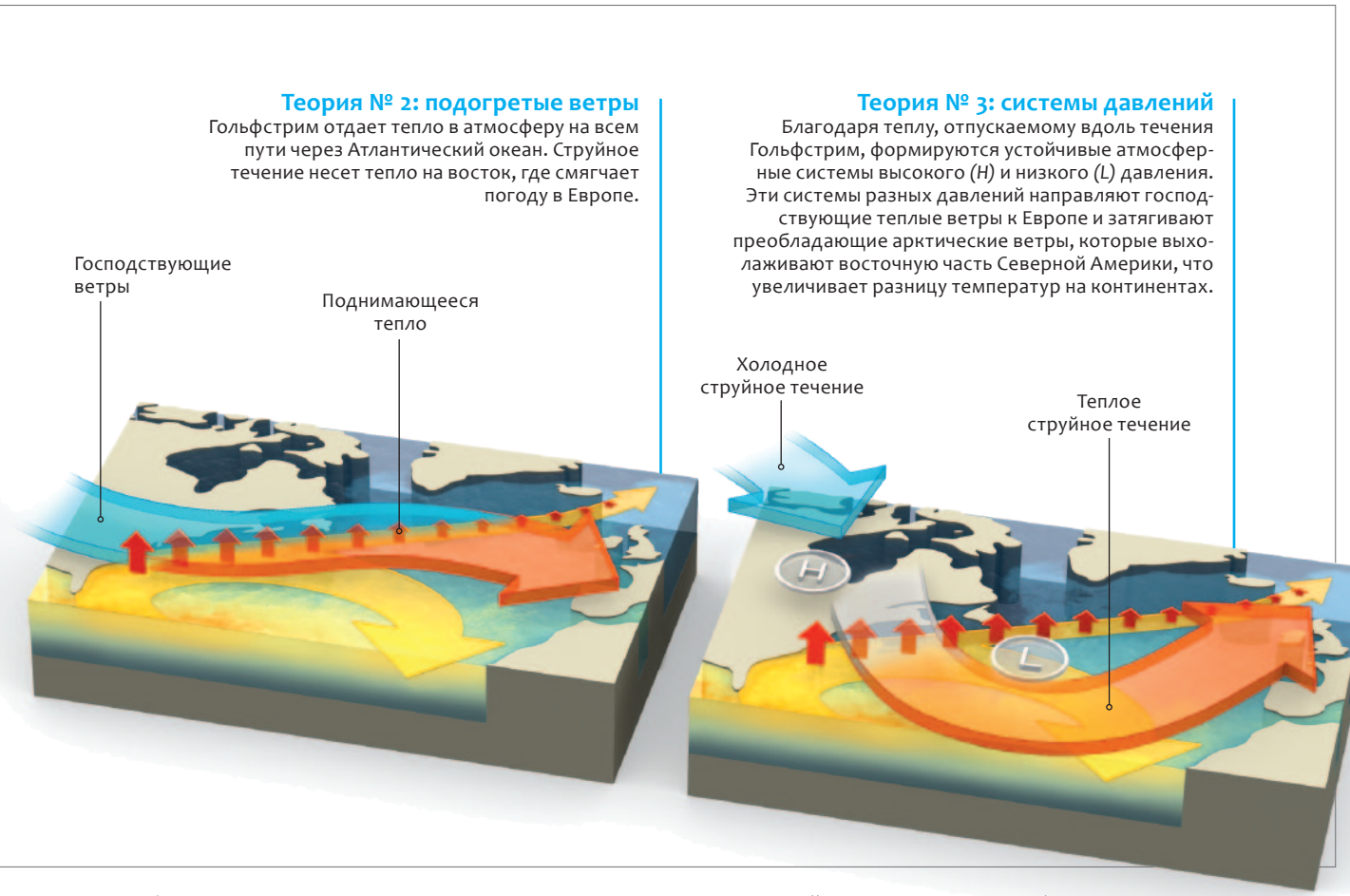
Тем не менее количество тепла, потерянного Гольфстримом, которое необходимо, чтобы установить данный режим циркуляции, не может быть получено только за счет среднеатлантического тепла, запасенного летом. Необходимо также тепло, принесенное Гольфстримом из более низких широт. В этом смысле Каспи и Шнайдер выдали кредит доверия ранним представлениям Мори. Хотя модели систем низкого и высокого атмосферного давления были созданы без всякого учета влияния на струйное течение Скалистых гор, в этой новой работе была подчеркнута важность юго-западных ветров в процессе обеспечения теплом Европы.

Примечательно, что модель Каспи — Шнайдера также объясняет, почему на западе штата Орегон, в штате Вашингтон и в канадской провинции Британская Колумбия зимы намного мягче, чем на Камчатке. Этот контраст двух сторон Тихого океана никогда раньше не приписывался существованию течения Куросио, аналогу Гольфстрима в Тихом океане, прежде всего потому, что Тихий океан значительно больше Атлантического, а Куросио намного слабее большей части Гольфстрима. Кроме того, из модели Каспи — Шнайдера следует, что потеря тепла над Куросио может создать устойчивую систему атмосферного давления наподобие той, что сформировалась в Атлантическом океане вблизи Гольфстрима. Эта система может поставлять полярный воздух в Северо-Западную Азию посредством северо-западных ветров, а юго-восточные ветры могут приносить более теплый воздух на север тихоокеанского побережья США.

Выключение Гольфстрима

Вопрос, какая модель верна, остается открытым, хотя сценарий Каспи — Шнайдера кажется достоверным. Вторая часть гипотезы Мори, что приостановка

Illustration by Emily Cooper



Гольфстрима может повлечь суровые зимы в Северо-Западной Европе, в последнее время также вызвала большой интерес. Многие годы понимание влияния Гольфстрима на изменение климата сводилось к следующему вопросу: если при потеплении климата будут таять арктические ледники, то затормозит ли избыток пресной воды, стекающей в Атлантический океан на севере, процессы перемешивания и приостановит ли это течения системы Гольфстрима, тем самым лишив Северо-Западную Европу важного источника тепла?

При перемешивании теплые поверхностные воды в северной части Атлантического океана перемещаются к Северному полюсу, а глубинные холодные воды движутся на юг к экватору. Эти неглубокие и глубинные течения соединяются и образуют что-то похожее на конвейерную ленту, где происходит опускание поверхностных вод на высоких широтах в северных морях у Лабрадора и поднятие глубинных вод на поверхность в разных местах мира. По сути дела, холодные воды, которые опускаются в самой северной части Атлантического океана, замещаются относительно теплыми поверхностными водами, которые поднимаются отовсюду в Мировом океане.

Согласно многим сценариям потепления климата, таяние арктических ледников принесет много дополнительной пресной воды в океан в высоких широтах. Поскольку соленость (а также плотность) пресной воды меньше морской, то она, вероятно, будет находиться в поверхностном слое. В результате текущий в северо-восточном направлении поток вод течений системы Гольфстрима может сократиться. В альтернативных сценариях предусматривается, что образующиеся в высоких широтах излишки пресной воды могут развернуть Гольфстрим далее к югу или уменьшить его силу. В обоих случаях ослабленные или изменившие направление течения системы Гольфстрима дали бы меньше тепла зимней Европе. Согласно четким прогнозам на многих моделях, ослаблению перемешивания вод соответствует последующее охлаждение климата в северной части Атлантического океана и Северо-Западной Европе.

Недавно проведенные исследования на моделях с уточненными данными по океаническим течениям показывают, что арктические пресные талые воды могут проникнуть в основном в течения, которые большей частью проходят близ береговой линии и тем самым имеют меньшее влияние на открытый океан, где главным образом и происходит опускание вод. Если даже пресные воды сильно разбавят опускающиеся воды в северной части Атлантического океана, вряд ли эти изменения могли бы сильно сократить мощь течений системы Гольфстрима. Остановка Гольфстрима маловероятна еще и потому, что вектор и сила этих течений в значительной степени зависят от скорости и направления мощных ветров средних широт. В большинстве сценариев

изменения климата главное направление крупномасштабных ветров при таянии арктических ледников существенно не меняется, следовательно, основное направление и сила течений системы Гольфстрима также значительно не изменятся. Однако северо-восточное ответвление системы Гольфстрима, Норвежское и Шпицбергенское течения, относительно небольшой поток, приносящий теплые поверхностные воды в Заполярье, потенциально может быть нарушен. Итак, совокупность доказательств говорит в пользу того, что Гольфстрим устоит, но не совсем ясно, сколько воды он вынесет в северные широты в зависимости от разных климатических условий.

Больше данных, больше точность

До настоящего времени ответы на вопрос о том, как изменение климата может повлиять на погоду в Европе, строились в основном на исследованиях на моделях. Однако в этих экспериментах заложено много неточностей, которые можно исключить, используя больше данных об океанах. Результатов наблюдений в открытом океане, которым более 100 лет, мало, но есть данные мониторинга со спутников за последние 30 лет.

В следующие десять лет использование данных о поверхности океанов, полученных со спутников, компьютерных моделей и в результате более длительных подводных исследований в рамках Argo, может стать основой для новой точной оценки роли океанов в формировании климата

Недавно ученые весьма преуспели в создании базы данных об океане благодаря проекту *Argo* — непрерывному сбору измерений температуры и солености более чем с 3 тыс. датчиков, плавающих по всему свету. Сеть *Argo* развернута и функционирует силами США и более 30 других стран, и ученые могут располагать практически в реальном времени картами температур и солености верхнего слоя Мирового океана толщиной в 2 тыс. м. Вся сеть была введена в действие менее чем за десять лет, и сейчас мы начинаем эффективно ее использовать для наблюдений связи между атмосферными колебаниями и крупномасштабными изменениями в океане.

Например, сравнение данных, собранных в сети *Argo*, с наблюдениями, проведенными в 80-х гг. XX в. Дином Реммихом (Dean Roemmich) и Джоном Джилсоном (John Gilson) из Института океанографии им. Скриппса, показывает, что несколько сот метров поверхностных вод океана за последние 20 лет потеплели на 0,2° *C*. Соленость в верхних слоях Мирового океана также возросла ненамного — на 0,1%, но все же ниже нескольких сот метров океанические воды представляются значительно более пресными, чем в предыдущие десятилетия. Вопрос о том, повлияют ли эти изменения на климат в Европе или других местах, остается открытым, но результаты, полученные в рамках выполнения проекта *Argo*, дают ключи к его пониманию. Что касается Земли в целом, ей не жарко и не холодно, приток солнечного тепла должен быть равен излучению Земли в космическое пространство. Накопление парниковых газов в атмосфере очевидно нарушает это равновесие. Наблюдаемое в верхних слоях океана потепление на 0,2° *C* соответствует тому, что поступающей на Землю солнечной радиации становится больше, чем уходящей в космос, примерно на 1 Вт на 1 кв. м.

Предварительные результаты наших наблюдений с океанических станций дают мощную базу для построения теоретических выкладок и моделей климата. Они также могут послужить практическим указанием на то, что может произойти в ближайшие десятилетия. По наблюдениям ученых, в следующие десять лет использование данных о поверхности океанов, полученных со спутников, компьютерных моделей и в результате более длительных подводных исследований в рамках *Argo*, может стать основой для новой точной оценки роли океанов в формировании климата. На этом этапе мы сможем определить, каким образом Гольфстрим будет воздействовать на изменение климата нашей изобилующей водой планеты. ■

Перевод: В.И. Сидорова

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ИСТОЧНИКИ

■ Is the Gulf Stream Responsible for Europe's Mild Winters? R. Seager et al., Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, Vol. 128, No. 586, pages 2563–2586; October 2002.

■ The 2004–2008 Mean and Annual Cycle of Temperature, Salinity, and Steric Height in the Global Ocean from the Argo Program. Dean Roemmich, John Gilson, Progress in Oceanography, Vol. 82, No. 2, pages 81–100; August 2009.

■ Winter Cold of Eastern Continental Boundaries Induced by Warm Ocean Waters. Yohai Kaspi, Tapio Schneide, Nature, Vol. 471, pages 621–624; March 31, 2011.

■ Подробности о проекте Argo и 3 тыс. буев-измерителей, дрейфующих в Мировом океане, см. по адресу: ScientificAmerican.com/feb2013/riser