

УДК 551.513.22

ОСОБЕННОСТИ ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ АДВЕКТИВНОГО ПОТОКА ТЕПЛА В ТРОПОСФЕРЕ НАД ТИХИМ И АТЛАНТИЧЕСКИМ ОКЕАНАМИ В СЕВЕРНОМ ПОЛУШАРИИ ЗА 1979–2018 гг.

© 2021 г. Е. И. Морару^а, *, С. В. Логинов^а, Е. В. Харюткина^а

^аИнститут мониторинга климатических и экологических систем СО РАН,
просп. Академический, 10/3, Томск, 634055 Россия

*e-mail: MoraruEI@yandex.ru

Поступила в редакцию 26.04.2021 г.

После доработки 02.06.2021 г.

Принята к публикации 09.06.2021 г.

В работе по данным реанализа проводится исследование пространственно-временной изменчивости адвективного теплопереноса в атмосфере над океанами в Северном полушарии за период 1979–2018 гг. Максимальное увеличение интенсивности адвективного теплопереноса в начале XXI в. наблюдается в слое тропосферы 850–500 гПа в районах Тихого океана на их северной и южной границах. Получено, что области интенсивного выноса и притока тепла располагаются вблизи границ меридиональных ячеек циркуляции – в субтропических и субполярных круговоротах океанов соответственно. Межгодовая изменчивость теплопереноса в обоих океанах, как правило, обусловлена влиянием процессов атмосферной циркуляции. Изменение характеристик переноса внутри выявленных районов, в которых наблюдается дисбаланс адвекции тепла, позволяет говорить о возможном влиянии выноса тепла из этих регионов на возникновение аномалий температуры воздуха на прилегающих территориях.

Ключевые слова: адвективный перенос тепла, бокс-моделирование, ячейки меридиональной циркуляции, индексы атмосферной циркуляции, центры действия атмосферы, Северное полушарие

DOI: 10.31857/S0002351521050114

1. ВВЕДЕНИЕ

В климатической системе около 90% избыточного тепла поглощается океаном, а остальные 10% расходуются на нагревание поверхности суши и атмосферы [1]. Поглощенное океаном тепло распределяется неравномерно, вследствие чего формируются области повышенного теплообмена, которые часто определяются как источники тепла [2, 3]. Как правило, эти области расположены в западных частях Тихого и Атлантического океанов.

В изменчивости процессов тепло- и влагообмена важную роль играет атмосферная циркуляция, в частности, адвекция воздушных масс (зональная и меридиональная), которая осуществляет межширотный обмен теплом и влагой, а также их перенос между океаном и материком. В начале и в конце XX в. преобладала меридиональная циркуляция, а между этими интервалами – зональная [4]. В некоторых случаях степень вклада адвекции в изменение характеристик климата на континентах может достигать 50% [5]. В ряде ис-

следований получение оценок адвекции основано на расчете полного изменения температуры [2]. Однако, помимо адвективного фактора, значительное влияние на эти изменения оказывают радиационный, конвективный и другие. Вследствие этого, определить непосредственный вклад адвекции в изменения температуры не всегда представляется возможным. В этом случае требуется учитывать дополнительные параметры и условия [6, 7]. Вычисление оценки потока по уравнению адвекции [8] позволяет определить как полное изменение теплосодержания атмосферы, так и изменения, связанные с горизонтальными и вертикальными составляющими теплопереноса. Выявление отдельных районов, где наблюдается дисбаланс адвективных потоков в атмосфере, позволяет определить области, вынос тепла из которых способствует возникновению значимых аномалий температуры как в самих районах, так и на прилегающих территориях.

Целью исследования является оценка пространственно-временной изменчивости адвектив-

ного теплопереноса в атмосфере над Тихим и Атлантическим океанами за период 1979–2018 гг.

2. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследование пространственно-временной изменчивости теплопереноса в атмосфере над океанами в Северном полушарии проводилось по срочным данным реанализа ERA-Interim с разрешением $1.125^\circ \times 1.125^\circ$ за 1979–2018 гг. Были выбраны слои атмосферы 1000–850 гПа (далее “нижняя тропосфера”), который характеризуется сильным влиянием подстилающей поверхности, и 850–500 гПа (далее “средняя тропосфера”), где воздействие поверхности выражено слабее. Кроме того, в средних широтах в диапазоне 700–500 гПа проходит ведущий поток.

Для расчета адвективных потоков тепла применялся метод бокс-моделирования, в котором атмосфера делится на однородные боксы, обменивающиеся между собой теплом [9–11]. Размеры боксов (7×15 узлов реанализа) выбирались с учетом того, что сочетание 3–5 боксов соответствовало размерам районов, важных с точки зрения циркуляции.

На каждой границе бокса рассчитывались приток/вынос теплой воздушной массы (ВМ) и приток/вынос холодной ВМ, в зависимости от направления вектора скорости ветра и градиента температуры воздуха. Так, например, для входящего потока (Q^{in}) через западную и восточную границы необходимо выполнение условий $u > 0$ и $u < 0$ соответственно, где u – зональная составляющая скорости ветра. Для выходящего потока (Q^{out}) $-u < 0$ и $u > 0$ соответственно. Выражение для потока теплой ВМ, приходящей на западную границу бокса, записывается как:

$$Q^{in}(\lambda, p) = \int_{\varphi_1}^{\varphi_2} Q_{adv}(\lambda, \varphi, p) d\varphi, \quad (1)$$

$u > 0$
 $\Delta_u T < 0$

где λ – долгота, φ – широта, p – давление на изобарической высоте, $\Delta_u T$ – зональная составляющая изменения температуры воздуха.

Учитывая меридиональную составляющую скорости ветра ($v > 0$ – направление на север), рассчитывался перенос ВМ через южную и северную границы. Вертикальные потоки вычислялись, учитывая значение вертикальной составляющей скорости ветра (ω).

Суммарный адвективный теплоперенос (q^{in} – входящий поток и q^{out} – выходящий поток) рассчитывался как сумма потоков холодной ВМ и теплой ВМ со всех границ районов. По соотноше-

нию разности выходящего и входящего потоков ($\Delta Q_{adv} = q^{out} - q^{in}$) выделялись две группы районов: 1) $\Delta Q_{adv} < 0$ – области конвергенции теплопереноса (далее “области конвергенции” или области притока тепла); 2) $\Delta Q_{adv} > 0$ – области дивергенции теплопереноса (далее “области дивергенции” или области выноса тепла). Также учитывался вертикальный перенос ВМ, где для нисходящего потока $\Delta Q_{conv} > 0$, а для восходящего – $\Delta Q_{conv} < 0$.

Поскольку расстояние (в км) между узлами сетки реанализа в низких широтах больше, чем в высоких, для сравнения временной изменчивости в выбранных районах оценки потоков приводились к единице площади.

Для выделения ячеек атмосферной циркуляции использовалась величина функции тока, методика расчета которой описана в [12].

Для получения данных о временном ходе ведущих климатических мод использовался архив NOAA: <https://psl.noaa.gov/data/climateindices/list/>.

Оценка их доли в изменчивости адвективных потоков тепла проводилась с помощью коэффициента детерминации (квадрат коэффициента корреляции (R^2)) и дисперсии потока. Для оценки связи изменчивости адвективных потоков и выбранных климатических мод был рассчитан квадрат коэффициента когерентности ($\kappa_{12}^2(f)$), позволяющий оценивать силу связи на масштабах колебаний от нескольких лет до десятилетий. Оценки значимости рассчитанных величин проверялись по состоятельности нулевых гипотез ($\alpha = 0.05$) [13].

3. РЕЗУЛЬТАТЫ

3.1. Оценка характеристик адвективного переноса воздушных масс

Анализ результатов показал, что области максимального адвективного теплопереноса в тропосфере за период 1979–2018 гг. зимой располагаются севернее 30° с.ш. в районах течений Атлантического и Тихого океанов: Гольфстрим, Канарское, Северо-Атлантическое, Куроисио, Северо-Тихоокеанское (рис. 1а, 1б). В целом, оценки пространственного распределения адвекции тепла в нижней и средней тропосфере подобны, за исключением того, что у поверхности земли в тропических широтах у северо-западных берегов Африки и Северной Америки выделяются области интенсивной адвекции, которые не наблюдаются на высоте (рис. 1а, 1б). Изменчивость адвективных потоков может быть связана с расположением ячеек меридиональной циркуляции и центров действия атмосферы (ЦДА). Далее оценки приводятся для зимы, поскольку в остальные сезоны расположе-

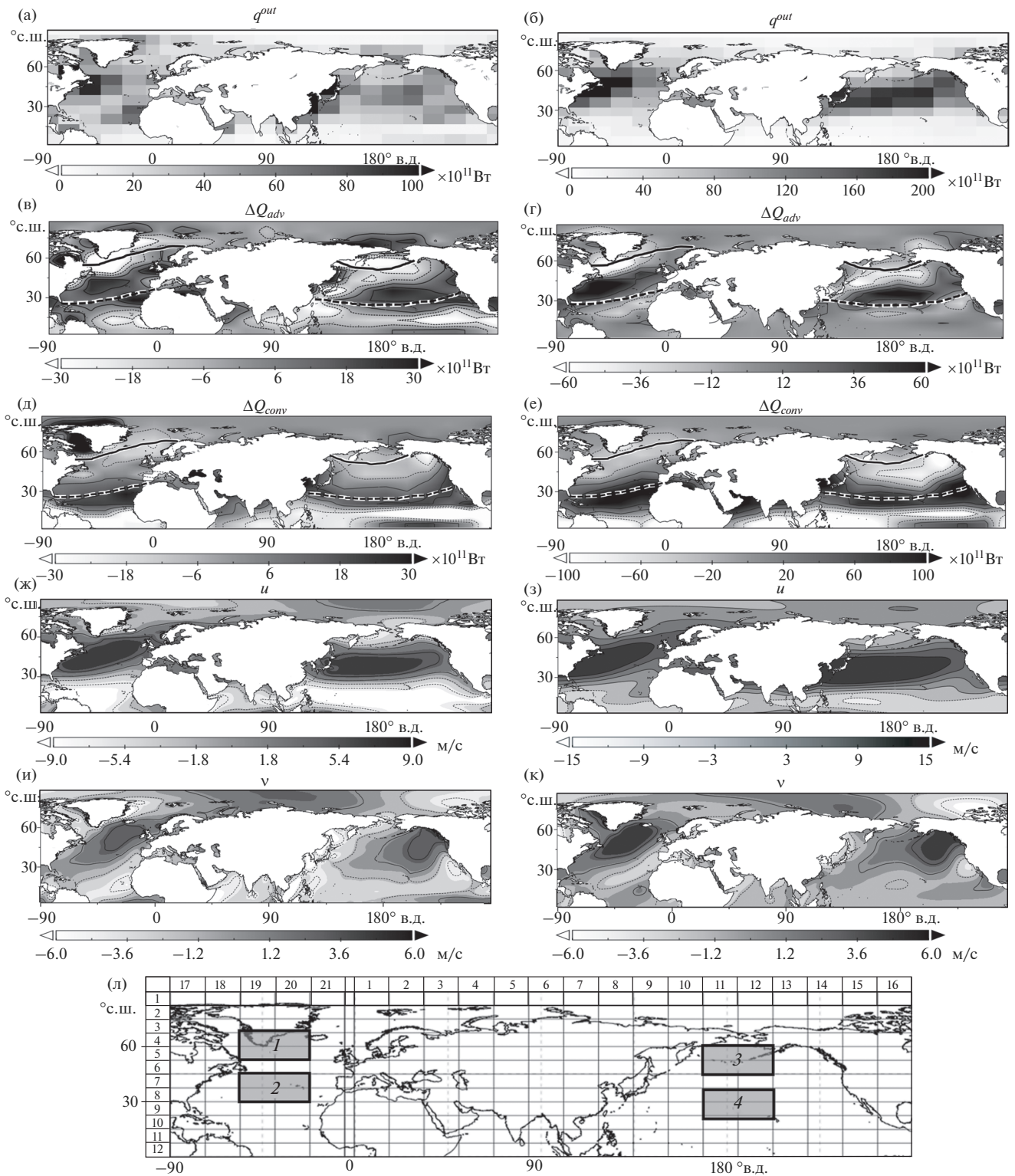


Рис. 1. Пространственное распределение за 1979–2018 гг. зимой: q^{out} (а, б), ΔQ_{adv} (в, г), ΔQ_{conv} (д, е), u (ж, з), v (и, к) слоев 1000–850 гПа (левая панель) и 850–500 гПа (правая панель), а также схема расположения областей адвективного теплопереноса (л): области конвергенции и дивергенции в Северной Атлантике (1 и 2 соответственно) и в Тихом океане (3 и 4 соответственно).

ние выявленных областей отличается незначительно.

Построение карт пространственного распределения ΔQ_{adv} и ΔQ_{conv} (рис. 1в–1е) позволило выявить области конвергенции и дивергенции, а карт u и v (рис. 1ж–1к) – выделить зоны между восточным и западным переносом [14], которые соответствуют среднему многолетнему положению условных границ ячеек циркуляции: между ячейками Хэдли и Ферреля (прерывистая линия) и между ячейкой Ферреля и полярной (сплошная линия). На границах ячеек располагаются постоянные ЦДА [15].

Зимой с 1979 по 2018 г. в нижней и средней тропосфере области дивергенции располагались между 30° и 50° с.ш. (рис. 1в, 1г). Пространственное распределение этих областей подобно распределению областей интенсивной адвекции в исследуемых слоях (рис. 1а, 1б). Области максимального выноса тепла располагаются в субтропических круговоротах Тихого и Атлантического океанов с максимальными градиентами u и v (рис. 1ж–1к). Здесь преобладают нисходящие потоки тепла (рис. 1д, 1е), что связано с расположением районов вблизи границ ячеек Хэдли и Ферреля.

Области конвергенции адвективного переноса тепла расположены на севере субполярных круговоротов Атлантического и Тихого океанов (рис. 1в, 1г). Восходящие движения в этих областях также связаны с их расположением вблизи границ ячеек (Ферреля и полярная) и центров действия атмосферы (Исландский и Алеутский минимумы) (рис. 1д, 1е).

В слое 850–500 гПа в районах Канарских островов и северного побережья Аляски происходит смена знака ΔQ_{adv} , что связано со смещением высотной оси антициклонических ЦДА: Азорского – на северо-запад на $\sim 3^\circ$ по широте и $\sim 5^\circ$ по долготу, и Арктического – на северо-восток на $\sim 1^\circ$ по широте и на $\sim 1.5^\circ$ по долготу.

В Северном Ледовитом океане величина адвективного теплопереноса в несколько раз меньше, чем в Тихом и Атлантическом. Поэтому далее было выбрано четыре района (рис. 1л). При сравнении ΔQ_{adv} за два интервала 1979–1998 и 1999–2018 гг. (рис. 2а, 2б) получено, что зимой во всех районах, за исключением района № 1 (где изменения незначимы), в начале XXI в., по сравнению с концом XX в., наблюдается усиление теплопереноса. В остальные сезоны года величина изменений не превышает 15%, поэтому оценки для этих сезонов не представлены. Максимальное значимое увеличение интенсивности переноса происходит в слое 850–500 гПа в районах Тихого океана: приток тепла ($\Delta Q_{adv} < 0$) в высоких широтах увеличивается на 74% (район № 3), а вынос теп-

ла ($\Delta Q_{adv} > 0$) в умеренных широтах – на 26% (район № 4). В районе № 3 это усиление обусловлено ростом q^{in} с южной и западной границ районов в начале XXI в. (рис. 2в), а в районе № 4 – с ростом q^{out} с севера (рис. 2г). При этом удельные величины потоков в нижней и средней тропосфере могут различаться в ~ 2 раза.

Таким образом, изменение интенсивности областей конвергенции и дивергенции, в первую очередь, связано с усилением меридионального теплопереноса. Это может быть обусловлено смещением на север элементов атмосферной циркуляции, вследствие избытка тепла в Южном океане в условиях глобального потепления [14, 16–18]: термического экватора, областей штормтреков над океанами, северной границы ячейки Хэдли.

3.2. Оценка связи меридионального переноса тепла с элементами атмосферной циркуляции

Динамика указанных выше процессов атмосферной циркуляции связана с усилением интенсивности ячеек меридиональной циркуляции [19], одной из характеристик которых является функция тока, представляющая собой кумулянтную сумму меридиональных компонент скорости ветра, при этом суммирование начинается с верхних слоев тропосферы [12]. Поэтому при отсутствии вариации значений функции тока в нижних слоях атмосферы ее изменчивость будет полностью определяться вышележащими слоями. Чтобы не учитывать появление некорректных корреляционных связей в нижней тропосфере, на рис. 3 представлено пространственное распределение значимых оценок ($r > |0.6|$) функции тока меридиональных потоков тепла в Атлантическом и Тихоокеанском секторах, начиная с высоты 850 гПа. Западные и восточные границы секторов проходят через соответствующие границы районов (рис. 1л).

Получено, что в районах Атлантики в начале XXI в. область положительных корреляций стала меньше, по сравнению с концом XX в., появилась область отрицательных значений на 15° с.ш. в средней тропосфере (рис. 3а, 3г). В высоких широтах Тихого океана наблюдаются области значимых отрицательных корреляций, которые уменьшаются в начале XXI в. за счет ослабления полярной ячейки (рис. 3б, 3д). Еще одна область отрицательных корреляций появляется в диапазоне 30° – 45° с.ш. в тропосфере. Приведенные оценки в двух секторах связаны с усилением интенсивности ячейки Хэдли и ее смещения на север [20].

Далее проводился анализ ведущих мод климатической изменчивости в Тихом и Атлантическом океанах, таких как Северо-Атлантическое колебание (NAO), Северо-Тихоокеанское коле-

бание (NP), которые описывают изменчивость характеристик приземной атмосферы (по разности давления), а также Тихоокеанская десятилетняя осцилляция (PDO) и Атлантическая мультдесятилетняя осцилляция (AMO), основанные на расчете изменений температуры поверхности океана [11, 21, 22].

В результате анализа полученных оценок вклада указанных климатических мод в изменчивость адвективных потоков тепла получено, что в Атлантическом океане на изменчивость потоков, в целом, наибольшее влияние оказывает индекс NAO — описывает 45% дисперсии всего потока в районе № 1. Тогда как индекс AMO определяет 19% изменчивости. В районе № 2 влияние этих мод выражено слабее, чем в районе № 1 — 38% дисперсии описывает NAO и 10% описывает AMO. В Тихом океане наибольший вклад в изменчивость адвективных потоков вносят индексы NP и PDO, особенно в районе № 3 — 0.63 и 0.51% соответственно.

Таким образом, наибольший вклад в межгодовую изменчивость теплопереноса, как правило, вносят процессы атмосферной циркуляции.

Для определения влияния климатических мод на изменчивость адвективного переноса на разных временных масштабах были построены квадраты спектров коэффициентов когерентности $\kappa_{12}^2(f)$. На рис. 4 представлены $\kappa_{12}^2(f)$ для направлений, характеризующихся наибольшей величиной потока. Спектры когерентности в диапазоне частот $f > 0.1$ (межгодовая изменчивость < 10 лет) показывают преимущественное влияние процессов атмосферной циркуляции в районах дивергенции (№ 2 и № 4), описываемых индексами NAO в Атлантике (рис. 4б) и индексом NP в Тихом океане (рис. 4г). В районах конвергенции (№ 1 и № 3), помимо циркуляционных факторов, оказывают влияние и характеристики поверхности океана (рис. 4а, 4в). Однако, например, на южной границе района № 3 преобладает влияние индекса NP. Стоит отметить, что вклад процессов, описываемых этим индексом, достаточно высокий и практически не меняется на выбранном диапазоне частот (рис. 4в). В области колебаний 8–12 лет ($f \approx 0.1$) его влияние также преобладает, хотя и значения $\kappa_{12}^2(f)$ для PDO здесь значительно выше, чем в высокочастотной области спектра. В Атлантике при $f \approx 0.1$ значения выше для индекса NAO, чем для AMO. Для определения преобладающего вклада в изменчивость потоков на масштабе 8–12 лет в районе № 3 требуется проведение более детального исследования.

Такие тенденции характерны для выбранных районов из-за их непосредственной близости к ЦДА и границам ячеек меридиональной циркуляции, которые могут оказывать значительное

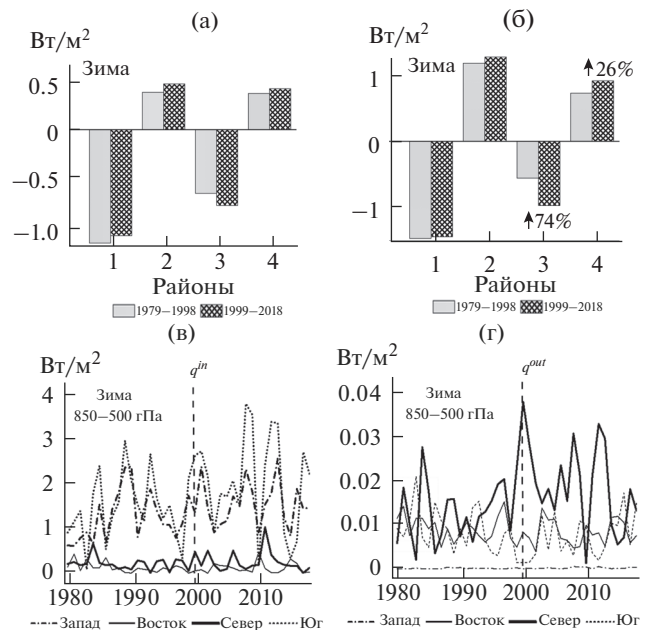


Рис. 2. ΔQ_{adv} в слоях 1000–850 гПа (а) и 850–500 гПа (б); временная изменчивость входящих потоков тепла в область конвергенции в высоких широтах (№ 3) (в) и выходящих из области дивергенции в умеренных широтах (№ 4) (г) Тихого океана в слое 850–500 гПа зимой.

влияние на формирование и развитие областей конвергенции и дивергенции. Например, в начале XXI в. зимой чаще наблюдалось явление Эль-Ниньо, в период которого происходит усиление Алеутского минимума, а также ослабление Гавайского максимума и его смещение на юг [15]. По мнению авторов [23], для северной части Тихого океана индекс NP наиболее надежно отображает десятилетние изменения атмосферы, особенно зимой, когда здесь устанавливается область пониженного давления. Можно сказать, что зимой временные ряды NP описывают изменения Алеутского минимума. Эти процессы, вероятно, приводят к увеличению интенсивности теплопереноса в области дивергенции Тихого океана (рис. 2г).

В рамках задач данной статьи для описания долгопериодной изменчивости адвективных потоков тепла в интервале 1979–2018 гг. были выявлены процессы, описывающие динамику атмосферы в выбранных районах. Стоит отметить, что процессы взаимодействия океана и атмосферы нестационарны, а полученные результаты описывают осредненные статистические связи для межгодовой изменчивости. Поэтому необходимо учитывать множество факторов, описывающих нелинейный характер этого взаимодействия, что требует проведения дополнительных исследований.

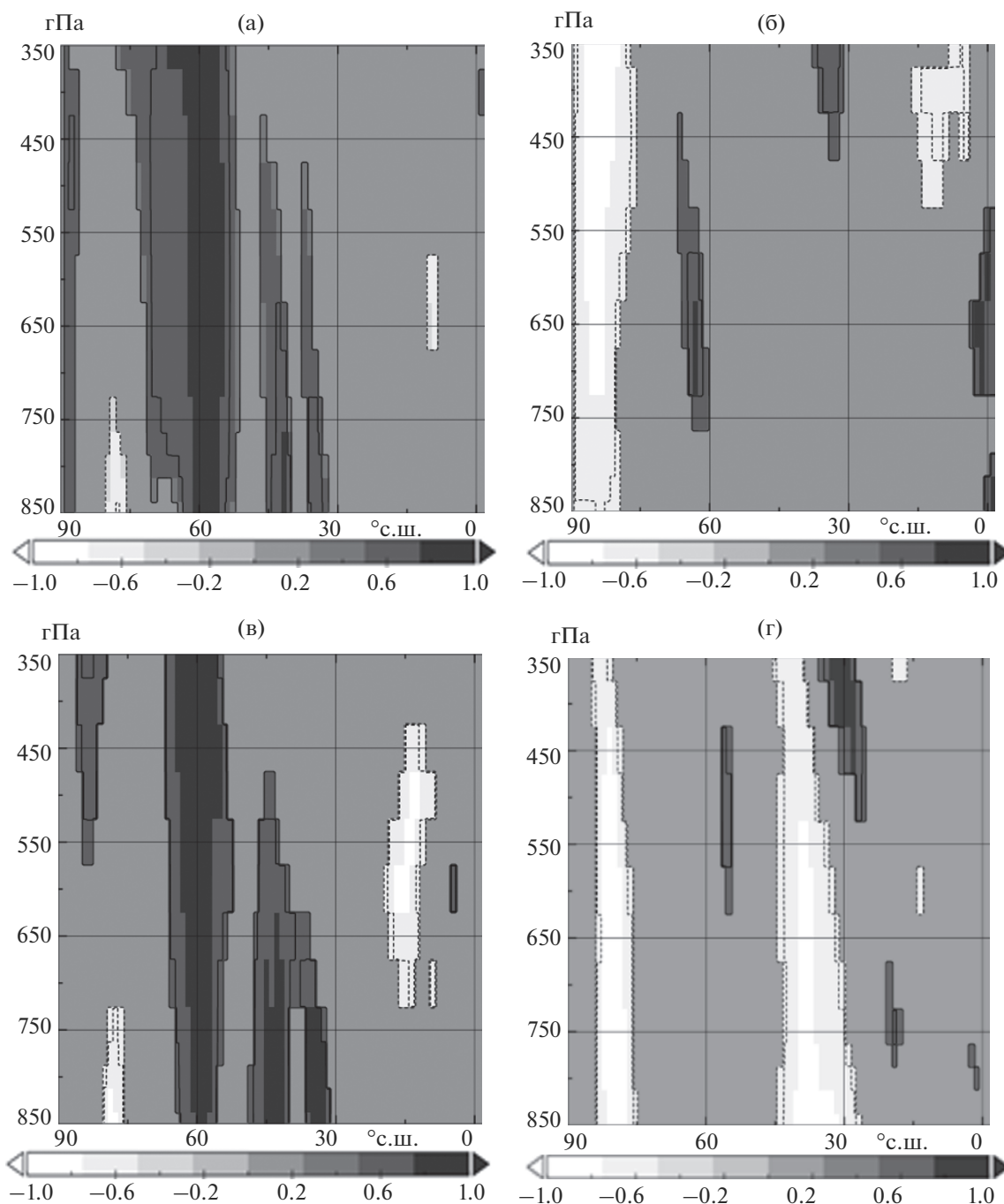


Рис. 3. Коэффициент корреляции r функции тока и меридионального потока тепла q за период 1979–1998 гг. (верхняя панель) и 1999–2018 гг. (нижняя панель) зимой: в Атлантическом секторе (q направлен на экватор) (а, в); в Тихоокеанском секторе (q направлен на полюс) (б, г).

6. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате исследования установлено, что в выбранных районах Тихого и Атлантического океанов в начале XXI в. наблюдается усиление адвективного теплопереноса в зимний сезон. Максимальное увеличение интенсивности адвективного теплопереноса в начале XXI в. происходит в

средней тропосфере в районах Тихого океана на северной и южной границах районов, что связано с усилением интенсивности ячеек меридиональной циркуляции. Области интенсивного выноса и притока тепла также располагаются вблизи границ меридиональных ячеек циркуляции и центров действия атмосферы – в субтропических и субполярных круговоротах океанов соответственно.

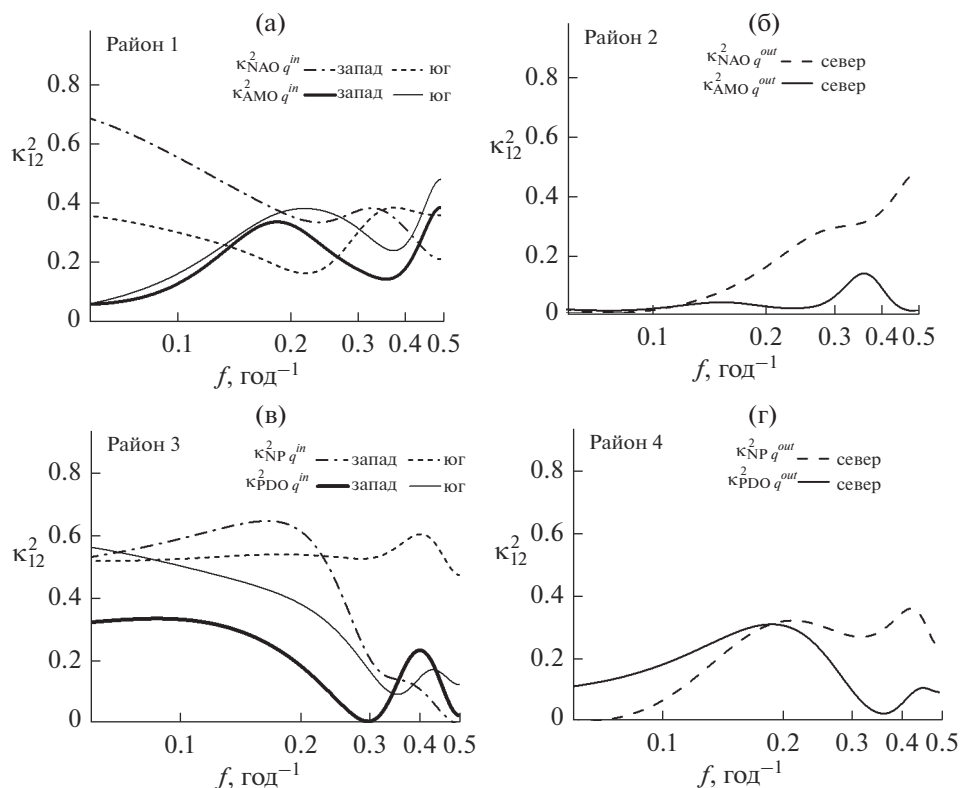


Рис. 4. Квадрат спектра коэффициентов когерентности $\kappa_{12}^2(f)$ между климатическими модами и адвективным потоком тепла в области конвергенции и дивергенции Атлантического и Тихого океанов за период 1979–2018 гг. зимой в слое 850–500 гПа.

Межгодовая изменчивость теплопереноса на временном масштабе до 10 лет в обоих океанах, как правило, обусловлена влиянием процессов атмосферной циркуляции: в Атлантическом океане наибольшее влияние оказывает индекс NAO, в Тихом океане – индекс NP.

Таким образом, изменение характеристик переноса внутри выявленных районов с невязкой теплового баланса атмосферы позволяет говорить о возможном влиянии выноса тепла из этих регионов на возникновение аномалий температуры воздуха на прилегающих территориях. Однако, проходя над этими районами, воздушные массы трансформируются, поэтому учет факторов, влияющих на их энергообмен или теплосодержание, таких как радиационный нагрев, фазовые превращения, турбулентные потоки тепла и т.д., а также причин их изменчивости, позволит получить более корректные оценки о динамике адвективного переноса над областями повышенного теплообмена на границе океан–атмосфера, в том числе для целей климатического моделирования.

Работа выполнена в рамках госбюджетной темы № 121031300154-1. Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН, г. Томск, 634055, пр. Академический 10/3

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Climate change 2013: The physical science basis. Contribution of working group I to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change / Eds. T.F. Stocker, D. Qin, G.-K. Plattner. Cambridge; New York: Cambridge Univ. Press, 2013. 1535 p.
2. Рождественский А.Е., Мальшев Г.А. К оценке источников и стоков тепла в атмосфере Северного полушария // Метеорология. Ученые записки РГГМУ. 2016. № 45. С. 142–150.
3. Yanai M., Tomita T. Seasonal and interannual variability of atmospheric heat sources and moisture sinks as determined from NCEP–NCAR reanalysis // J. Climate. 1998. V. 11. P. 463–482.
4. Кононова Н.К. Особенности циркуляции атмосферы Северного полушария в конце XX–начале XXI века и их отражение в климате // Сложные системы. 2014. № 2(11). С. 11–35.
5. Каримов К.А., Гайнутдинова Р.Д. Роль различных физических факторов в долгопериодных изменениях приземной температуры // Труды Гидрометцентра России. 2017. № 366. С. 121–136.
6. Лаппо С.С., Гулев С.К., Рождественский А.Е. Крупномасштабное тепловое взаимодействие в системе океан–атмосфера и энергоактивные области мирового океана. Л.: Гидрометеиздат, 1990. 336 с.

7. *Sellers W.D.* A global climatic model based on energy balance of the Earth-atmosphere system // *J. Appl. Meteorol.* 1969. V. 8. P. 392–400.
8. *Martin J.E.* Mid-latitude atmospheric dynamics: a first course. New-York: John Wiley & Sons, 2006. 324 p.
9. *Аверьянова Е.А., Полонский А.Б., Санников В.Ф.* Моделирование особенностей современной термохалинной циркуляции Северной Атлантики с использованием боксовой модели // *Изв. РАН. Физика атмосферы и океана.* 2017. Т. 53. № 3. С. 406–414.
10. *Stommel H.* Thermohaline convection with two stable regimes of flow // *Tellus.* 1961. V. 13. № 2. P. 224–230.
11. *Полонский А.Б.* Глобальное потепление, крупномасштабные процессы в системе океан-атмосфера, термохалинная катастрофа и их влияние на климат Атлантико-Европейского региона. Севастополь: НПЦ “ЭКОСИ-Гидрофизика”, 2008. 45 с.
12. *Логинов С.В., Морару Е.И., Харьюткина С.В.* Связь ячеек тропосферной циркуляции с изменчивостью меридиональных потоков тепла над территорией Сибири // *Оптика атмосферы и океана.* 2016. Т. 29. № 8. С. 640–646.
13. *von Storch H., Zwiers F.W.* Statistical analysis in climate research. Cambridge: Cambridge University Press, 2003. 484 p.
14. *Задорожная Т.Н.* Влияние термического режима в приэкваториальной зоне земного шара на глобальный режим средней месячной температуры воздуха Северного полушария // *Гелиогеофизические исследования.* 2015. С. 1–7.
15. *Мохов И.И., Чернокульский А.В., Осипов А.М.* Центры действия атмосферы Северного и Южного полушарий: особенности и изменчивость // *Метеорология и гидрология.* 2020. № 11. С. 5–23.
16. *Залогин Б.С., Косарев А.Н.* Моря. М: Мысль, 1999. 400 с.
17. *Мартынова Ю.В., Крупчатников В.Н.* О некоторых особенностях динамики общей циркуляции атмосферы в условиях глобального изменения климата // *Изв. РАН. Физика атмосферы и океана.* 2015. Т. 51. С. 346–357.
18. *Tamarin T., Kaspi Y.* The poleward shift of storm tracks under global warming: a Lagrangian perspective // *Geophys. Res. Lett.* 2017. V. 44. P. 10666–10674.
19. *Huang F.Z., Faxiu E., Matthew H.* Atmospheric circulation associated with anomalous variations in North Pacific wintertime blocking // *Mon. Weather Rev.* 2004. V. 132. № 5. P. 1049–1064.
20. *Dima I.M., Wallace J.M.* On the seasonality of the Hadley cell // *J. Atmos. Sci.* 2003. V. 60. № 12. P. 1522–1527.
21. *Лубков А.С., Воскресенская Е.Н., Марчукова О.В.* Температурные аномалии в Европе в холодный период в связи с ЭНЮК // *Системы контроля окружающей среды.* 2019. № 36. С. 73–80.
22. *Нестеров Е.С.* Североатлантическое колебание: атмосфера и океан. М.: Триада, 2013. 144 с.
23. *Хен Г.В., Устинова Е.И., Сорокин Ю.Д.* Основные климатические индексы для северной части Тихого океана: природа и история (литературный обзор) // *Изв. ТИНРО.* 2019. Т. 197. С. 166–181.

Features of the Spatio-Temporal Variability of the Advective Heat Flux in the Troposphere Over the Pacific and the Atlantic Oceans in the Northern Hemisphere for 1979–2018

E. I. Moraru¹ *, S. V. Loginov¹, and E. V. Kharyutkina¹

¹*Institute of Monitoring of Climatic and Ecological Systems SB RAS, Academicheskoy ave., 10/3, Tomsk, 634055 Russia*

*e-mail: MoraruEI@yandex.ru

In the framework of the study, the analysis of the spatio-temporal variability of advective heat transfer in the atmosphere over the oceans in the Northern Hemisphere was carried out for the period of 1979–2018 based on reanalysis data. The maximum increase in the advective heat transfer intensity at the beginning of the XXI century was observed in the tropospheric layer of 850–500 hPa at the northern and southern boundaries of the regions in the Pacific Ocean. It was found that the areas of intensive heat outflow and inflow were located near the boundaries of the meridional circulation cells – in the subtropical and subpolar oceanic gyres, respectively. The interannual variability of heat transfer in both oceans is caused, as a rule, by the influence of atmospheric circulation processes. Thus, changes in the transfer characteristics within the identified areas, where an imbalance of heat advection was observed, allowed us to make a conclusion about possible effect of heat transfer from these regions on the occurrence of air temperature anomalies in the adjacent territories.

Keywords: advective heat transfer, box modeling, meridional circulation cells, atmospheric circulation indices, centers of atmospheric action, Northern Hemisphere