

В.В. Белоусов

*Морской гидрофизический институт НАН Украины, г. Севастополь***СРАВНЕНИЕ КЛИМАТИЧЕСКИХ РАСЧЕТОВ МОДЕЛИ *CSIRO* С ДАННЫМИ НАБЛЮДЕНИЙ ТЕМПЕРАТУРЫ В ЧЕРНОМОРСКОМ РЕГИОНЕ**

В статье рассмотрены особенности трендов и годового хода температуры за период 1882 – 2006 гг., получаемых в процессе прогностического расчета по модели *CSIRO* с данными наблюдений приземной температуры для Севастополя. Получено соответствие между среднемесячными величинами модельной и наблюдаемой температур. Найдено количественное соотношение между модельными и наблюдаемыми амплитудами годового хода температуры. Даны рекомендации применимости климатических расчетов модели к региону Черного моря.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *климат, тренд, температура, прогноз, климатические модели, годовой ход.*

Введение. В настоящее время конечной целью климатических исследований является количественная оценка изменений климата, как в краткосрочной, так и в долгосрочной перспективе. Такая оценка включает совместное влияние естественных процессов и антропогенной нагрузки на окружающую природную среду. Для углубленного исследования климатических изменений ведущими мировыми климатическими центрами создано более тридцати прогностических моделей. Такие модели различаются, как по качеству параметризации отдельных атмосферных процессов (конвекция, осадки, испарение, радиация и т.д.), так и по числу узлов счета, покрывающих всю земную поверхность. От количества узлов сильно зависит качество климатического прогноза на региональном масштабе. Модели *CSIRO* – Австралия, *ECHAM5* – Германия, *GFDL* – США, *MRI* – Япония и *HADGEM* – Англия используют хорошее разрешение – менее двух градусов по пространству, то есть достаточно мелкую сетку. Для того, чтобы использовать результаты вышеперечисленных моделей для анализа климатических изменений в Черноморском регионе, важно выбрать из них наиболее оптимальную (в плане климатического соответствия Черноморскому региону) модель. Цель настоящей работы – провести комплексный анализ данных расчетов одной из моделей с метеоданными наблюдений для региона Черного моря (конкретно для Севастополя) и дать рекомендации по практическому использованию данной модели к указанному региону.

Модель *CSIRO*. На первом этапе рассмотрим австралийскую модель *CSIRO MK 3.0*, качество которой будем оценивать по данным долговременных наблюдений в Севастополе.

Основными принципами для выбора модели были следующие.

1. Высокое пространственное разрешение. В случае модели *CSIRO* это 192 точки вдоль экватора, расположенные равномерно и 96 от полюса до полюса, заданные таблицей. Разрешение примерно $1,9^\circ \times 1,9^\circ$;

2. Узел модели достаточно близко расположен от точки, в которой проводились наблюдения – для Севастополя это составляет ($43,83350^\circ$ северной широты и $33,750^\circ$ восточной долготы) около 40 км в направлении к югу для модели *CSIRO* (см. рис. 1). Для остальных моделей из вышеуказанного списка соответствующее расстояние составляет от 50 до 100 км.
 3. Данные должны быть доступны для длительных отрезков времени, рассчитанных, как для прошлого (калибровка, адаптационные расчеты), так и на будущее (прогноз). Так же должны быть доступны не только среднемесячные, как в большинстве моделей, но и среднесуточные и трех-шестичасовые для согласования с метеоданными.
- Всем этим условиям отвечает модель *CSIRO MK3.0* [1].

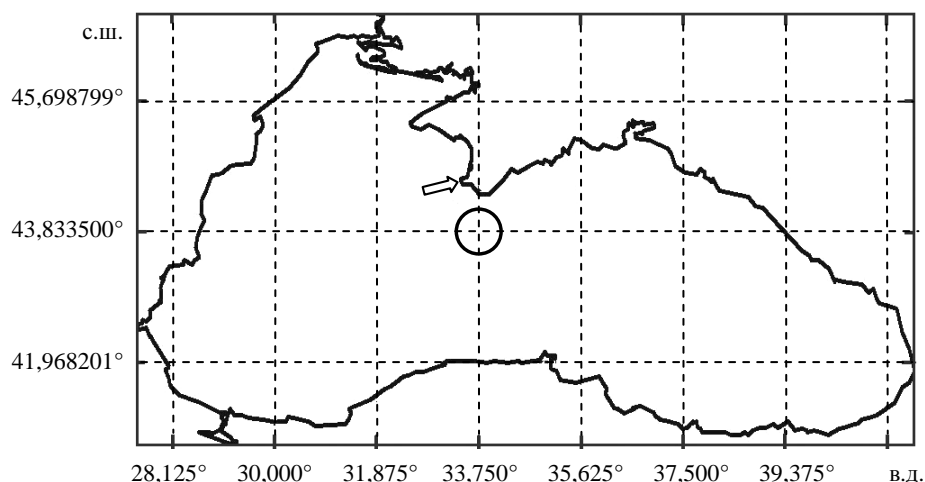


Рис. 1. Расчетные узлы модели *CSIRO*. Положение расчетного узла модели, ближайшего к Севастополю (отмечен стрелкой), отмечено кружком.

Для оценки антропогенного влияния при разных условиях экономического развития общества можно воспользоваться информационной базой данных проекта *CMIP3* [2]. Данная база включает в себя результаты моделирования климата по основным сценариям развития человеческого общества для различной тяжести антропогенной нагрузки – *A1*, *B1*, *A2*, *B2*, *A1B* и другие. Для проверки качества моделей проведены калибровочные расчеты. Основным сценарием такой проверки служат расчеты для XX века, так как для этого периода времени есть длинные и непрерывные ряды данных по большому числу метеостанций, что позволяет сделать однозначные выводы, как о качестве модели, так и о степени ее соответствия определенному географическому району.

В данной работе проводится сравнение Австралийской модели *CSIRO MK 3.0* с данными, полученными на метеостанций г. Севастополя за период с 1882 по 2006 гг. Период счета модели: 1871 – 2000 гг. При анализе в метеоданных существующий пробел за 1942 – 1944 гг. заполнен ближайшими значениями.

Название модели образовано аббревиатурой от «*Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation*» (*CSIRO*). Эту модель, развивающуюся более 20 лет, можно охарактеризовать следующим образом. Она состоит из двух компонентов – океанографической модели общей циркуляции и модели общей циркуляции атмосферы. Обе части работают совместно как совокупная модель. Океанографическая часть модели основана на исходном коде американской модели *GFDL MOM version 2.2*, разработанной Пакановски и Гриффисом (2000 г.) [3]. Шаг сетки океанической модели составляет $1,875^\circ$ в направлении «Восток-Запад» и $0,9375^\circ$ в направлении «Север-Юг». Максимальная глубина океана в модели достигает 4 800 м при 31 уровне. Информацию о сгущении сетки в атмосферной части модели и более подробное описание модели, схем параметризации, потоков тепла и др. можно найти на сайте модели [2] и в работе Дьюрака [4].

Обработка данных и анализ результатов. В настоящей работе анализ выходных данных модели проводился следующим образом. Из массива данных о приземной температуре, имеющихся на сайте проекта *CMIP3*, выделялись ряды, соответствующие координатам узла сетки, ближайшего к Севастополю ($43,8335^\circ$ северной широты и $33,7500^\circ$ восточной долготы, см. рис. 1), которые и обрабатывались в дальнейшем.

Рис. 2 иллюстрирует изменчивость фактической и рассчитанной по модели *CSIRO* среднемесячной температуры для Севастополя за период с 1882 по 2006 гг.

Результаты модельных расчетов – модельные месяцы (см. рис. 2, а), группируются по сезонам в соответствии со среднемесячной температурой. Прослеживается так же периодическая тридцатилетняя изменчивость. Особенно хорошо она видна на примере ноября месяца (начинается в районе $+10^\circ\text{C}$ и охватывает три тридцатилетних периода с амплитудой чуть более 1°C). В рядах фактической температуры (наблюдения) – см. рис. 2, б, такая изменчивость выражена более слабо. Так же видно, что диапазон сезонного хода температуры по результатам модельных расчетов меньше фактически наблюдаемого примерно на 6°C . Более точно определим его далее.

Для исключения высокочастотной компоненты ряды данных сглаживались скользящим средним за 20 лет. Полученные таким образом зависимости анализировались. Из рис. 2 можно видеть, что среднемесячные модельные тренды хорошо сопоставимы между собой по сезонам: январь-февраль, май-июнь, ноябрь-декабрь. Из этого следует, что в модели достаточно хорошо реализован сезонный ход, хотя модель работает в прогностическом режиме и после старта не использует внешних данных для коррекции счета.

Сопоставление между собой результатов модельных расчетов – модельных данных (см. рис. 2, а) и результатов фактических гидрометеорологических наблюдений в Севастополе (см. рис. 2, б), показывает, что принципиальных различий между модельными данными и натурными не существует. Это подтверждается диаграммами изменчивости среднемесячных температур, показанными на рис. 3.

Сопоставление диаграмм, построенных по данным фактических измерений (см. рис. 3, а), и диаграмм, построенных по результатам моделирования (см. рис. 3, б) показывает, что в зимние месяцы модель завышает температуру на $2 - 3^\circ\text{C}$, а в летние – занижает на те же $2 - 3^\circ\text{C}$.

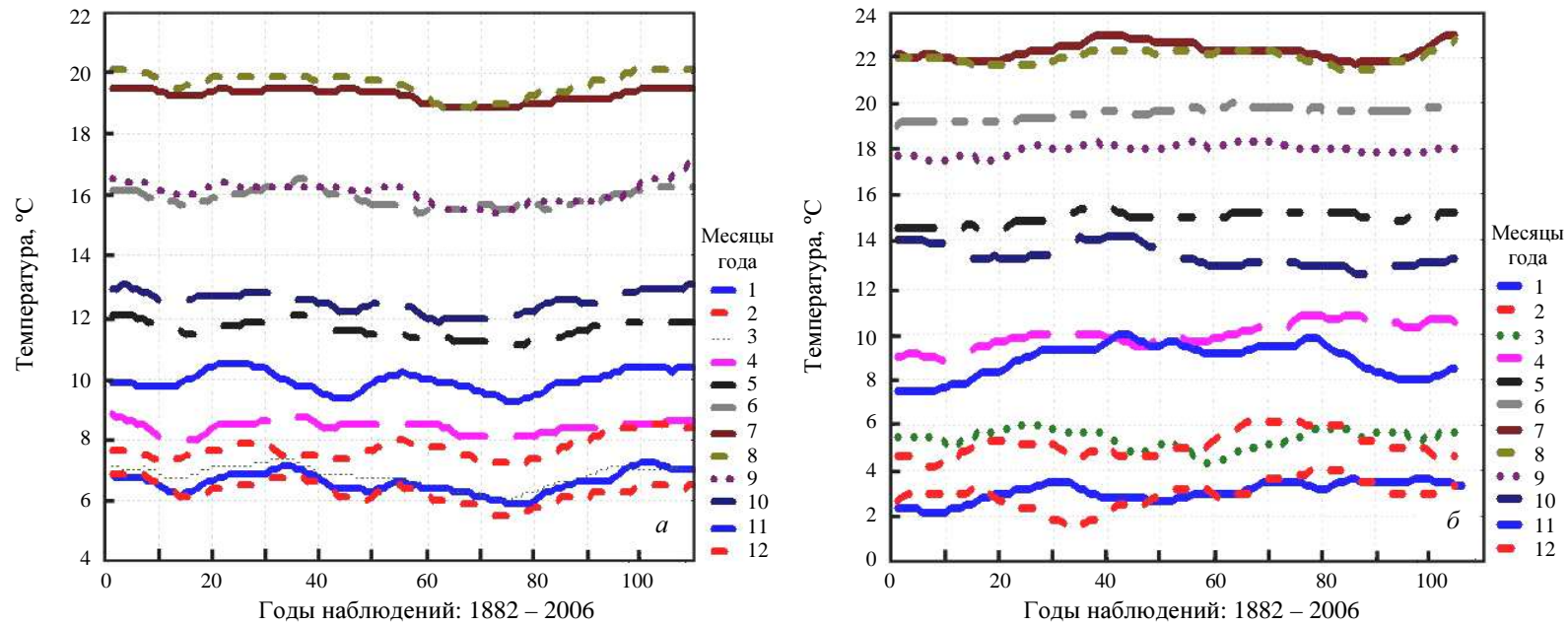


Рис. 2. Среднемесячные температуры для Севастополя за период с 1882 по 2006 гг.: *а* – согласно расчетам по модели *CSIRO*; *б* – согласно данным фактических наблюдений.

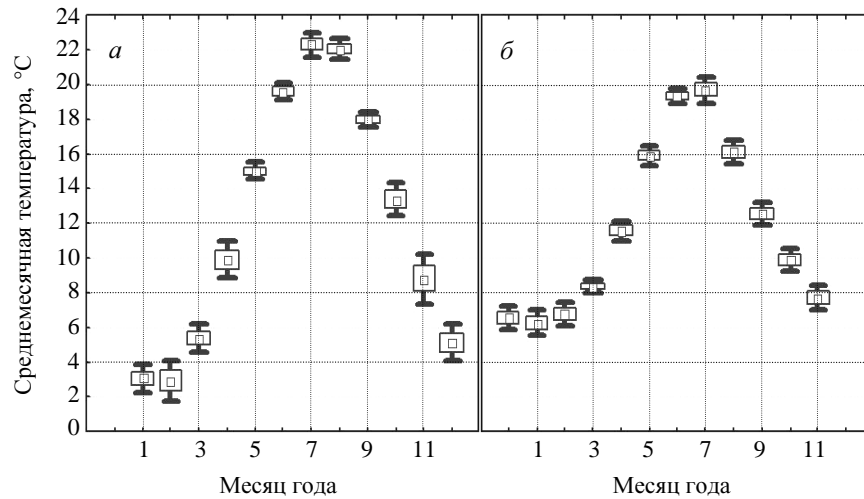


Рис. 3. Среднемесячные температуры в Севастополе за период 1882 – 2006 гг.: *a* – согласно данным фактических наблюдений; *б* – согласно расчетам по модели *CSIRO*. Среднее значение – (□); среднее значение ± стандартное отклонение – (□); среднее значение ± 1,96 стандартного отклонения – (I)

В целом величина годового хода по температуре для региона Черного моря (Севастополь) недобирает от 4 до 6 °С, хотя сама форма диаграмм очень похожа. В модели зимние месяцы январь, февраль и март сгруппированы более плотно, чем в действительности и плюс к этому можно добавить, что диапазон изменчивости температуры внутри каждого месяца (судя по величинам отклонений от среднего) значительно ниже, чем в действительности. Особенно это касается января, февраля, марта и апреля, а так же октября, ноября и декабря. Для летних месяцев диапазон изменчивости описывается удовлетворительно. Это позволяет утверждать, что модельный климат более мягкий, чем наблюдаемый и все изменения климата в модели происходят более плавно в сравнении с действительным для данного квадрата Черного моря.

Проверка данной диаграммы, проведенная для трех климатических периодов по 30 лет, показала, что величины средних температур не выходят за пределы 95 % погрешности и общий вид диаграмм сохраняется. Из-за того, что все диаграммы имеют практически одинаковый вид, то приведена только общая диаграмма за период 1882 – 2006 гг.

Данные об отклонениях среднемесячных температур модели *CSIRO* от наблюдаемых сведены в табл. 1, в которой можно видеть величины завышения/занижения температуры для Севастополя.

Таблица 1. Величина завышения (занижения) температуры для Севастополя (в °С) по месяцам при расчетах с помощью модели *CSIRO*.

Месяц года	Январь	Февраль	Март	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь	Декабрь
Отклонение	3,5	3,2	0,5	-1,6	-3,1	-3,5	-2,5	-2,1	-2,0	-0,2	1,0	2,5

Для проверки соответствия наблюдаемых и расчетных величин температуры они сведены в табл. 2, где приведены величины корреляций среднемесячных температур для Севастополя между наблюдениями и модельными данными за период 1882 – 2006 гг.

Таблица 2. Коэффициенты корреляции среднемесячных температур воздуха в Севастополе между результатами наблюдений и результатами модельных расчетов за период 1882 – 2006 гг.

Месяц года	Январь	Февраль	Март	Апрель	Май	Июнь
Коэффициент корреляции	0,25	-0,24	0,80	0,23	-0,40	-0,41

Продолжение табл.2.

Месяц года	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь	Декабрь
Коэффициент корреляции	-0,33	-0,72	-0,61	-0,15	-0,52	0,01

Из табл. 2 можно видеть, что хорошая корреляция наблюдается только в одном месяце из двенадцати – в марте. В остальные месяцы даже при высоком значении коэффициента корреляции графики изменения температуры находятся в противофазе (в августе – минус 0,72 и в сентябре – минус 0,61). Причин такого совпадения для марта не видно и даже этот удачный случай вполне можно отнести к случайным погрешностям.

Посмотрим, чем объясняются столь низкие коэффициенты корреляции на примере января месяца. Возьмем средние температуры за январь и построим сравнительные графики для реальных температур за все годы наблюдения и рассчитанных по модели *CSIRO* для Севастополя. Они показаны на рис. 4.

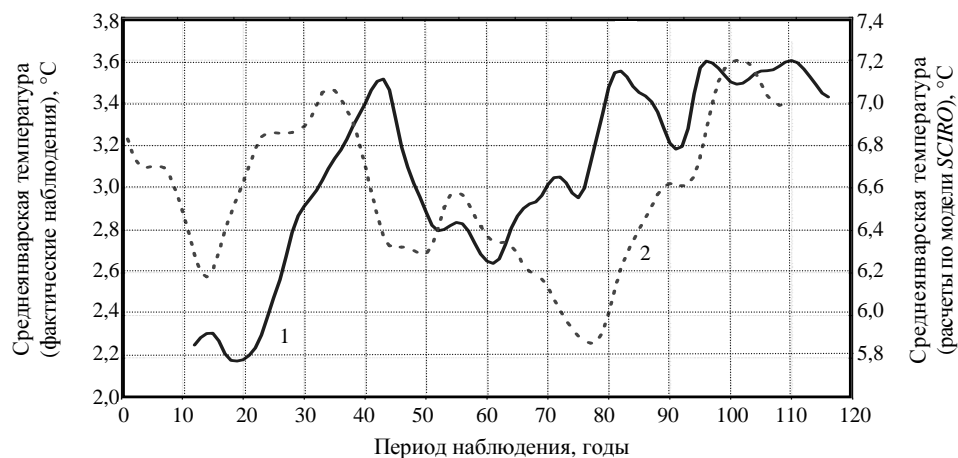


Рис. 4. Поведение январской температуры в Севастополе, согласно данным наблюдений за период 1882 – 2006 гг. (1) и согласно расчетам модели *CSIRO* (2).

Из рис. 4 следует, что фактические (по наблюдениям) и модельные средне-январские температуры в Севастополе плохо согласуются. Не видно даже совместных тенденций изменения для отдельных десятилетних периодов. Для остальных месяцев года картина похожая: в отдельной части графика имеется случайное совпадение, а на большей части корреляции нет.

Посмотрим, как ведут себя среднегодовые температуры.

Для этого сравним между собой графики изменения среднегодовой температуры в г. Севастополе, которые показаны на рис. 5 и рис. 6.

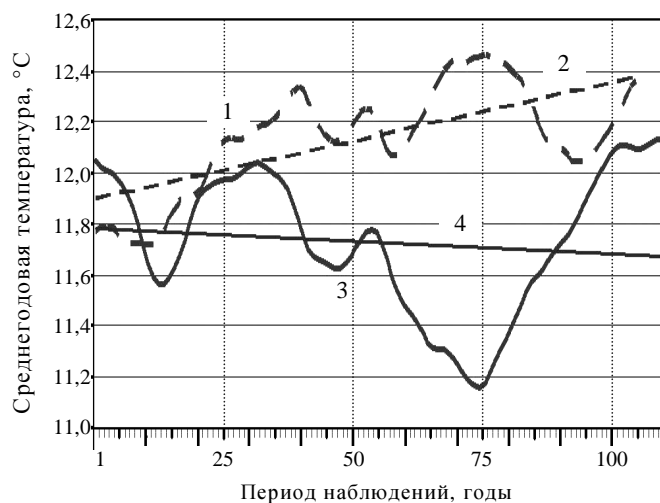


Рис. 5. Среднегодовая температура в Севастополе за период 1882 – 2006 гг. согласно данным фактических наблюдений (пунктирная линия) и согласно расчетам по модели *CSIRO* (сплошная линия). 1 – измерение; 2 – тренд; 3 – расчет по модели; 4 – тренд. (Тренды – линейные).

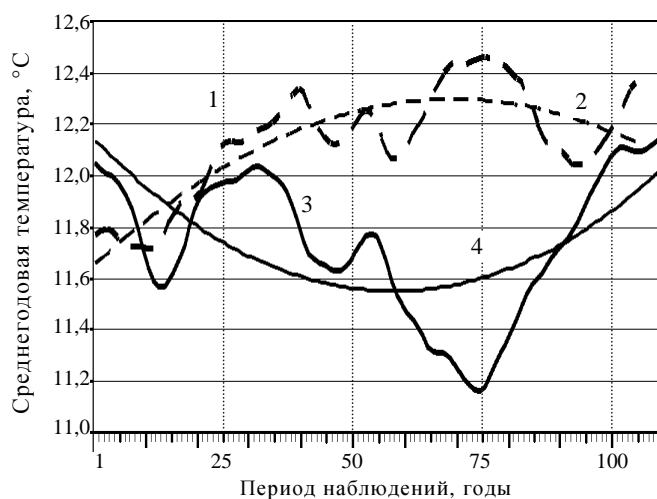


Рис. 6. Среднегодовая температура в Севастополе за период 1882 – 2006 гг. согласно данным фактических наблюдений (пунктирная линия) и согласно расчетам по модели *CSIRO* (сплошная линия). 1 – измерение; 2 – тренд; 3 – расчет по модели; 4 – тренд. (Тренды аппроксимированы полиномами 2-й степени).

Сопоставление показанных на них графиков изменения среднегодовой температуры с графиком изменения среднеянварской температуры (см. рис. 4) показывает, что картины изменчивости как среднегодовой, так и среднеянварской температур во многом похожи.

Расхождение между реальной и моделируемой среднегодовыми температурами достигает 1,5 °С. Линейный тренд ведет себя противоположным образом: фактическая температура в течение периода наблюдения растет, в то время как в модели она падает. За 130-летний период разница в трендах достигает 0,6 °С. Если же тренды аппроксимировать полиномом второй степени, то даже в отдельных частях графика не удастся добиться соответствия – тренды находятся в противофазе друг другу (см. рис. 6).

Соответствие между линейными среднегодовыми трендами (см. рис. 5 и рис. 6) и поправками по месяцам (см. табл. 1) таково, что отдельные месяцы вносят разный вклад в среднегодовой тренд и в целом его величина за сто лет незначима по сравнению с изменчивостью отдельных месяцев.

Выводы. Сравнение климатических расчетов приземной температуры по модели *CSIRO* с данными наблюдений в одном из квадратов Черноморского региона, включающего Севастополь, показало следующее.

Модель дает близкие к наблюдаемым величины среднемесячных температур, но несколько занижает амплитуду годового хода температуры приземного воздуха. Межгодовая изменчивость среднемесячной температуры тоже существенно ниже реальной. Модельный климат более мягкий и стабильный, чем наблюдаемый.

Для оценки годового хода, а также для восстановления средней температуры по месяцам (с учетом полученных поправок) для региона Черного моря можно использовать результаты расчетов по модели *CSIRO MK 3.0*. При этом рассчитанные ряды температуры согласуются с осредненными данными наблюдений. Вековые тренды, рассчитанные по модельным и фактическим (измеренным) данным могут различаться в пределах 95 % уровня значимости.

В продолжение данной работы необходимо провести климатический анализ по ансамблю различных моделей (как минимум 3 – 4), предварительно проведя анализ качества конкретной модели, применительно к исследуемому региону.

Работа выполнена частично при поддержке гранта *FP7-ENV-2009-1 № 244104 (THESEUS)*.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Caïm* «CSIRO Marine and Atmospheric Research». [Электронный ресурс]. <http://www.cmar.csiro.au/> (Проверено 01.07.2011).
2. <https://esg.llnl.gov:8443/data/searchPage.do>
3. *Caïm* «Geophysical Fluid Dynamics Laboratory. GFDL's data portal» [Электронный ресурс]. <http://nomads.gfdl.gov/> (Проверено 01.07.2011).
4. *The effect of predicted climate change on western Australian regional oceanography* by Paul J. Durack. A thesis submitted in fulfilment of the requirements for the degree of B.Sc. (Hons) in the School of Environmental Science Murdoch University, November 2002.

Материал поступил в редакцию 23.05.2011 г.

После доработки 14.07.2011 г.