

ИЗМЕНЧИВОСТЬ СОСТАВЛЯЮЩИХ ТЕПЛОВОГО БАЛАНСА ПОВЕРХНОСТИ ЗЕМЛИ ПО ДАННЫМ NCEP/NCAR

А.В. Юровский, Е.Н. Воскресенская

Морской гидрофизический институт
НАН Украины
г. Севастополь, ул. Капитанская, 2
E-mail: a_yurovsky@mail.ru

В статье рассматривается изменчивость теплового баланса поверхности Земли и его составляющих на различных временных масштабах по данным реанализа NCEP/NCAR за период 1950 – 2001 гг.

Введение. Диагноз и прогноз изменений климата на глобальном масштабе относится к числу важнейших проблем современности. Изменения климата происходят под влиянием внешних и внутренних факторов. К внешним относятся изменение потока приходящей солнечной радиации и приливо-отливные явления в океане. Внутренние причины обусловлены взаимодействием между составляющими климатической системы: атмосферой, океаном, криосферой, сушей и биосферой.

Поверхность Земли является одним из основных источников поступающей в атмосферу тепловой энергии. Поэтому многолетние колебания ее термодинамического состояния оказывают воздействие на климатическую систему. Радиационный баланс на поверхности Земли и турбулентные потоки тепла на границе земная поверхность – атмосфера являются основными составляющими внешнего теплового баланса земной поверхности.

Целью данной работы было исследование климатических изменений радиационного баланса, турбулентных потоков явного и скрытого тепла и теплового баланса поверхности Земли за период 1950 – 2001 гг.

Данные и методика. В качестве исходных данных использовались среднемесячные величины баланса коротковолновой и длинноволновой радиации на поверхности, а также турбулентных потоков явного и скрытого тепла из реана-

лиза Национальных Центров Прогнозирования окружающей среды и Исследования атмосферы (NCEP/NCAR) [1 – 3]. Пространственное разрешение используемых данных: $1,875^\circ$ по долготе и примерно $1,9^\circ$ (гауссовское распределение) по широте.

По исходной информации были рассчитаны следующие характеристики.

– Радиационный баланс на поверхности Земли (R_n) по формуле (1):

$$R_n = R_{SW} + R_{LW}, \quad (1)$$

где R_{SW} – коротковолновая радиация, R_{LW} – длинноволновая радиация.

– Суммарный турбулентный поток тепла (HLE) по формуле (2):

$$HLE = H + LE, \quad (2)$$

где H – явный поток тепла, LE – скрытый поток тепла.

– Тепловой баланс поверхности Земли (B) по формуле (3):

$$B = R_n - HLE. \quad (3)$$

Для анализа данные переписаны так, что каждая из 18048 точек (192×94) земного шара была представлена рядом из 52 величин (1950 – 2001 гг.) для конкретного месяца. Расчеты проводились с использованием авторского пакета программ на основе стандартных статистических методов.

Результаты. Рассмотрим климатические величины составляющих теплового баланса поверхности Земли. Из-за ограниченности объема статьи на рис. 1 показаны только климатические величины теплового баланса для января и июля. Тепловой баланс поверхности имеет противоположные знаки в Северном и Южном полушарии в зависимости от сезона. Хорошо прослеживаются зоны теплоотдачи океана, связанные с теплыми течениями.

Что касается других составляющих теплового баланса, то распределение климатических величин радиационного баланса имеет ярко выраженный зональный характер. Зимой нагревается Южное

полушарие, летом – Северное. Наибольшие значения суммарного турбулентного потока тепла ($200 - 300 \text{ Вт}\cdot\text{м}^{-2}$) имеют место зимой в районах теплых течений Гольфстрим и Куросио, летом – в Индийском и южной части Атлантического океана.

Были оценены величины линейных трендов теплового баланса и его составляющих. На рис. 2 приведены примеры распределения тренда теплового баланса зимой и летом. В январе отмечается увеличение радиационного баланса в цен-

тральной части Тихого океана и ослабление HLE , что приводит к росту теплового баланса, и, соответственно, увеличение турбулентных потоков на севере Тихого и в Индийском океанах при незначительном уменьшении радиации сопровождается отрицательным трендом теплового баланса. В летний период в Тихом океане, в центральной Атлантике и Южном океане наблюдается положительный тренд теплового баланса и соответствующие тренды радиации и суммарного турбулентного потока.

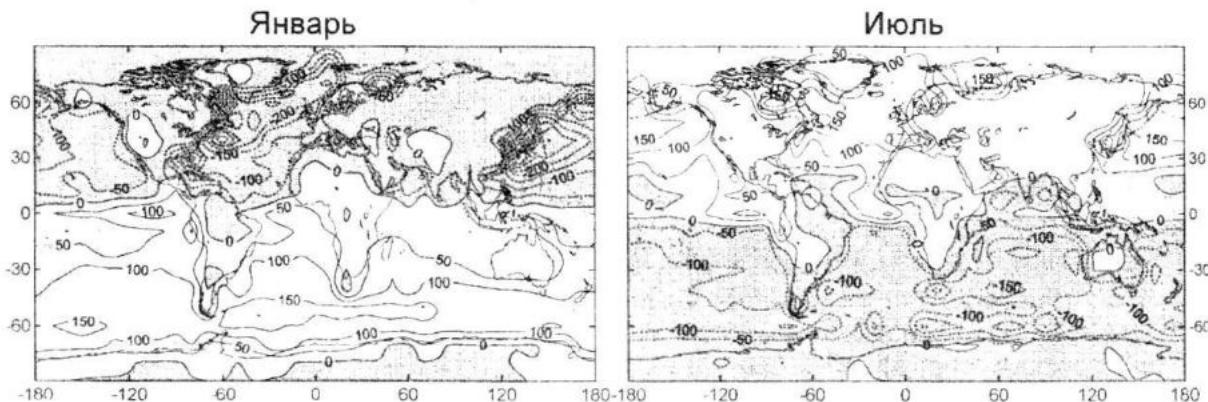


Рис. 1. Климат теплового баланса поверхности Земли (серый цвет – отрицательные величины)

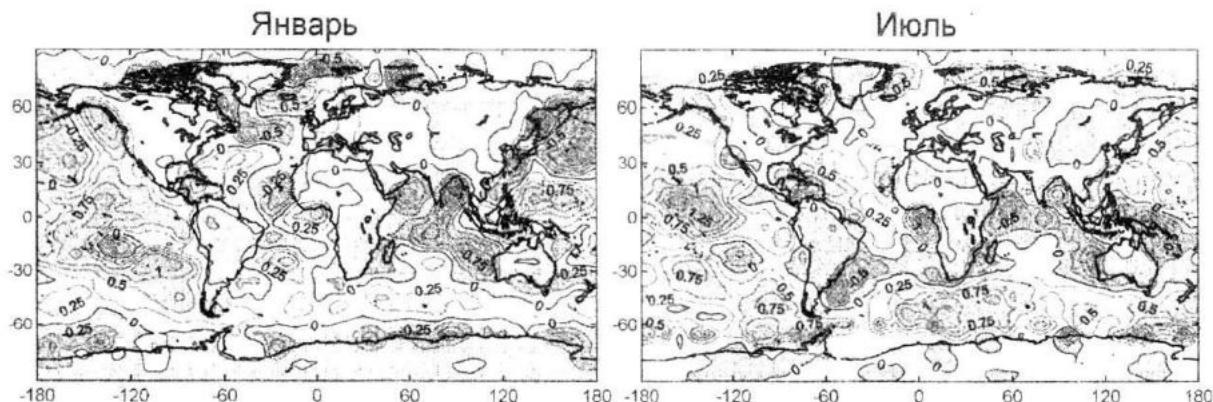


Рис. 2. Распределение тренда теплового баланса поверхности Земли

В литературе активно обсуждается особенность, обнаруженная в характере поведения различных гидрометеоэлементов и заключающаяся в смене режима в середине 70-х годов XX века [4 – 6]. Ставится вопрос – является ли это изменение режима климатическим сдвигом или это часть низкочастотной изменчивости? Для исследования этой особенности ряды составляющих теплового баланса поверхности земного шара были разделены на два периода, соответст-

вующих различным фазам тихоокеанской декадной осцилляции (ТДО): 1950–1976 гг. (отрицательная фаза) и 1977–2001 гг. (положительная фаза).

На рис. 3 показаны разности (ΔB) между климатическими величинами теплового баланса в положительную ($B_{PDO(+)}$) и отрицательную ($B_{PDO(-)}$) фазу ТДО, вычисляемые по формуле (4):

$$\Delta B = B_{PDO(+)} - B_{PDO(-)} \quad (4)$$

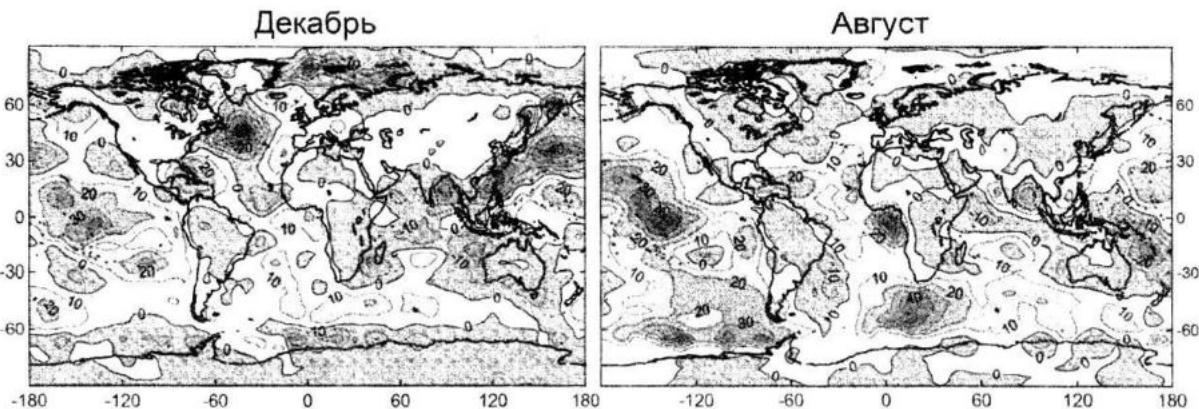


Рис. 3. Разность климатических величин теплового баланса поверхности Земли в различные фазы тихоокеанской декадной осцилляции

Как видно из рис. 3, действительно, существуют заметные различия теплового баланса поверхности Земли в различные фазы ТДО. Они особенно заметны в зонах струйных течений, апвеллингов, а также в экваториальной зоне Тихого океана. Такие же различия обнаруживаются и в климатических величинах радиационного баланса и суммарного турбулентного потока тепла. Радиационный баланс при смене фазы ТДО изменяется незначительно. Зимой в положительную фазу ТДО наблюдается дополнительный прогрев центральной части Тихого океана (на $10 - 20 \text{ Вт}\cdot\text{м}^{-2}$) и уменьшение солнечного тепла в южной части Атлантики. Летом заметно прибавление тепла в северных районах (до $50 \text{ Вт}\cdot\text{м}^{-2}$) и продолжает получать дополнительное тепло Тихий океан.

В январе наблюдается увеличение *HLE* в северо-западной части Тихого океана и уменьшение у берегов Северной и Южной Америки. Летом значительное уменьшение *HLE* отмечается в центральной части Тихого океана, в Южном океане и в Гвинейском заливе.

На рис. 4 показан временной ход климатических величин теплового баланса поверхности в точках, для которых наиболее характерна смена режима в середине 70-х годов XX века.

Таким образом, показано, что приуроченные к смене фаз тихоокеанской декадной осцилляции периоды действительно различаются и при этом взаимодействие океана и атмосферы на квазидвадцатилетнем масштабе времени играет важную роль.

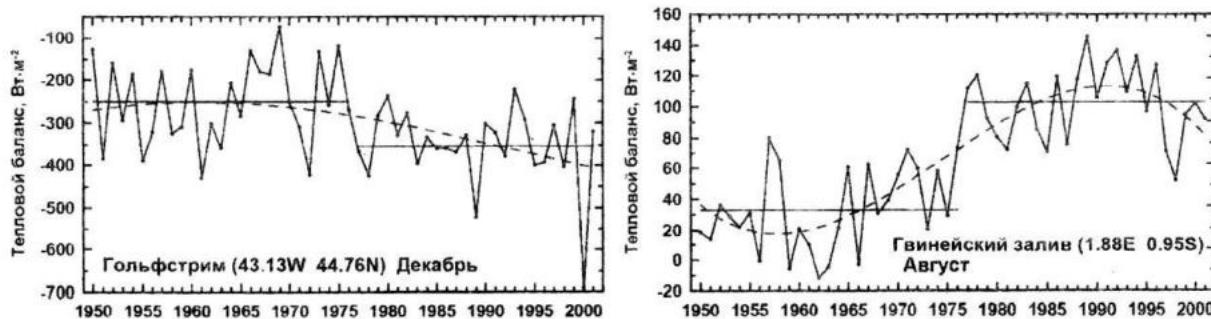


Рис. 4. Временной ход климатических величин теплового баланса в характерных точках

Рассмотрим изменчивость составляющих теплового баланса поверхности Земли, представленную среднеквадратичными отклонениями детрендированного ряда для различных временных периодов.

На рис. 5 показано распределение изменчивости нефильтрованных детрендиро-

ванных рядов в зимний и летний периоды.

Изменчивость теплового баланса в основном определяется изменчивостью суммарного турбулентного потока тепла, которая в 4 – 5 раз выше изменчивости радиационного баланса. Обращает внимание слабая изменчивость баланса тепла на суше по

сравнению с океанами. В океанах большие колебания теплообмена происходят в холодное время года в зонах теплых течений.

В работе была оценена межгодовая низкочастотная изменчивость составляющих теплового баланса поверхности Земли. На рис. 6 и 7 приведены примеры такой изменчивости теплового баланса для периодов

свыше 30 и 10 лет, соответственно. Низкочастотная изменчивость теплового баланса поверхности с периодом более 30 лет повторяет характер общей изменчивости. На суше потоки тепла более стабильны. В океанах повышенной изменчивостью выделяется зона Гольфстрима и некоторые районы Тихого и Южного океанов.

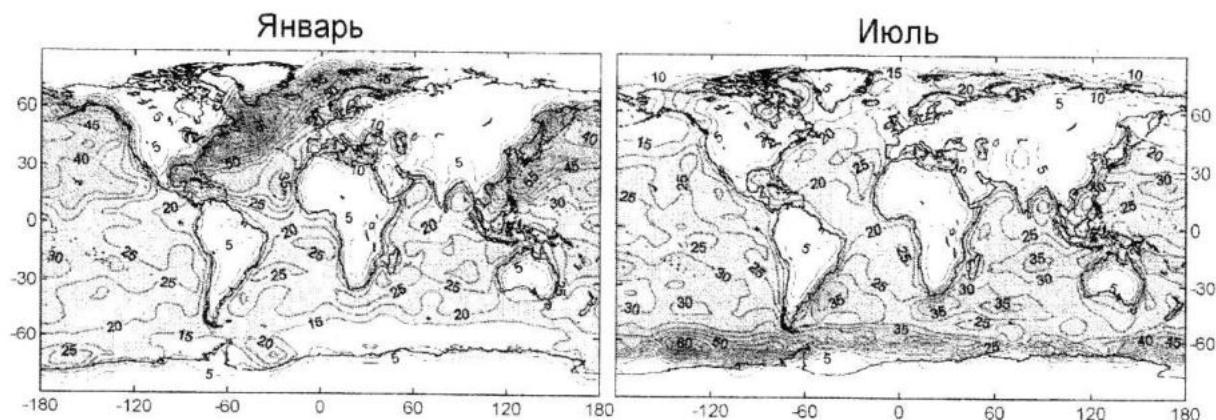


Рис. 5. Среднеквадратичное отклонение величины теплового баланса после детренирования рядов

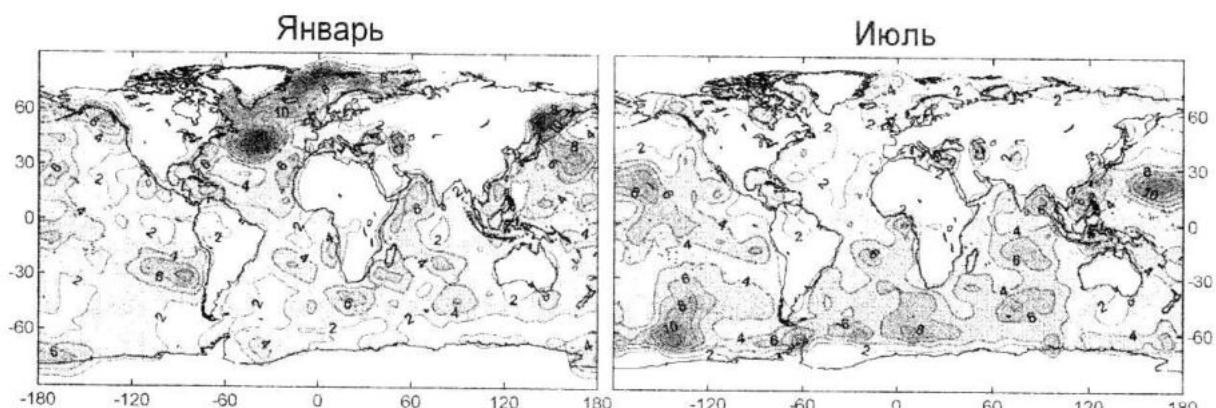


Рис. 6. Среднеквадратичное отклонение величины теплового баланса после применения фильтрации колебаний менее 30 лет

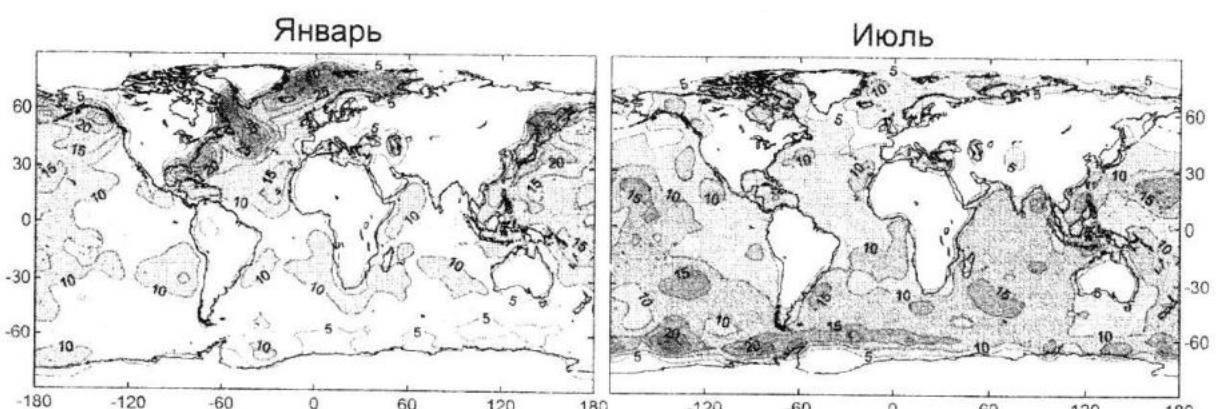


Рис. 7. Среднеквадратичное отклонение величины теплового баланса после применения фильтрации колебаний менее 10 лет

Низкочастотная изменчивость теплового баланса свыше 10 лет полностью определяется изменчивостью суммарного турбулентного потока тепла. Только в зимний период в районе Антарктиды и в летний период в северных широтах заметен ощущимый вклад изменчивости радиационного баланса.

Высокочастотные колебания теплового баланса с периодом менее 10 лет приведены на рис. 8. В межгодовую изменчивость теп-

лового баланса с периодом менее 10 лет основной вклад вносит изменчивость суммарного турбулентного потока. Зимой большие среднеквадратичные отклонения наблюдаются в районах теплых течений и в северной половине Тихого океана. Летом – во-круг Антарктиды. Существенный вклад радиационного баланса заметен только в северных широтах в летний период. Изменчивость на материках существенно ниже, чем в океане.

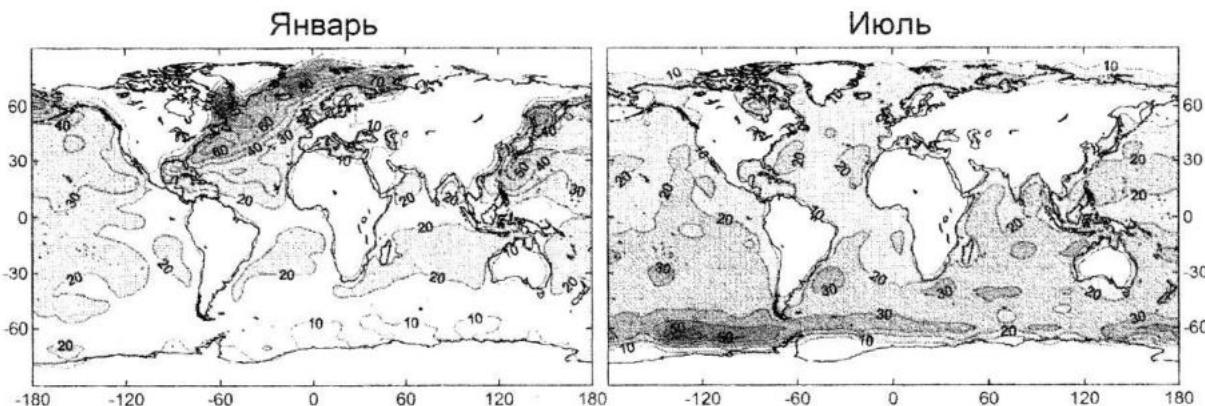


Рис. 8. Среднеквадратичное отклонение величины теплового баланса после применения фильтрации колебаний свыше 10 лет (высокочастотная часть изменчивости)

Заключение. По данным NCEP подтверждены основные закономерности в распределении климатических величин. Распределение радиационного баланса имеет зональный характер, величины суммарного потока соответствуют зонам активности взаимодействия атмосферы и океана, а тепловой баланс поверхности имеет противоположные знаки в Северном и Южном полушарии в зависимости от сезона.

Величины линейных трендов теплового баланса и его составляющих в основном не-значимые. В то же время, присутствуют значимые квадратичные тренды.

Выявлена связь составляющих теплового баланса в некоторых энергоактивных районах океана со сменой фаз тихоокеанской декадной осцилляции.

Основной вклад в изменчивость теплового баланса на всех уровнях вносит изменчивость суммарного турбулентного потока тепла, заметный вклад изменчивости радиационного баланса наблюдается только в отдельных районах. Изменчивость теплового баланса на континентах существенно ниже, чем в океане, что подтверждает важную роль океана в изменениях климата.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Hurrell J.W., Campbell G.G. Monthly mean global satellite data sets available in CCM history tape format. – NCAR/TN-371+STR. – 1992. – 94 p.
2. Hack J.J., Boville B.A., Kiehl J.T., Rasch P.J., Williamson D.L. Climate statistics from the NCAR Community Climate Model (CCM2) // J. Geophys. Res. – 1994. – 99. – P. 20785 – 20813.
3. Kalnay E. [et al.] The NCEP/NCAR 40-Year Reanalysis Project // Bull. Amer. Meteor. Soc. – 1996. – 77. – P. 437 – 471.
4. Chang E.K.-M., Fu Y. Interdecadal variations in Northern hemisphere winter storm track intensity // J. Clim. – 2002. – 15. – P. 642–658.
5. Trenberth J.W., Hurrell K.E. Decadal atmosphere-ocean variations in the Pacific // Clim. Dyn. – 1994. – 9. – P. 303 – 319.
6. Bardin M.Yu., Voskresenskaya E.N. Pacific Decadal Oscillation and European climatic anomalies // Soviet J. Phys. Oceanogr. – 2007. – 17, 4. – P. 200 – 208.