



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра динамики атмосферы и космического земледования

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА

(Дипломная работа)

На тему *Коррекция реанализа данными буйковых наблюдений
при помощи модели WRF*

Исполнитель Стригунова Яна Вячеславовна

Руководитель к.ф.-м.н., доцент, Булгаков Кирилл Юрьевич

«К защите допускаю»

Заведующий кафедрой

к.ф.-м.н Егоров Кирилл Леонидович

«__» _____ 20__ г.

Санкт-Петербург

2017

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	3
ГЛАВА 1.....	5
1.1 РЕАНАЛИЗ.....	5
1.2 ДАННЫЕ НАБЛЮДЕНИЙ.....	9
1.3 ТЕМПЕРАТУРА ПОВЕРХНОСТИ ОКЕАНА.....	13
ГЛАВА 2.....	15
2.1 МЕТОД КОРРЕКЦИИ.....	15
2.2 WRF (Weather Research and Forecasting)	15
2.3 ЭКСПЕРИМЕНТЫ	18
Январь	24
Февраль	26
Март	28
Апрель.....	30
Май	32
Июнь	34
Июль	36
Август.....	38
Сентябрь	40
Октябрь.....	43
Ноябрь.....	45
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	49
СПИСОК ИСТОЧНИКОВ.....	51
ПРИЛОЖЕНИЕ А	53

ВВЕДЕНИЕ

Одним из современных методов в метеорологии и климатологии – является использование полей реанализа. Эти данные могут быть использованы как в фундаментальных (например, исследование климатических обратных связей), так и в прикладных задачах (расчет максимально возможного промерзания грунтов и т.д.). В настоящее время разработкой реанализов, которые включает в себя сложную процедуру ассимиляции и согласования разнородных данных (станционные, судовые, спутниковые наблюдения) занимаются несколько научных центров. Наиболее известные архивы данных реанализа: NCEP/NCAR - совместный проект Национальных Центров Предсказания Окружающей Среды (National Centers for Environmental Prediction) – NCEP и Национального Центра Изучения Атмосферы (National Center for Atmospheric Research) – NCAR[1], ERA – продукт Европейского центра среднесрочных прогнозов (ECMWF).[2] В последнее время активно используется данные реанализа JRA-55, созданного Японским Метеорологическим Агентством (JMA), совместно с Центральным Научно-исследовательским Институтом Электроэнергетики (CRIEPI).[3]

Реанализ – поля физических величин, полученные и обработанные с применением полного набора данных наблюдений, доступных при расчете, с различных платформ, в том числе данных, поступающих в задержанном режиме, а также прогностические и фактические комплекты данных последующих сроков. Более подробно об этом описано в Главе 1.1.

Немаловажно выделить актуальность данной тематики.

Реанализ – современный инструмент, активно применяемый в большинстве исследований.

Интеграция наборов наблюдений, развитие и усовершенствование методов и схем контроля данных и их четырехмерного усвоения, качественное обновление прогностических схем и физико-динамических моделей – все это невозможно без продуктов реанализа.

При этом необходимо тщательно сопоставлять результаты этих продуктов с данными наблюдений.

Этому и посвящено данное исследование. Оно заключается в подробном изучении необходимых компонентов – это, в первую очередь, реанализ, затем применяемые для сопоставления данные наблюдений, их калибровка. Также будет упомянуто о модели, ее настройках. Результаты исследования будут представлены в графиках, а также в их последующем анализе. Соответственно, в заключении будут подведены итоги исследования и отмечены дальнейшие перспективы.

Более ясное понимание дадут поставленные задачи:

- ✓ сопоставить данные реанализа с буйковыми;
- ✓ подготовить модель запуску, а именно:
 - определить область моделирования, в центре которой должна находиться точка с координатами буя;
 - определить размер области (количество точек);
 - выбрать картографическую проекцию;
 - подобрать подходящие данные реанализа;
- ✓ провести серию экспериментов;
- ✓ выявить изменение после коррекции годового и месячного распределения гидрометеорологических величин, а также сравнить их с фактическими;
- ✓ оценить влияние коррекции на регион исследования.

ГЛАВА 1

1.1 РЕАНАЛИЗ

За последнее десятилетие реанализ получил широкое распространение во многих областях исследовательской сферы, начиная от исследования климатических трендов, моделирования климата (Wang и др, 2006; Fealy и Sweeney, 2007; Ciccarelli и др., 2008) до оценки возобновляемых ресурсов и источников энергии (Khan и Iqball, 2004; Henfridsson и др. 2007). Более подробно сообщает Таблица 1.1.

Таблица 1.1 Применение реанализа

Прикладные Задачи	Фундаментальные Задачи
Промерзание Грунтов	Верификация Моделей
Водосбор Рек	Валидация Моделей
Воспроизведение Экстремальных Ситуаций	Моделирование Климата
Изменение Снежного Покрова	Региональное Моделирование
Распространение Примесей	
Промерзание Грунтов	
Водосбор Рек	

Как было описано во введении, реанализ создается тремя мировыми центрами. Подробная их характеристика указана в Таблице 1.2.

Таблица 1.2 Сравнение характеристик реанализов

Реанализ	NCEP/NCAR	ERA-Interim	JRA-55
пространственное разрешение	2.5°x2.5°;	1°x1°;	1.125°x1.125°
временное разрешение	4р/день (сроки 00,06,12,18 UTC);	4р/день (сроки 00,06,12,18 UTC);	4р/день (сроки 00,06,12,18 UTC);
Уровни	17 (по давлению) и 28 (σ-поверхности);	37 (по давлению) и 16 (изоэнтропические поверхности);	всего 40, по давлению – до 0.4 ГПа, остальные - σ-поверхности;
Даты	1948-2010 гг.	1979-2010 гг.	1957-2016 гг.

Формирование реанализа происходит следующим образом: с помощью модели с применением много итерационной обработки берутся данные наблюдений различных платформ, интерполируются, а затем ассимилируются. Однако, ассимиляция вносит определенные ошибки. Из-за чего данные реанализа отличаются от данных наблюдений. Для сравнения необходимо рассмотреть оба объекта изучения.

Для подбора объекта изучения было взято 2 продукта Европейского центра среднесрочных прогнозов ERA-Interim, ERA-20C [4].

Подробнее об ERA-Interim

Система ассимиляции данных, используемых для ERA-Interim, основана на модели Cy31r2. Система включает в себя 4-мерный вариационный анализ (4D-Var) с 12-часовым окном.

Пространственное разрешение – 80 км (T255 спектральная). Продукты ERA-Interim, как правило, обновляются один раз в месяц, с задержкой в два месяца, с целью контроля качества и исправления технических проблем, если таковые имеются.

Подробнее об ERA-20C

ERA-20C – результат модели Cy38r1. Вертикальная протяженность – 91 уровень (с поверхности земли до уровня в 0.01 Гпа). Пространственное разрешение – 125 км (T159m спектральная). Данные доступны, как и для ERA-Interim.

Наблюдения, ассимилированные, включают значения давления на поверхности и средние значения на уровне моря, которые были взяты из ISPDv3.2.6 и ICOADSv2.5.1, а также на поверхности морских ветров, взятых из ICOADSv2.5.1.

Методика ассимиляции – 24 – часовой четырехмерный вариационный анализ, с коррекцией вариационного смещения наблюдений за поверхностным давлением. Вводится коррекция вариационного смещения наблюдений за поверхностным давлением. Анализ обеспечивает начальные условия для последующих прогнозов, которые служат фоном для следующего анализа.

Временное разрешение

Временное разрешение ежедневных продуктов обычно составляет 3 часа. Исключения составляют продукты анализа, в которых следующие параметры поверхности доступны только по шестичасовому интервалу: ледяной покров, плотность снега, температура поверхности моря. А также - объемный слой 1,3,4 грунтовых вод, объемный слой 2 воды в почве, уровень 1 температуры почвы, глубина снега, температура на 2 метров, температура точки росы на 2 метров, уровень 2,3 температуры почвы, температура снежного покрова.

Данные реанализов могут быть получены как в формате GRIB(GRIB2), так и в формате NetCDF. Хотя в заголовках GRIB не всегда ясно, из-за ограничений метаданных, которые могут быть включены в GRIB, прогнозируемый месяц включает только такие шаги прогноза, которые имеют действительное время в календарном месяце (для мгновенных прогнозов) или имеют накопление в календарном месяце. Например, 21 и 24-часовое накопление прогноза с 06 UTC пересекает границы календарного месяца, поэтому эти накопления были сокращены и сплассированы, таким образом, чтоб они попадали в один календарный месяц.

1.2 ДАННЫЕ НАБЛЮДЕНИЙ

Следующий объект изучения – данные наблюдений, которые были взяты из программы PIRATA.

Программа PIRATA является частью глобального проекта TRITON и была создана в 1990-х годах, ее модернизация началась в 2005 году и продолжается до сих пор. С 2008 года стала расшифровываться как "Prediction and Research Moored Array in the Tropical Atlantic".

Калибровка данных

«Сырые» данные обрабатываются с помощью компьютерных программ. Эти программы также выполняют проверку грубых ошибок в данных, выходящих за пределы физически реальных диапазонов.

Далее, на основе временных рядов, строятся спектральные графики и гистограммы. Статистика, включая среднее, медиану, стандартное отклонение, дисперсию, минимум и максимум, вычисляется для каждого временного ряда.

Данные, прошедшие проверку на грубые ошибки, являющиеся отличными от соседних членов временного ряда, и / или которые являются статистическими выбросами, рассматриваются на индивидуальной основе. Также проверяется согласованность с другими переменными.

Буй с координатами 15° с.ш. 38° з.д. был введен в январе 1998 года. С начала 2000-х годов, датчики и их характеристики претерпели изменение. Современные приборы, и их точность указана в Таблице 1.3

Таблица 1.3 Приборы, установленные на буре проекта PIRATA

Прибор	Измерение	Разрешение	Диапазон	Точность
Gill Wind sonic	Скорость ветра	0.2 м/с	1-20 м/с	±3%/0.3м/с
	Направление ветра	1.4°	0-359°	±5°-7.8°
Rotronic MP101	Температура воздуха (Термометр сопротивления)	0.01°	14-32°C	±0.2°C
	Относительная влажность	0.4 % реальное время 0.02 % режим задержки	55-95 %	±2.7%
RMYoung 50203-34	Осадки	0.2 мм/ч	0-50 мм/ч	±0.4 мм/ч
Eppley Laboratory PSP	Нисходящая КВР (пиранометр)	0.4 Вт/м ²	200-1200 Вт/м ²	±2%
GE 'Druck' RPT350	Барометрическое Давление	0.1 ГПа	800-1100 ГПа	±0.01%
Seabird SBE39	ТПО	±0.0001°C	-5-35°C	±0.003°C

Источник: <https://www.pmel.noaa.gov/gtmba/sensor-specifications>

The Pilot Research Moored Array in the tropical Atlantic (PIRATA) [5] был разработан в качестве многонациональной наблюдательной сети Бразилии, Франции и Соединенных Штатов с целью улучшения знаний об изменчивости океана и атмосферы в тропической части Атлантического океана.

Область тропической Атлантики, имеющая изменчивость в системе океан-атмосфера, масштабами от сезонных до многодекадных, оказывает сильное влияние на региональные различия в уровне осадков и, следовательно, на экономику соседних континентальных районов. Например, изменения во внутритропической зоне конвергенции (ВЗК) и зоне муссонов Западной Африки влияют на количество осадков и засухи в Африке и северо-востоке Бразилии, а также на активность ураганов в Западной Индии и США.

Стоит отметить, что область, в которой находится буй, в общем однородна. В этой части Атлантического океана практически нет суши, и не наблюдается постоянных течений. Таким образом, можно ожидать, что показанная ошибка в воспроизведении температуры поверхности будет приблизительно одинакова для большого региона.

Производилось сравнение между данными наблюдениями и реанализа.

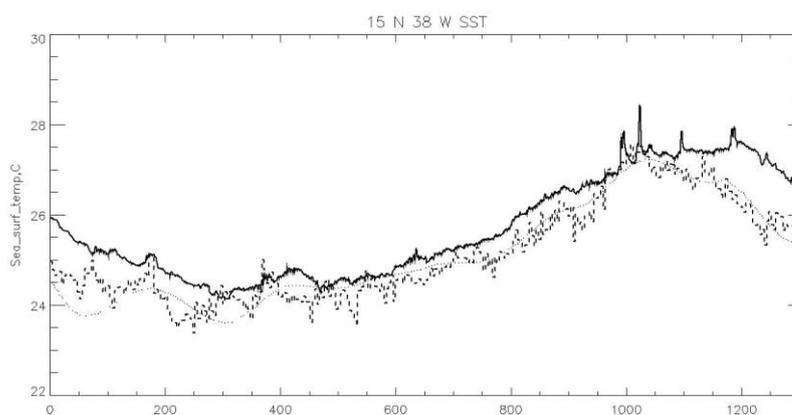


Рисунок 1.1 Сопоставление данных наблюдений температуры поверхности моря и двух реанализов: *сплошная черная линия* – данные с буя, *прерывистая*– данные реанализа ERA 20C, *пунктирная*– реанализ ERA Interim.

На Рисунке 1 представлены данные по температуры поверхности в точке (15 с.ш., 38 з.д.) из архивов: ERA 20С и ERA Interim, а также данные наблюдений температуры поверхности, полученные с помощью буя проекта PIRATA. Первый показывает более сглаженную функцию, в другом большая изменчивость. Это обусловлено тем, что реанализ ERA 20С использует более старые методы ассимиляции. Тем не менее, он неплохо описывает функцию температуры поверхности моря. Естественно, более близкий ход показал другой реанализ.

Стоит отметить, что наибольшая разница отмечается в зимние месяцы (начало и конец данных). Наиболее хорошо реанализ воспроизводит весенние месяцы (март-апрель), а также август. Наибольшее отклонение в ноябре составляют для ERA 20С 2.1 °С, для ERA-Interim — 1.5°С

Температура морской поверхности - одна из важнейших характеристик климатической системы «океан-атмосфера».

Система океан-атмосфера является единой и термогидродинамической за счет непрерывного обмена массой и энергией. Это необходимо учитывать, потому как изменение одного компонента системы влечет за собой изменение другого.

Обе подсистемы имеют свои специфичные свойства: океан, имея низкую теплопроводность, способен запасать колоссальные объемы тепловой энергии, что сглаживает амплитуду колебаний температуры [6]. Атмосфера, в свою очередь, имеет пространственную неоднородность, что определяет изменчивость метеорологических параметров.

Таким образом, температура морской поверхности – важное звено в этой системе. О ней будет посвящена следующая подглава.

1.3 ТЕМПЕРАТУРА ПОВЕРХНОСТИ ОКЕАНА

Температура поверхности океана (ТПО) – температура воды, близкая к поверхности океана. Интервал величины зависит от метода измерения и варьируется в пределах от 1 мм до 20 м.

Данные по температуре морской поверхности могут измеряться прямыми и косвенными методами. Наибольшую популярность имеют альтиметрические (спутниковые) измерения. Однако, существует сеть буйковых наблюдений, которые также задействуются в исследованиях.

Температура поверхности моря - значимая величина как для атмосферы, так и для гидросферы, которая, несомненно, влияет на глобальный климат.

Для атмосферы ТПО – нижняя граница слоя, подстилающая поверхность, которая определяет свойства пограничного слоя, а также является основным фактором в формировании морского бриза и тумана. Для гидросферы (океана) -верхняя граница, определяющая интенсивность процессов в перемешивающем слое. Измерение этой температуры производится при помощи инфракрасных радиометров (преимущественно со спутников NOAA).

Глобальная температура поверхности моря изменяется согласно широтному распределению. Такая зависимость обусловлена неравномерным притоком солнечной радиации.

Согласно обобщенным данным [7], самые высокие температуры на экваторе (около $+28+29^{\circ}\text{C}$), самые низкие – на полюсах (около 1°). Среднее значение примерно 17.5°C .

Также один из факторов изменчивости температуры – течения, в основном поверхностные. На основе теории глобальной циркуляции [8], перенос осуществляется от экватора к умеренным широтам.

Также ТПО - один из факторов образования тропических циклонов.

Наблюдается и обратное влияние: тропические циклоны способны создавать так называемый «холодный след», то есть локальное понижение температуры.

ТПО изменяется также в течение суток – подобно приземной температуре, но более слабо, и в течение года – в зимние месяцы наблюдаются меньше вариаций.

Колебания ТПО большего временного масштаба обусловлено явлениями Атлантического Мульти-декадного Колебания(АМО), Эль-Ниньо и Ла-Нинья (ЭНЮК), Тихоокеанские Декадные Осцилляции (Pacific Decadal Oscillation -PDO), колебания Маддена-Джулиана (MJO) и др. [9]

Один из значительных факторов изменчивости ТПО – термохалинная циркуляция. Термохалинная циркуляция — замкнутое движение масс воды крупного масштаба, возникшее вследствие неравномерности поля плотности воды, которое, в свою очередь, сформировалось из-за неоднородности полей солености и температуры.

Помимо термина «термохалинная циркуляция» существует также «океаническим конвейер». Это означает, что существует непрерывное перемещение энергии, тепла и массы вещества во всём океане.

Апвеллинг, создаваемый ветрами с помощью прибрежных вод, воздействует на температуру близлежащих участков суши.

Таким образом, даже улучшив данные реанализа в области открытого океана, можно повлиять на фактическое состояние погоды у побережья.

Существуют метод, позволяющий произвести это улучшение. Об этом будет написано во второй главе.

ГЛАВА 2

2.1 МЕТОД КОРРЕКЦИИ

Был предложен следующий способ коррекции такой ошибки: Данные реанализа используются как граничные условия в региональной модели WRF [10]. Температура поверхности моря, которая используется в модели как нижнее граничное условия для уравнения притока тепла, корректируется на разницу между данными наблюдений и реанализа. Учитывая то, что воздух имеет малую термическую инерцию, приспособление полей в решение к новой температуре поверхности произойдет в течение нескольких часов. Такой способ не применим для всех регионов. Например, его нельзя использовать в области океанских фронтов. Это обусловлено большими градиентами, возникающими на границах фронтов и создающие искажения в коррекции, что недопустимо для прогнозирования или исследования характеристик подстилающей поверхности.

2.2 WRF (Weather Research and Forecasting)

WRF-ARW (Advanced Research WRF) – продукт Национального центра исследований атмосферы США. Эта модель: численная негидростатическая (с возможностью применения гидростатики), использующая предположение о сжимаемости среды, со схемой интегрирования по времени Рунге-Кутты 2-го и 3-го порядка, с вертикальной η (гибридной) - системой координат, то есть:

$$\eta = (p_h - p_{ht})/\mu \text{ и } \mu = p_{hs} - p_{ht}, \quad (1)$$

где p_h – гидростатическое давление, а p_{hs} и p_{ht} – значения на нижней и верхней границе столба атмосферы, μ – классическая σ – координата, используемая во многих гидростатических моделях атмосферы, причем $\eta \in [1,0]$.

Так как $\mu(x, y)$ – масса на единицу площади внутри столба области моделирования (x, y) , то соответствующие переменные формы потока запишутся таким образом:

$$\mathbf{V} = \mu \mathbf{v} = (U, V, W), \Omega = \mu \dot{\eta}, \Theta = \mu \theta, \quad (2)$$

где $\mathbf{V} = (u, v, w)$ - скорости в двух горизонтальных и вертикальном направлениях, соответственно, а $\Omega = \dot{\eta}$ - «вертикальная» скорость, Θ - потенциальная температура. Также в основных уравнениях ARW появляются неконсервативные переменные $\phi = gz$ (геопотенциал), p (давление) и $\alpha = 1 / \rho$ (удельная плотность).

Основная система уравнений в потоковой форме Эйлера следующая:

$$\partial_t U + (\nabla \cdot \mathbf{V}u) - \partial_x(p\phi_\eta) + \partial_\eta(p\phi_x) = F_U \quad (3)$$

$$\partial_t V + (\nabla \cdot \mathbf{V}v) - \partial_y(p\phi_\eta) + \partial_\eta(p\phi_y) = F_V \quad (4)$$

$$\partial_t W + (\nabla \cdot \mathbf{V}w) - g(\partial_\eta p - \mu) = F_W \quad (5)$$

$$\partial_t \Theta + (\nabla \cdot \mathbf{V}\theta) = F_\Theta \quad (6)$$

$$\partial_t \mu + (\nabla \cdot \mathbf{V}) = 0 \quad (7)$$

$$\partial_t \phi + \mu^{-1}[(\mathbf{V} \cdot \nabla \phi) - gW] = 0 \quad (8)$$

с диагностическим уравнением для удельной плотности:

$$\partial_\eta \phi = -\alpha \mu \quad (9)$$

и уравнением состояния

$$p = p_0(R_d \theta / p_0 \alpha)^\gamma. \quad (10)$$

Индексы x, y, η обозначают такое дифференцирование:

$$\nabla \cdot \mathbf{V}a = \partial_x(Ua) + \partial_y(Va) + \partial_\eta(\Omega a),$$

$$\mathbf{V} \cdot \nabla a = U \partial_x a + V \partial_y a + \Omega \partial_\eta a.$$

В системе уравнений (3) - (10) заданы константы: $\gamma = c_p/c_v = 1.4$ – соотношение теплоемкостей при постоянном давлении и объеме, R_d – газовая постоянная сухого воздуха, p_0 – заданное давление (10^5 Па).

В правой части уравнений - F_U , F_V , F_W , F_Θ – члены, описывающие турбулентность, применение сферической проекции и учет земного вращения [11].

Формирование начальных условий создается при помощи подкластера WPS (WRF Preprocessing System), строящий поля на сетке Аракавы класса C.

Начальные поля, как правило, берутся из других моделей. В данном исследовании были взяты поля из модели GFS.

NCEP FNL Operational Model Global Tropospheric Analyses, continuing from July 1999 (ds083.2 | DOI: 10.5065)

Данный продукт был создан Всемирной системой ассимиляции данных (GDAS), которая продолжает собирать данные наблюдений из Всемирной системы телекоммуникаций (GTS) и др.

Таблица 2.1 Переменные, содержащиеся в NCEP FNL

Температура воздуха	Водность/ледность облака	Конвекция	Испарение
Геопотенциальная высота	Влажность	Гидростатическое давление	Ледовитость
Растительный покров	Высота планетарного пограничного слоя	Потенциальная температура	Содержание водяного пара
Давление на уровне моря	Температура поверхности моря	Температура слоя	Эквивалент снега
Влажность почвы	Увлажненность почвы	Температура поверхности	Приземное давление
Ветер у поверхности	Высота рельефа	Тропопауза	Концентрация тропосферного озона
Ветер на высотах	Вертикальная составляющая ветра	Вихрь скорости	

Источник: <https://rda.ucar.edu/datasets/ds083.2/>

2.3 ЭКСПЕРИМЕНТЫ

Было проведено два эксперимента по воспроизведению гидрометеорологических величин в период с 1 января по 23 ноября 2007 года. Первый эксперимент использовал вышеописанную коррекцию, второй проводился без коррекции. Горизонтальное разрешение модели – 50 км, вертикальное – 27 уровней.

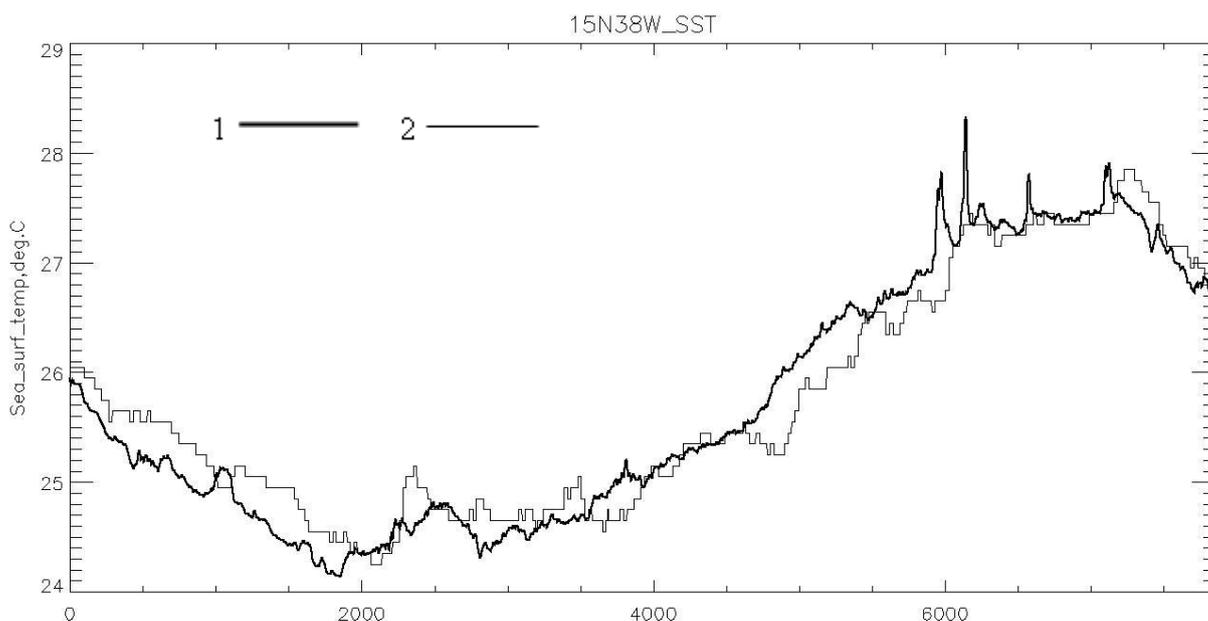


Рисунок 2.5 температура поверхности моря (°C). 1 – данные с буйа, 2 - данные моделирования (без коррекции)

На Рисунке 2.5 показана температура поверхности океана (ТПО) по буйковым данным, а также данные реанализа. Видно, что, разница между значениями порядка градуса. Очевидно, что такая разница в значениях нижнего граничного условия приведет к разнице в воспроизведение температуры воздуха над поверхностью воды. График этой характеристики показан на Рисунке 2.6 является наиболее наглядным – полученные данные с коррекцией близки к буйковым данным.

Минимальная разница между ними – доли градуса, максимальная – примерно 1.3 градуса. Такое отображение является причиной сильного взаимодействия между температурами поверхности и воздуха.

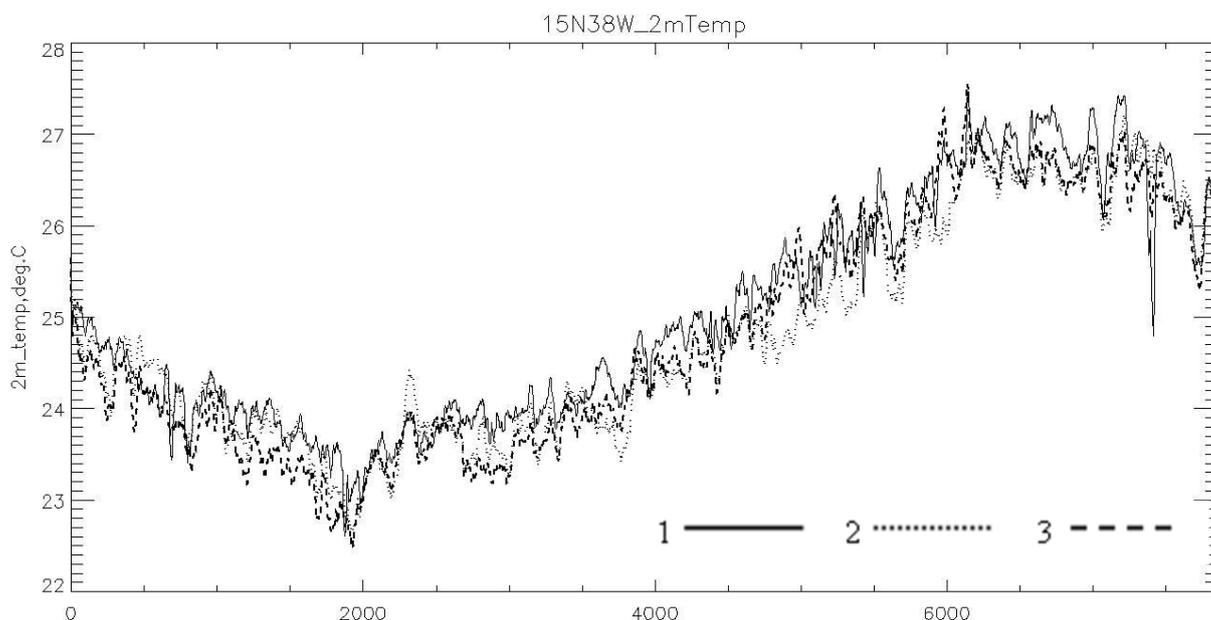


Рисунок 2.6 температура воздуха на 2 м (°C). 1 – данные с бую, 2 - данные моделирования (без коррекции), 3 – данные моделирования (с коррекцией)

Однако, в некоторых областях (особенно в зимний период) данные без коррекции ближе. Более подробно это будет анализироваться помесечно.

С начала года смоделированные значения ТПО завышены, кроме короткого промежутка интервалом сколько-то, который приходится на короткий всплеск. В целом, в холодный сезон, ТПО уменьшается.

С началом прихода весеннего сезона происходят колебания значений, местами разность минимальна - порядка сотых долей. Это говорит о том, что ТПО «адаптируется» под условия.

При наступлении теплого сезона значения по модели занижаются на 0.5-0.6 градуса. На короткий промежуток эти значения совпадают с наблюдаемыми данными.

В сентябре отмечаются 2 экстремума, причина которых ослабление ветра (до 1-2 м/с). Однако, в эксперименте без коррекции они не были описаны.

С октября по ноябрь возникают также кратковременные повышения температуры, но в основном, температура сглаживается.

Помимо ТПО вносят вклад также давление на уровне моря и относительная влажность. Графики их представлены на Рисунке 2.7, 2.8.

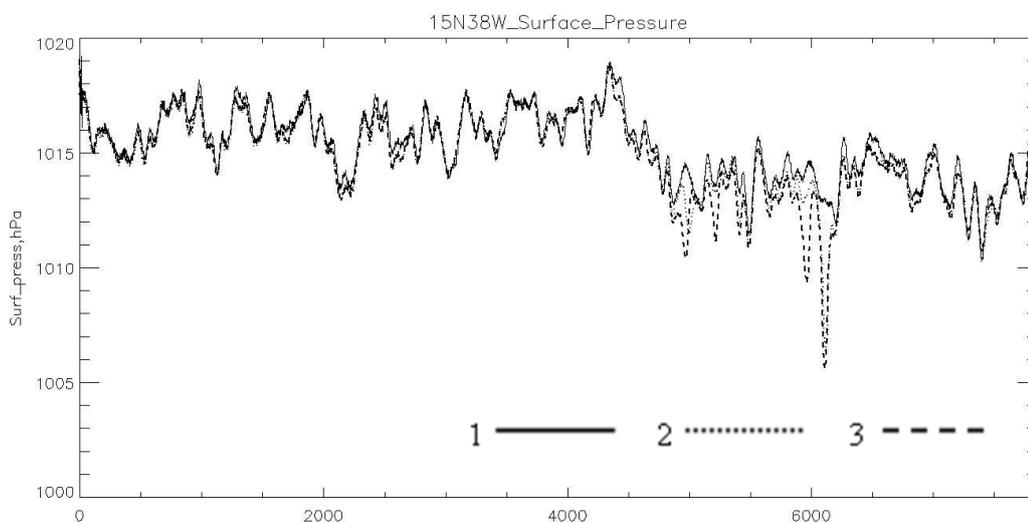


Рисунок 2.7 приземное давление (ГПа). 1 – данные с буя, 2- данные моделирования (без коррекции), 3 – данные моделирования (с коррекцией)

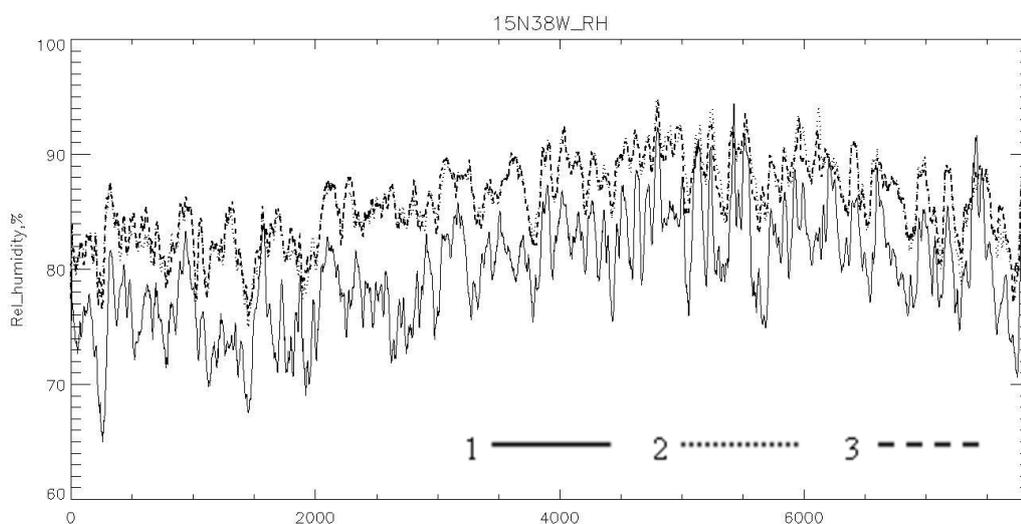


Рисунок 2.8 относительная влажность (%). 1 – данные с буя, 2- данные моделирования (без коррекции), 3 – данные моделирования (с коррекцией)

В общем распределении гидрометеорологических величин можно отметить следующее:

- существует слабовыраженный годовой ход у всех параметров (амплитуда ТПО, приземной температуры и давления, влажности равна 4.2°, 5.8°, 9 ГПа, 21%);

- более сухое состояние воздуха наблюдается в холодный период, но в течение года относительная влажность сильно колеблется;

- давление слабо изменчиво во всем промежутке, но более высокое давление в зимние месяцы, более низкое – в летние;

- наиболее выражен годовой ход у температуры воздуха – минимум в марте, максимум – в сентябре.

- влажность, в основном, повторяет температурный ход, наилучшее отображение замечено в феврале.

- хорошая связь у ТПО и приземной температуры в июне, мае. Наилучшая – в сентябре.

Для анализа качества коррекции была рассчитана и построена среднеквадратическая ошибка. Результаты демонстрируются на Рисунок 2.9, 2.10 и 2.11.

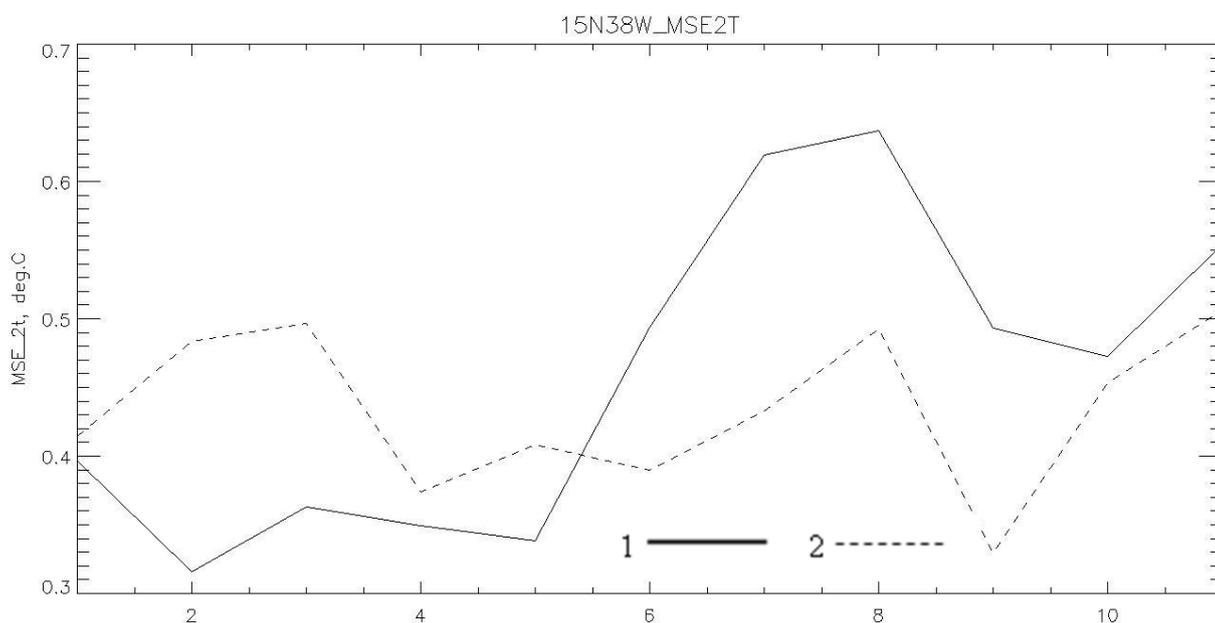


Рисунок 2.9 среднеквадратическая ошибка температуры воздуха на 2 м (°C). 1 – данные моделирования (без коррекции), 2 – данные моделирования (с коррекцией)

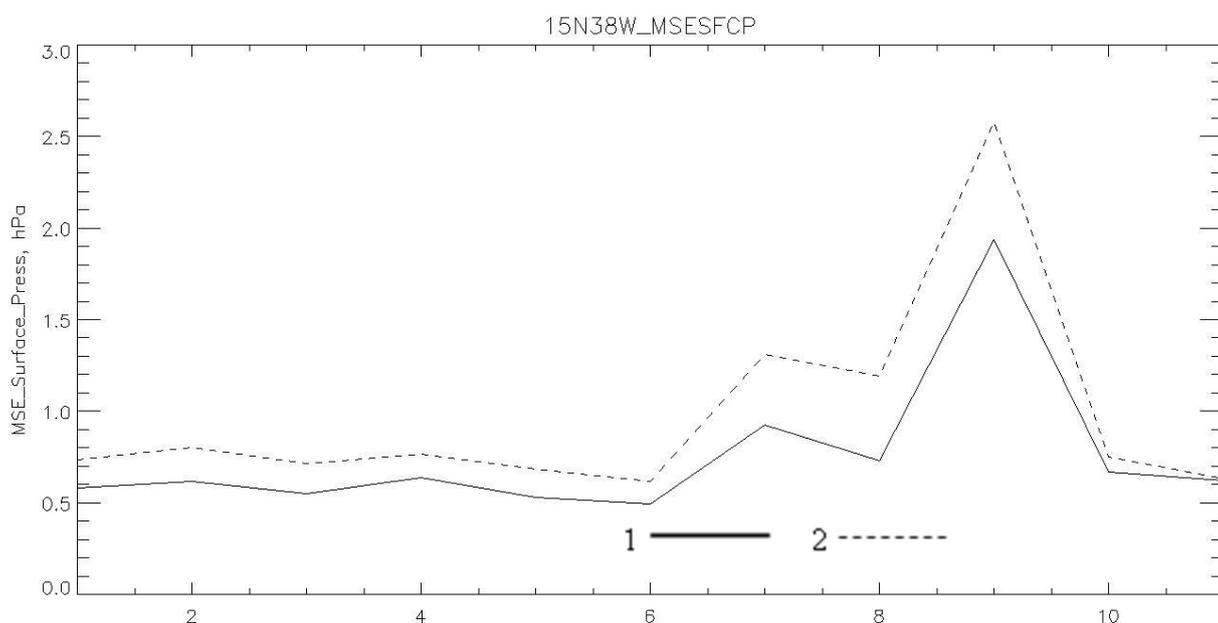


Рисунок 2.10 среднеквадратическая ошибка давление на уровне моря (ГПа). 1 – данные моделирования (без коррекции), 2 – данные моделирования (с коррекцией)

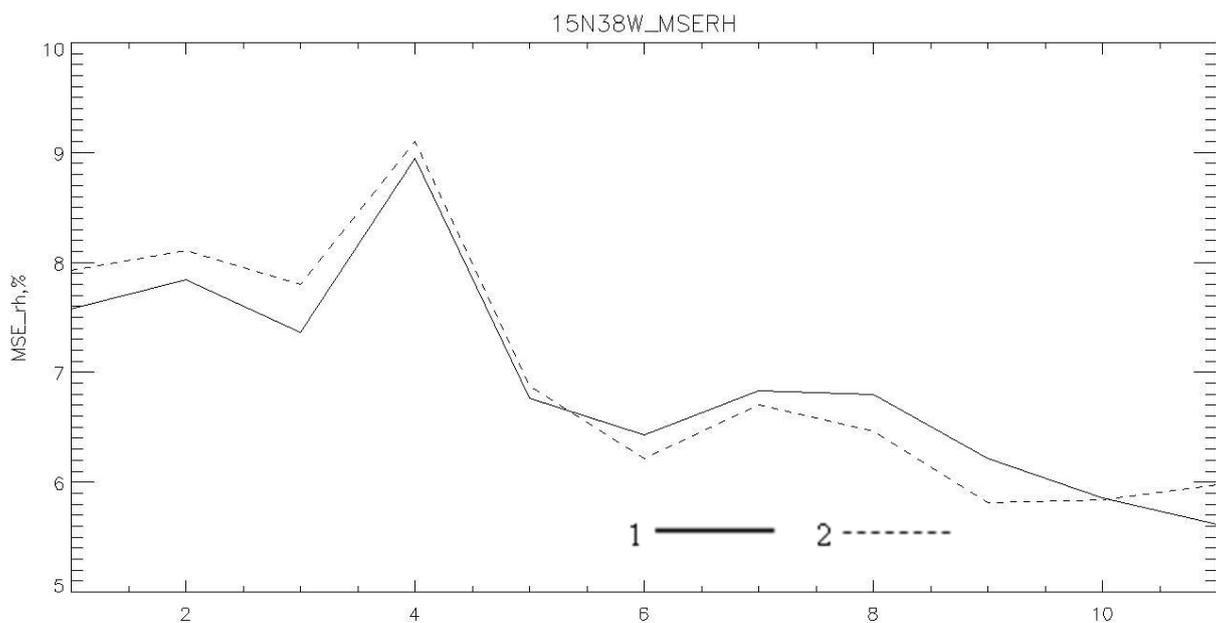


Рисунок 2.11 среднеквадратическая ошибка относительной влажности (%). 1 – данные моделирования (без коррекции), 2 – данные моделирования (с коррекцией)

Согласно годовому распределению ошибки для температуры воздуха коррекция лучше себя показала, в основном, в летние месяцы (с середины мая до конца ноября). Вероятно, это связано с прогревом воздуха и поверхности. Наименьшее отклонение от данных наблюдений отмечается в сентябре. Наибольшее отклонение – в марте.

Коррекция хуже повлияла на поле давления – ошибка увеличилась на 0.5 ГПа – в сентябре. Причину такого отклонения выявить не удалось.

Годовое распределение ошибки для влажности подобно распределению для приземной температуры, однако, с октября коррекция увеличила отклонение. В целом, относительная влажность плохо описалась данной конфигурацией модели. Возможное изменение параметризаций положительно сказалось бы на данной ситуации.

С целью детального изучения были построены месячное распределение приземной температуры, ТПО и влажности воздуха.

Январь

В январе количество суммарной радиации уменьшается, а значит, температуры также должны постепенно уменьшаться.

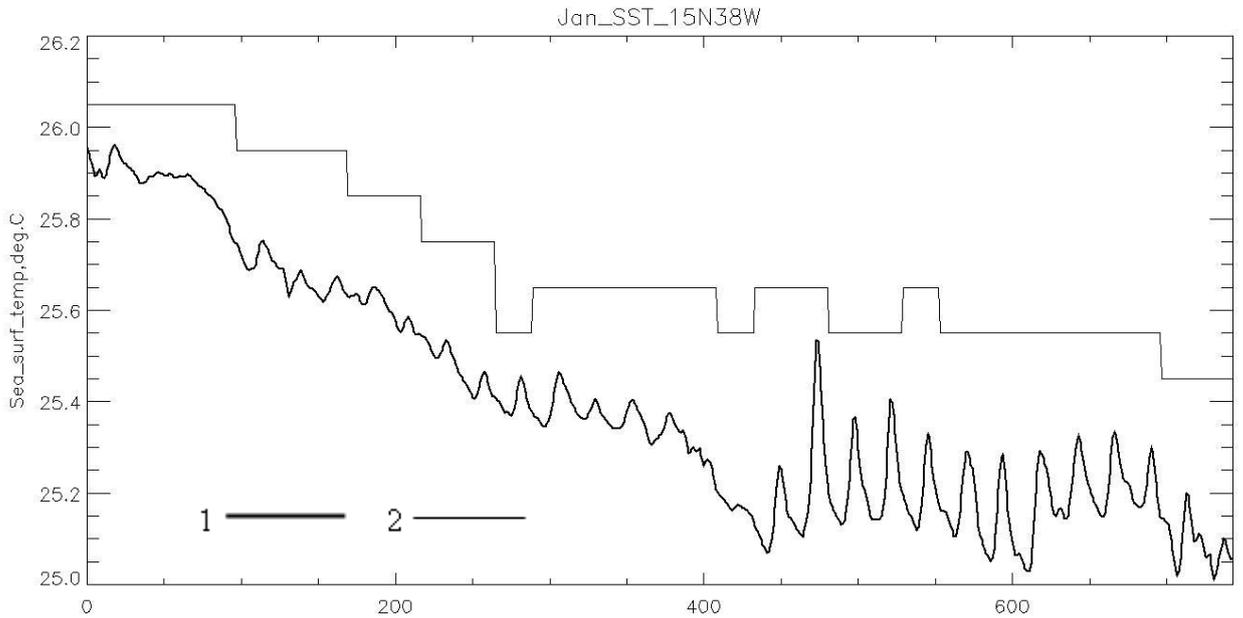


Рисунок 2.12 температура поверхности моря (°C). 1 – данные с буя, 2- данные моделирования (без коррекции)

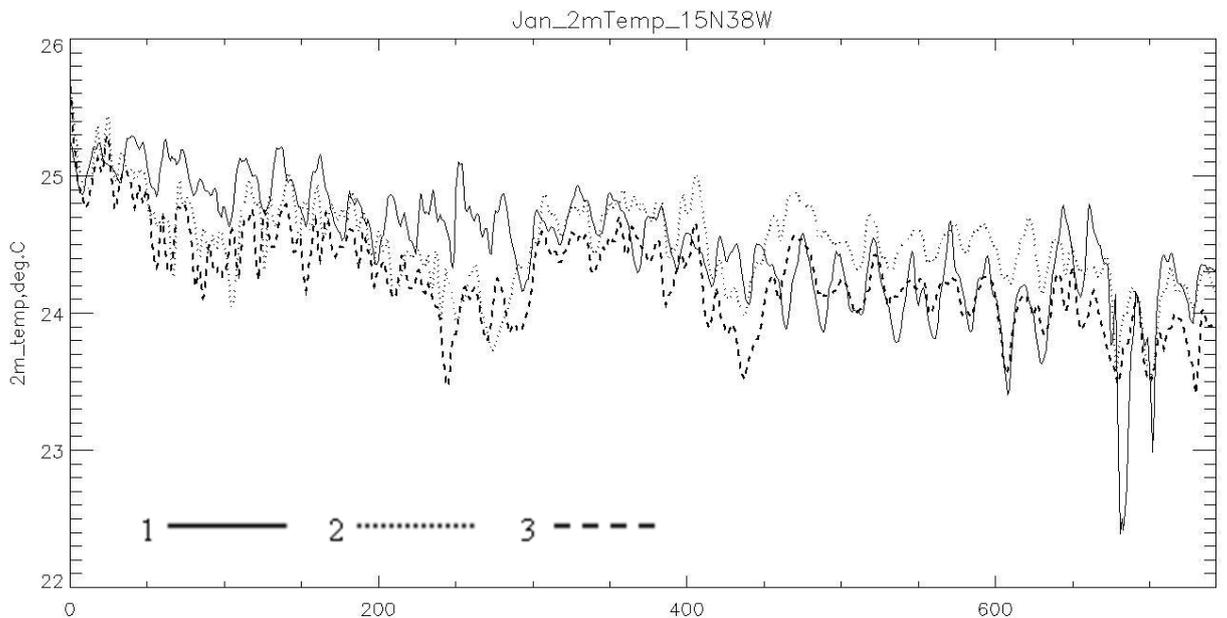


Рисунок 2.13 температура воздуха на 2 м (°C). 1 – данные с буя, 2- данные моделирования (без коррекции), 3 – данные моделирования (с коррекцией)

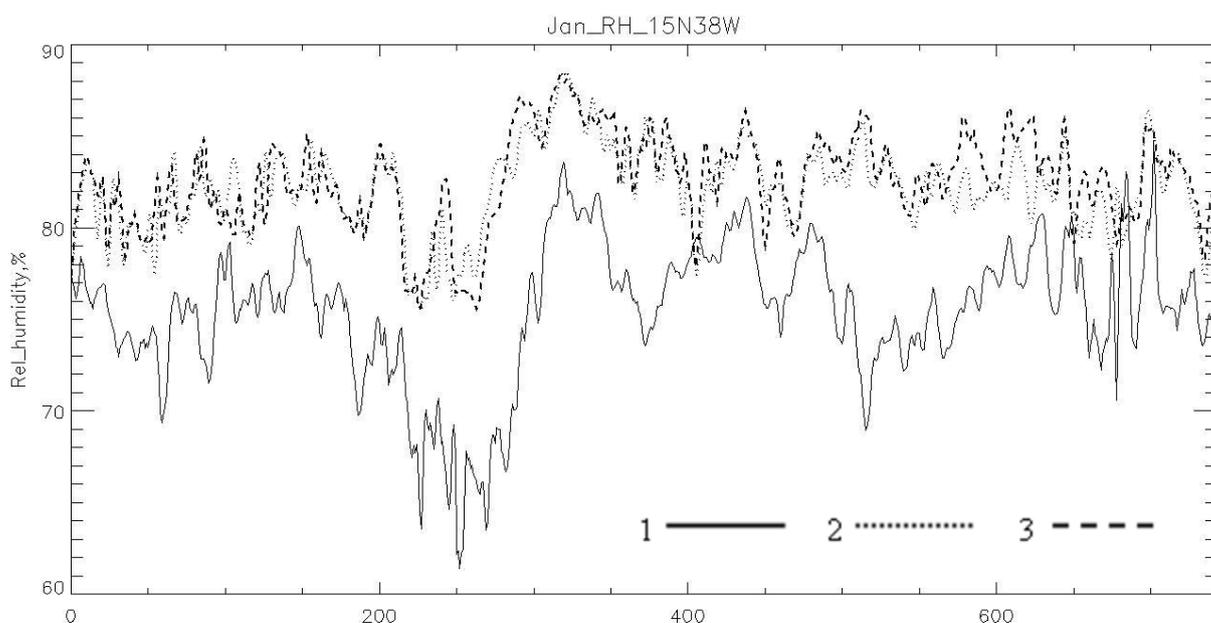


Рисунок 2.14 относительная влажность (%). 1 – данные с буйа, 2- данные моделирования (без коррекции), 3 – данные моделирования (с коррекцией)

В начале месяца до середины наблюдаемая ТПО плавно уменьшается, но, начиная с середины происходят кратковременные повышения с сохранением общей тенденции. Данные моделирования не описывают всплески и на всем протяжении месяца выше наблюдений. Тем не менее, тенденцию повторяют.

На всем протяжении месяца коррекция оказывает неоднозначное влияние на поле приземной температуры. Стоит отметить, когда моделируемые данные завышаются, то коррекция приближает данные к буйковым. Также коррекция показало меньшее отклонение при формировании локальных похолоданий.

Коррекция слабо отразилась на влажности, так как значения, полученные в обоих экспериментах, почти не отличаются. В последние дни месяца данные экспериментов совпадают с данными буйа.

Февраль

Зачастую минимум температуры воздуха на 2 м наблюдается в этом месяце.

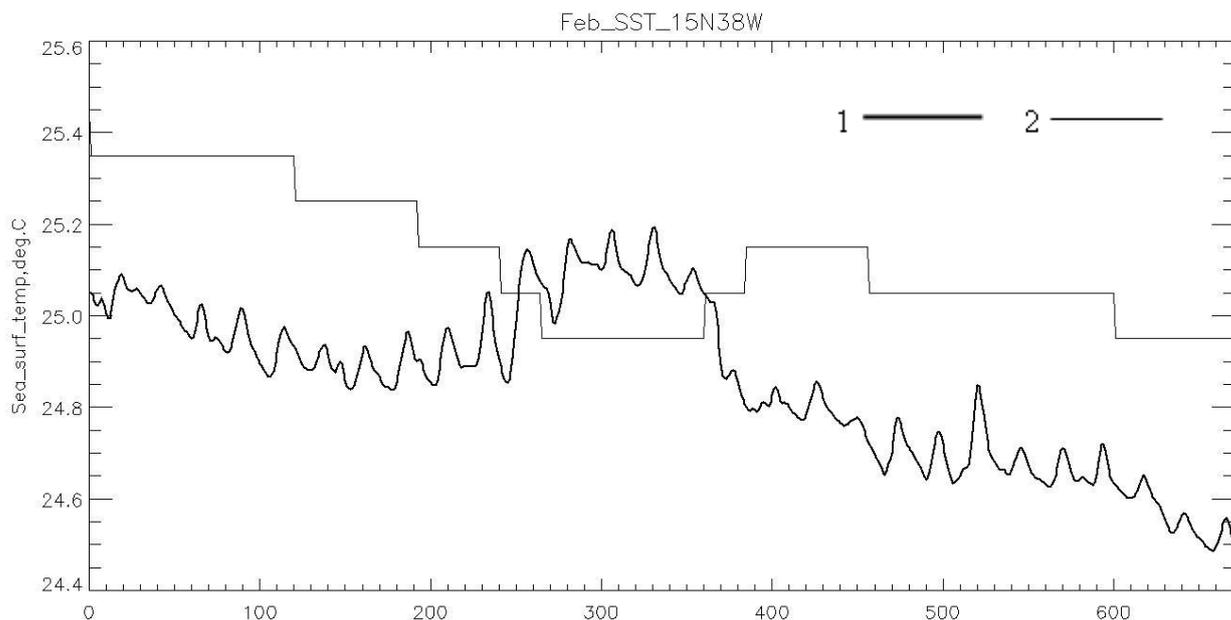


Рисунок 2.15 температура поверхности моря (°C). 1 – данные с буя, 2- данные моделирования (без коррекции)

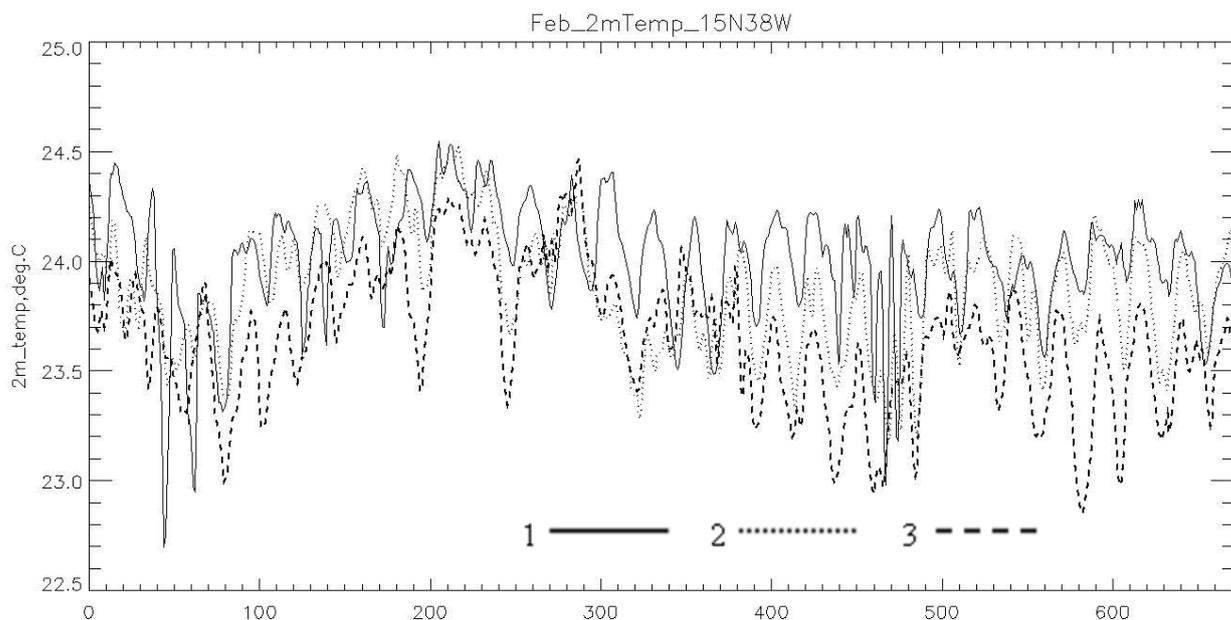


Рисунок 2.16 температура воздуха на 2 м (°C). 1 – данные с буя, 2- данные моделирования (без коррекции), 3 – данные моделирования (с коррекцией)

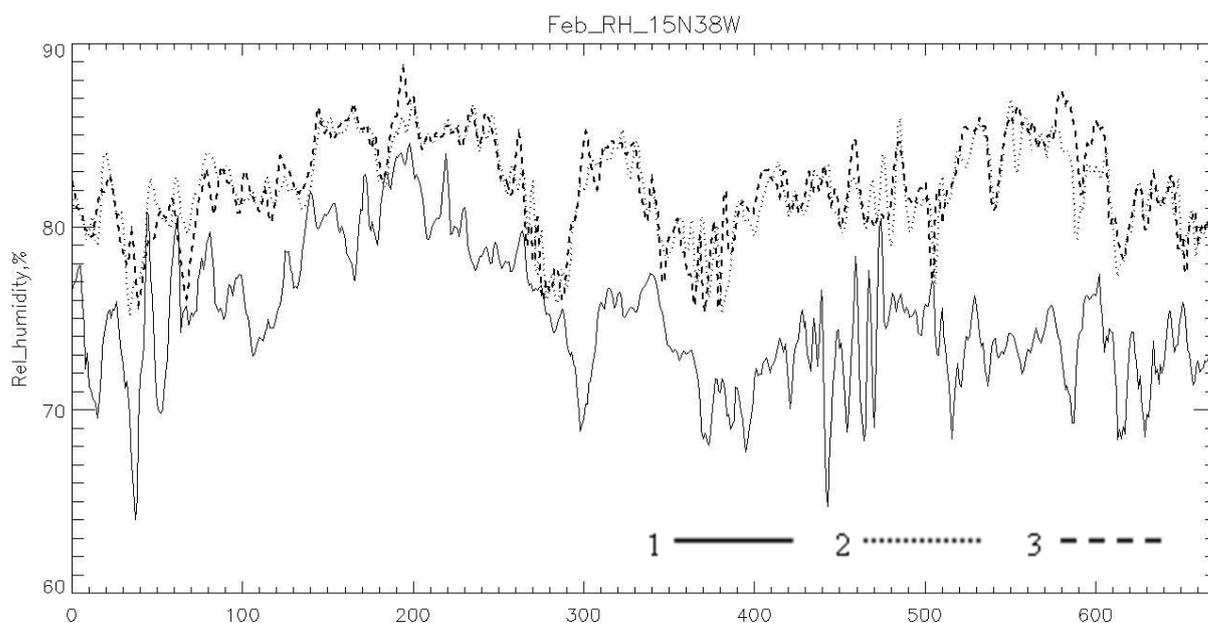


Рисунок 2.17 относительная влажность (%). 1 – данные с буй, 2- данные моделирования (без коррекции), 3 – данные моделирования (с коррекцией)

В этом месяце, как и в предыдущем, ТПО уменьшается. Однако, по причинам, описанным ниже, возникло недельное увеличение. Экспериментальные данные показали похолодание, что в свою очередь, приблизило к данным наблюдений.

Коррекция хуже всего себя показала в этом месяце касательно температуры воздуха. Именно в этом месяце среднеквадратическое отклонение достигло максимального значения. Тем не менее, местами коррекция оказала положительное влияние, даже описав некоторые возмущения.

Повышение температуры может быть связано с увеличением влаги и/или давления у поверхности.

В целом, на влажности коррекция сказалась достаточно хорошо – локально приближаясь к буйковым наблюдениям.

Март

Этот месяц имеет минимальную температуру воздуха, что может отразиться на других гидрометеорологических величинах.

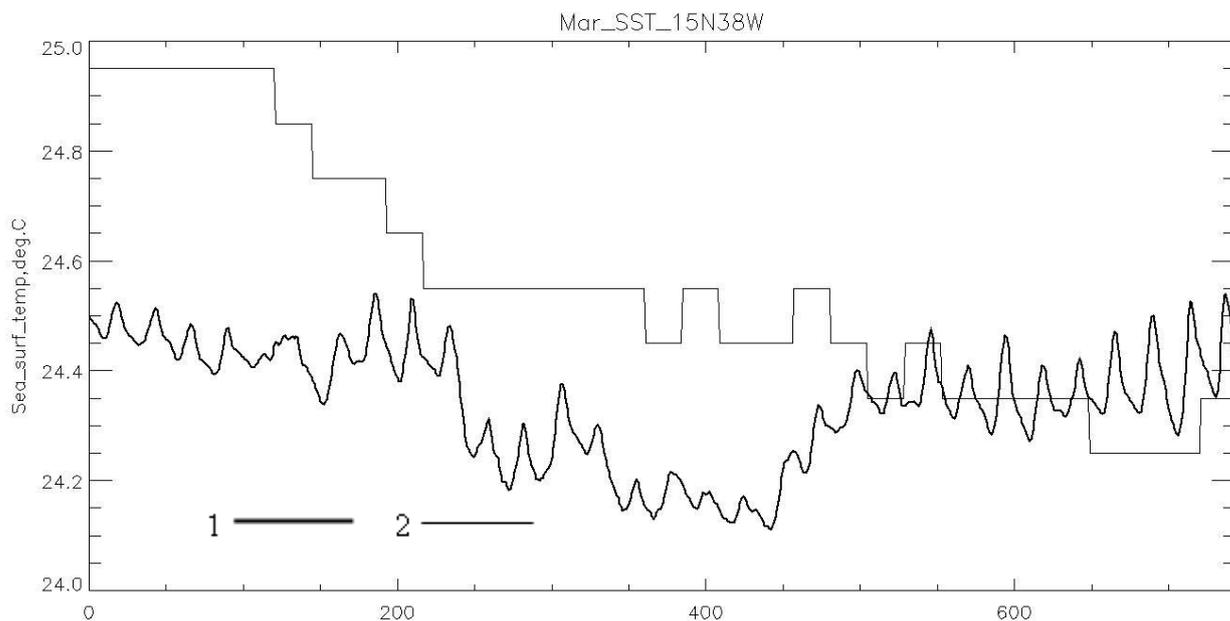


Рисунок 2.18 температура поверхности моря (°C). 1 – данные с буя, 2- данные моделирования (без коррекции)

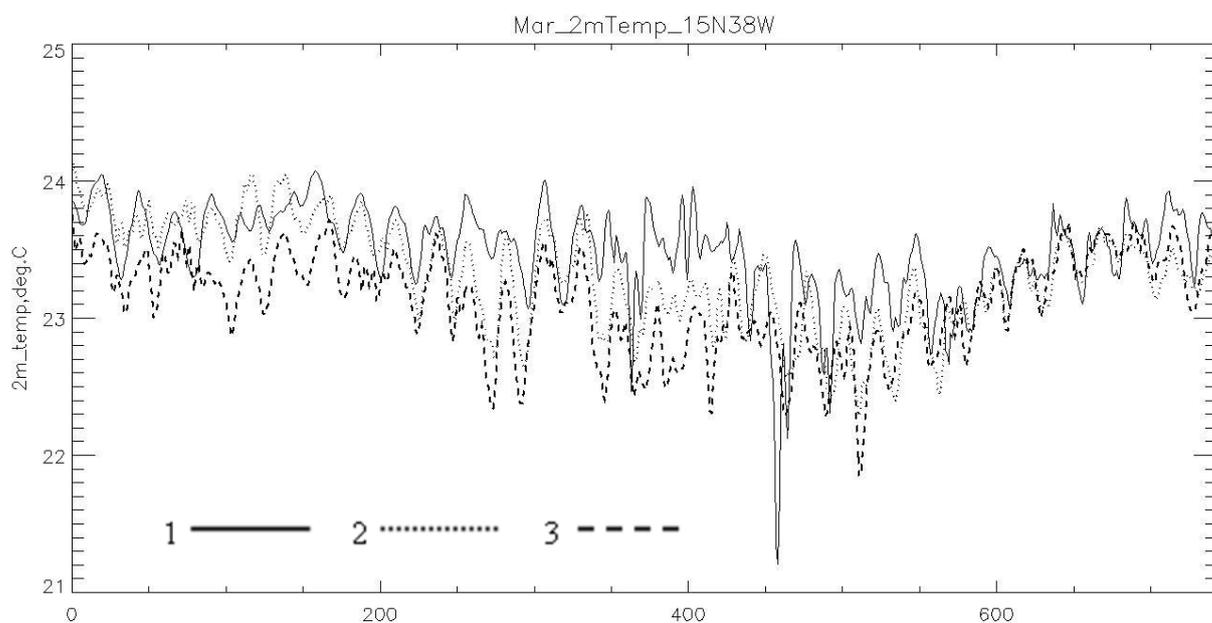


Рисунок 2.19 температура воздуха на 2 м (°C). 1 – данные с буя, 2- данные моделирования (без коррекции), 3 – данные моделирования (с коррекцией)

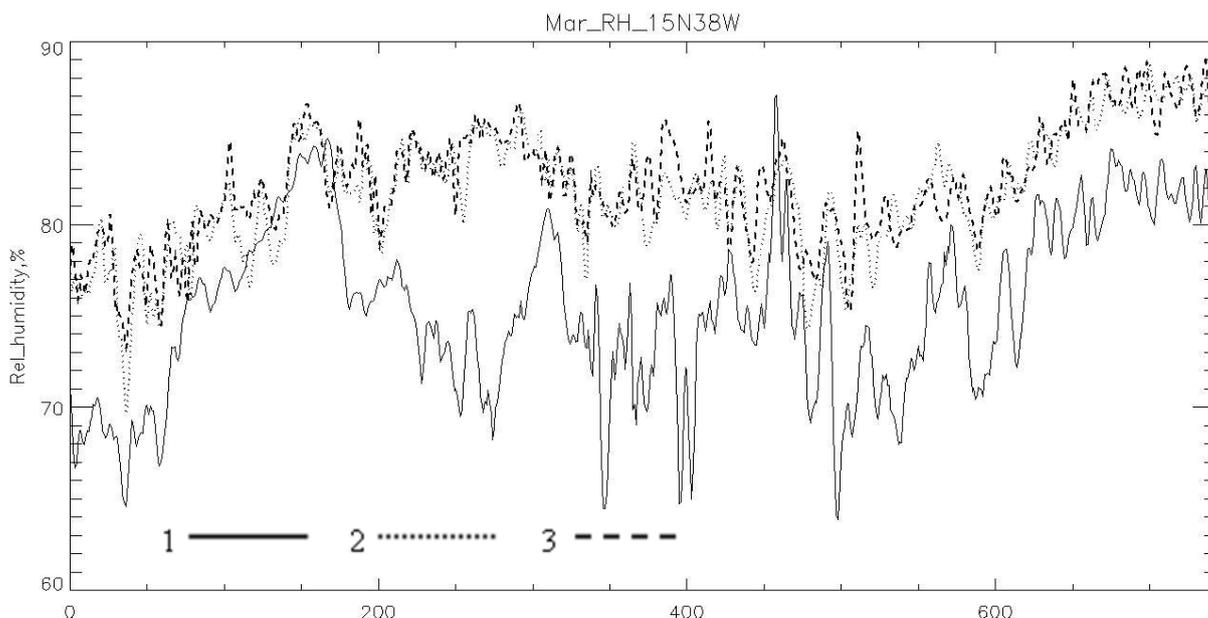


Рисунок 2.20 относительная влажность (%). 1 – данные с бую, 2- данные моделирования (без коррекции), 3 – данные моделирования (с коррекцией)

Март – переходный месяц. А значит, должно наблюдаться изменение тенденции как в сторону роста, так и в сторону падения. К сожалению, экспериментальные данные сохраняют тенденцию на понижения, однако, лучше описывают ТПО, особенно в конце месяца.

Такое же улучшение отмечается и для температуры воздуха. Экстремум понижения после середины не оказал заметного влияния и плохо описался в эксперименте. Значит, данное похолодание возникло по другим причинам.

Воспроизведение относительной влажности в экспериментах немного улучшилось, но колебания модельных значений слабее фактических, что не отражается на уменьшении ошибок в этих интервалах времени. В основном, отмечается завышение значений, это может означать, что определенный вклад вносят осадки и/или облачность, роль которых не рассматривается в исследовании.

Апрель

Наибольшие колебания ГПО фиксируются именно в этом месяце. Что может означать об увеличении вклада динамического фактора.

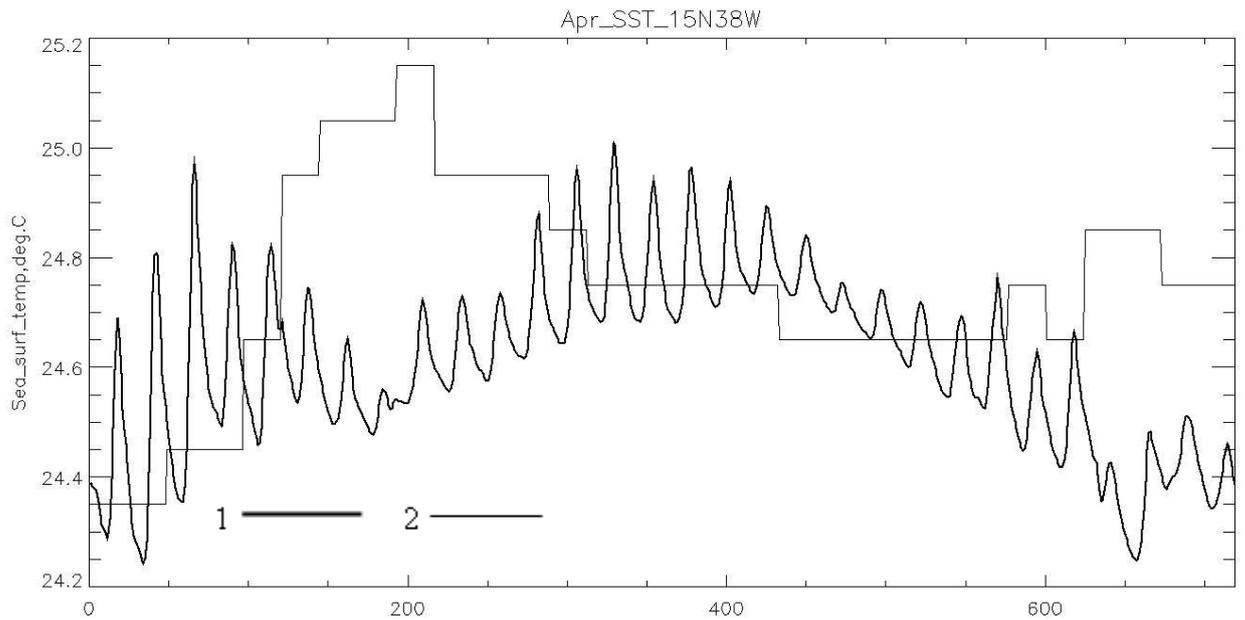


Рисунок 2.21 температура поверхности моря (°C). 1 – данные с буя, 2- данные моделирования (без коррекции)

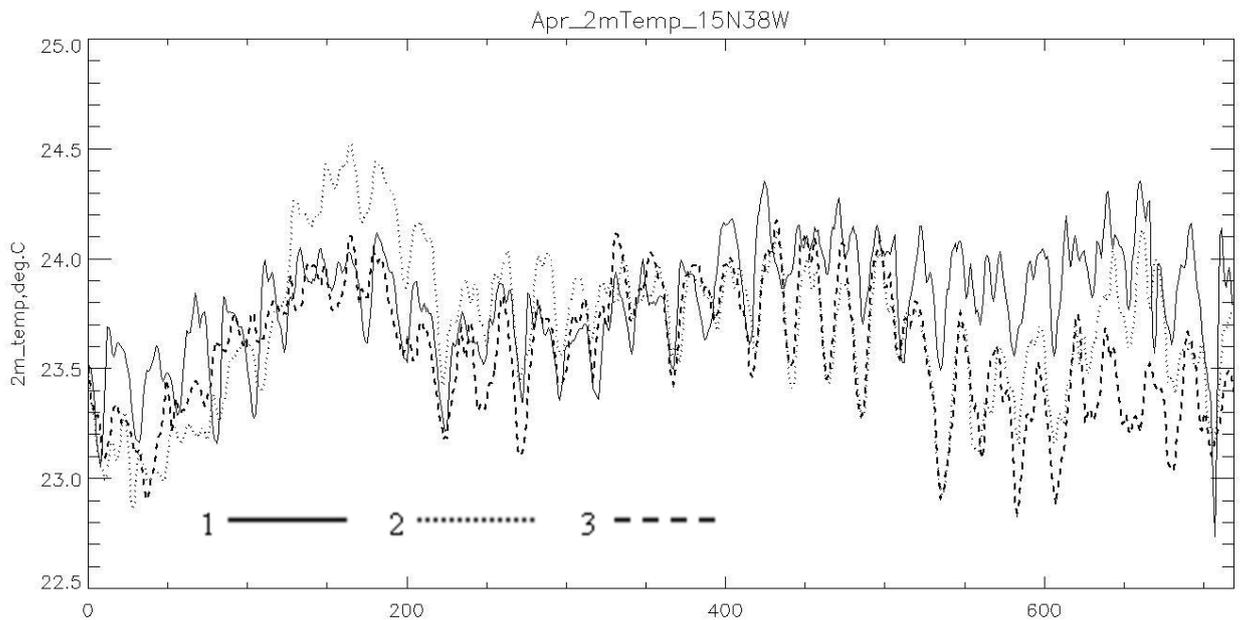


Рисунок 2.22 температура воздуха на 2 м (°C). 1 – данные с буя, 2- данные моделирования (без коррекции), 3 – данные моделирования (с коррекцией)

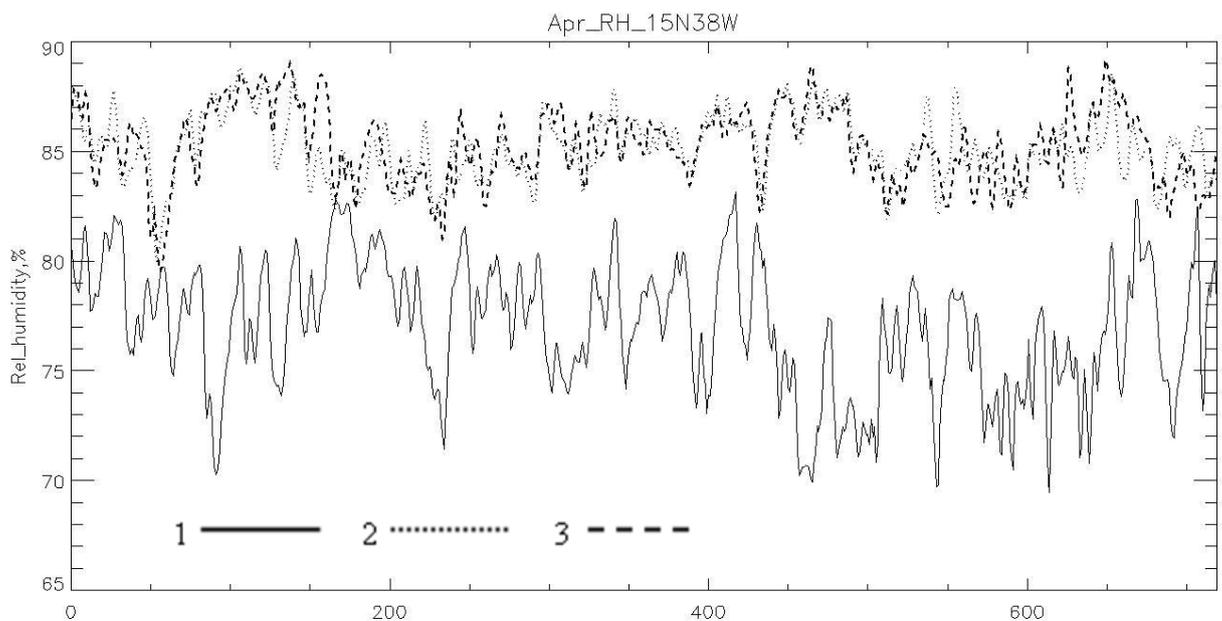


Рисунок 2.23 относительная влажность (%). 1 – данные с буя, 2- данные моделирования (без коррекции), 3 – данные моделирования (с коррекцией)

В начале месяца ТПО сильно изменялась порядка 0.5 градуса. Как уже было сказано выше, такая изменчивость может являться следствием увеличения вклада ветра. В целом, тенденция непостоянна. Данные эксперимента местами хорошо описываются, но отклонение все же присутствует.

В начале месяца, как раз где отмечаются различия, при помощи коррекции приземная температура стала ближе к наблюдаемой. Однако, к концу месяца эксперимент без коррекции имел меньшую ошибку. Локальное похолодание описалось одинаково в обоих экспериментах.

По сравнению с прошлым месяцем, влажность стала описываться хуже. Это может быть обусловлено плохим описанием осадков и ветра.

Май

В этом месяце отмечено понижение давления.

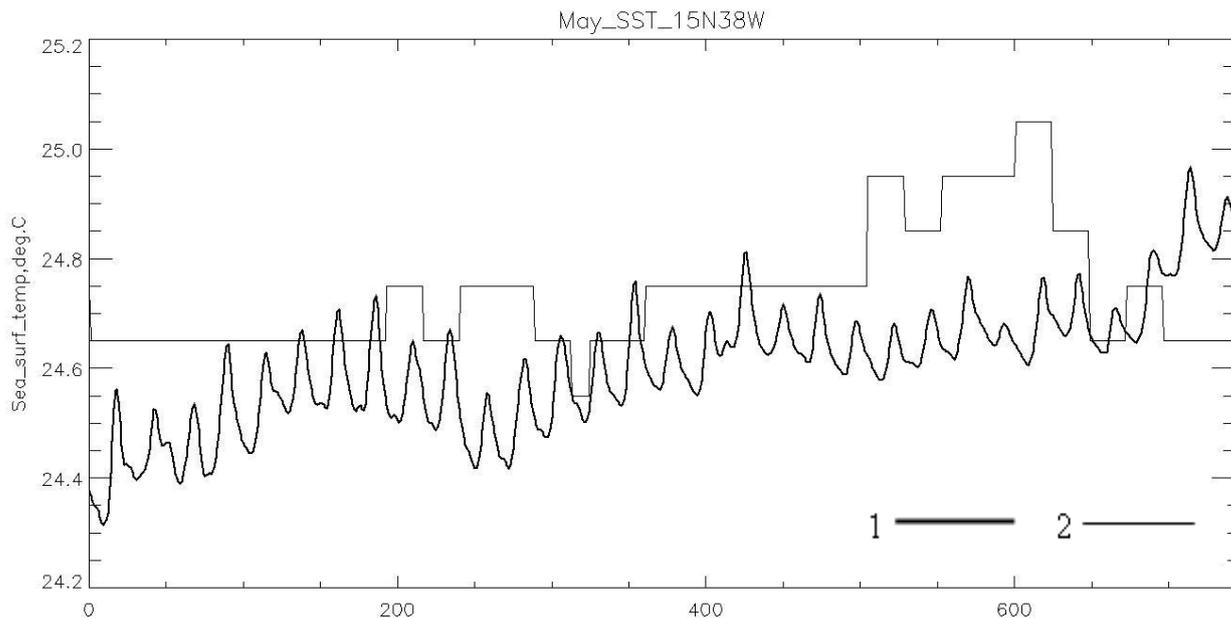


Рисунок 2.24 температура поверхности моря (°C). 1 – данные с буя, 2- данные моделирования (без коррекции)

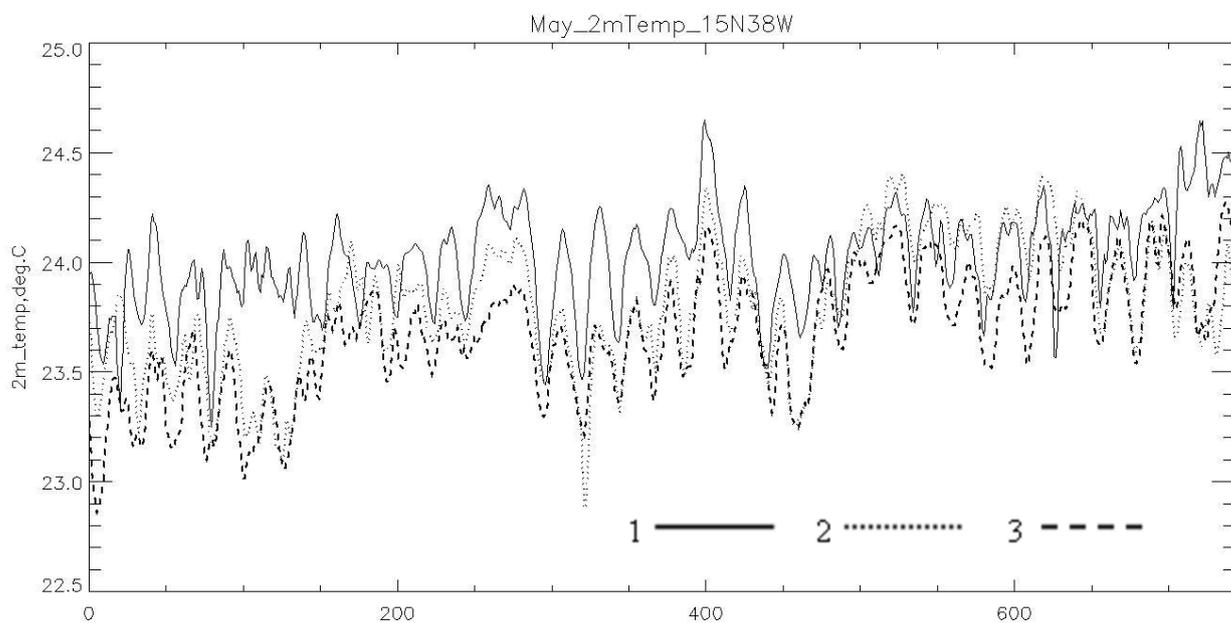


Рисунок 2.25 температура воздуха на 2 м (°C). 1 – данные с буя, 2- данные моделирования (без коррекции), 3 – данные моделирования (с коррекцией)

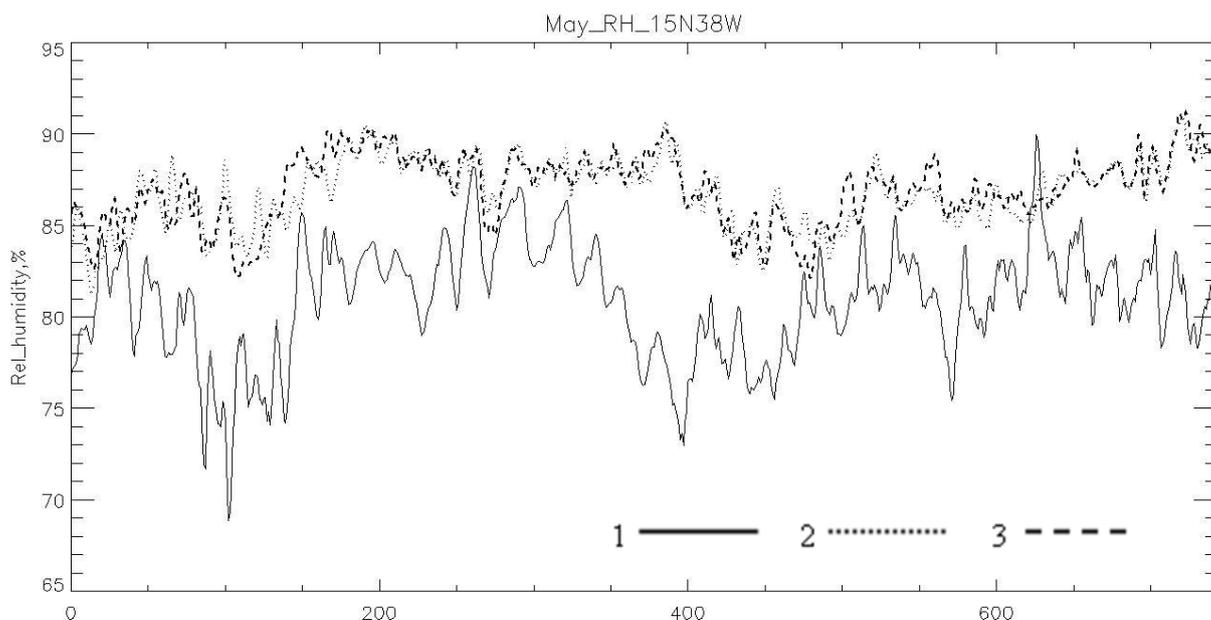


Рисунок 2.26 относительная влажность (%). 1 – данные с буя, 2- данные моделирования (без коррекции), 3 – данные моделирования (с коррекцией)

ТПО в этом месяце также непостоянна по тенденции, однако, к концу месяца все же идет рост. Появились случаи в экспериментах, которые описывают локальные колебания наблюдений.

Экспериментальная приземная температура в этом месяце становится ближе к данным буя, но уменьшает прогрев. Также отмечаются случаи положительного влияния коррекции на этот параметр – в случае кратковременного повышения она его уменьшает, тем самым приближая к наблюдаемым данным.

По сравнению с апрелем, этот месяц лучше описывает влажность. В начале месяца коррекция отличается от исходных значений, уменьшая погрешность, что демонстрирует среднеквадратическая ошибка. Также, на протяжении месяца, коррекция сглаживает ошибочные пики, но не описывает кратковременные экстремумы.

Июнь

Этот месяц характеризуется увеличением суммарной радиации. Помимо этого, в начале срока ТПО сильно изменяется.

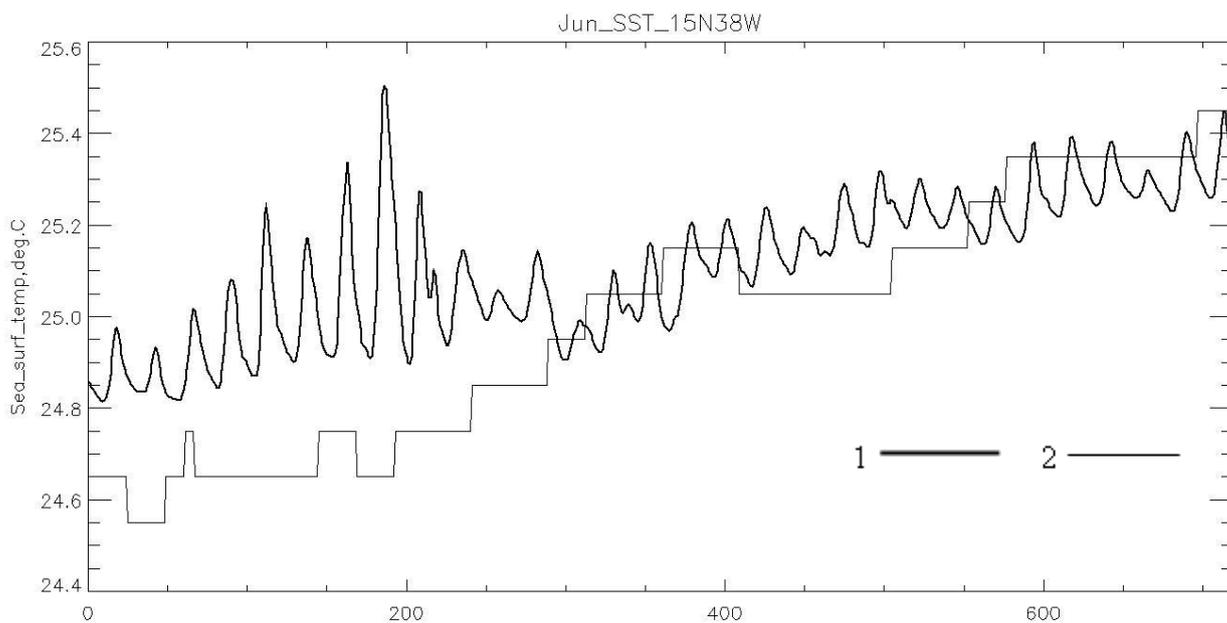


Рисунок 2.27 температура поверхности моря (°C). 1 – данные с буя, 2- данные моделирования (без коррекции)

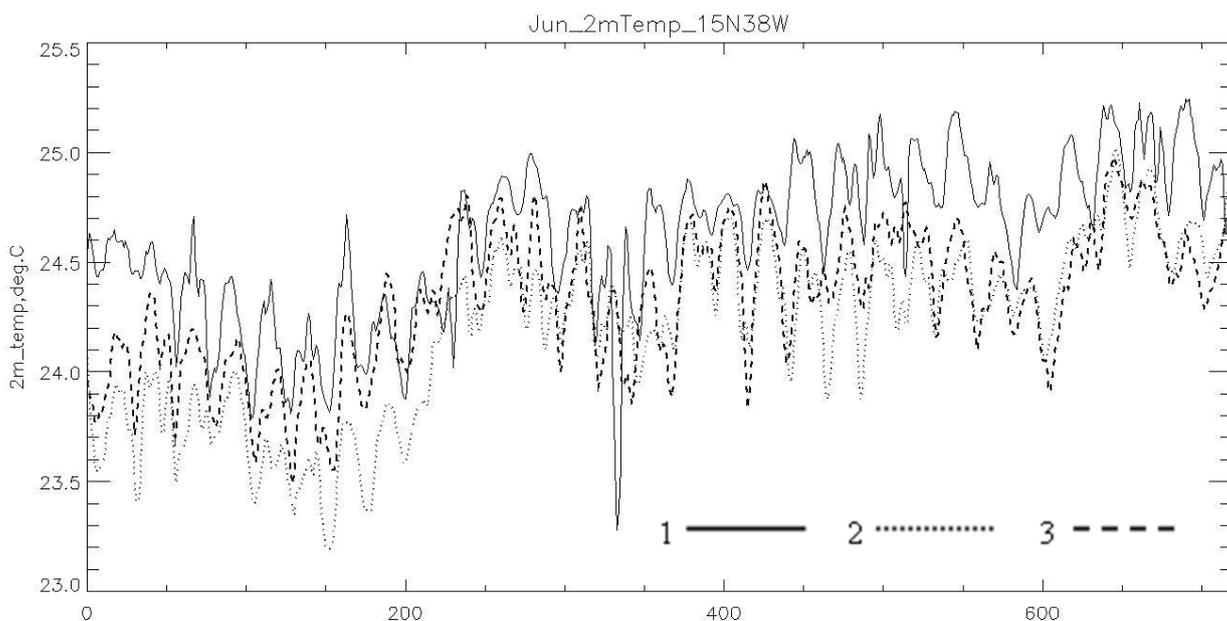


Рисунок 2.28 температура воздуха на 2 м (°C). 1 – данные с буя, 2- данные моделирования (без коррекции), 3 – данные моделирования (с коррекцией)

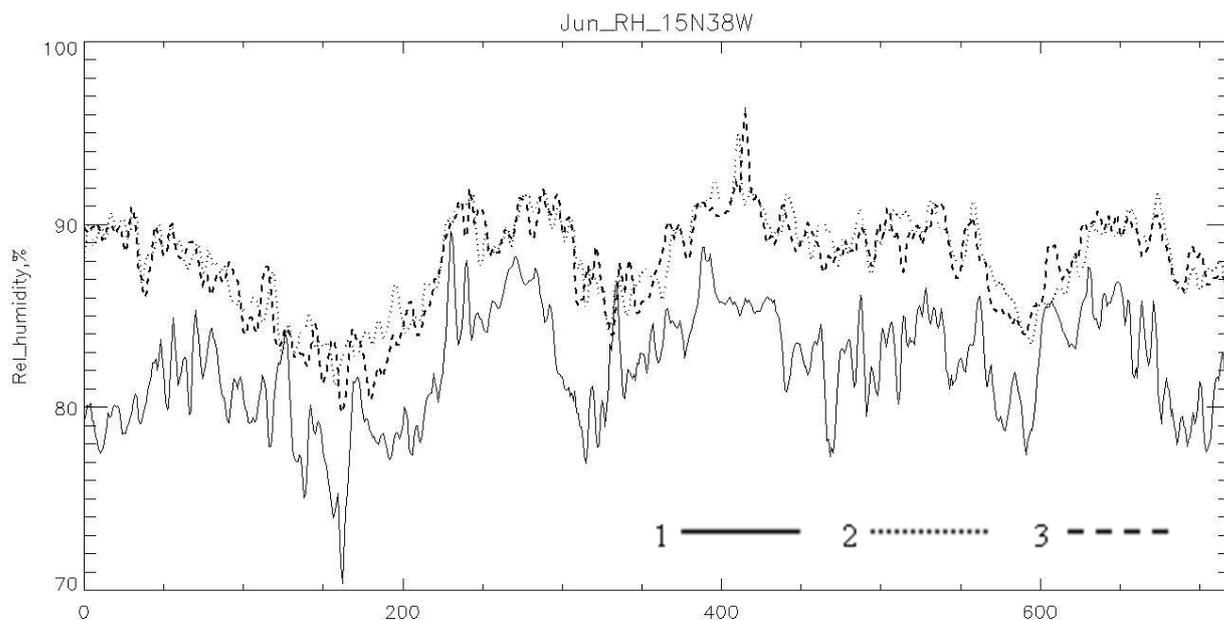


Рисунок 2.29 относительная влажность (%). 1 – данные с бую, 2- данные моделирования (без коррекции), 3 – данные моделирования (с коррекцией)

От начала до середины месяца экспериментальное значение ТПО было меньше фактического. Затем, наблюдается достаточно хорошее описание хода. С увеличением инсоляции ТПО повышается, и эта тенденция отражается в смоделированных данных.

Скорректированные значения температуры воздуха в этом месяце близки к фактическим. И это хорошо просматривается на фоне значений без коррекции – погрешность прилично уменьшилась. Лучше описываются колебания, но экстремумы все еще недостаточно хорошо моделируются.

В этом месяце на относительной влажности коррекция отразилась слабо. Влияние также неоднозначно, но стоит отметить, что с коррекцией увеличилась амплитуда колебаний.

Июль

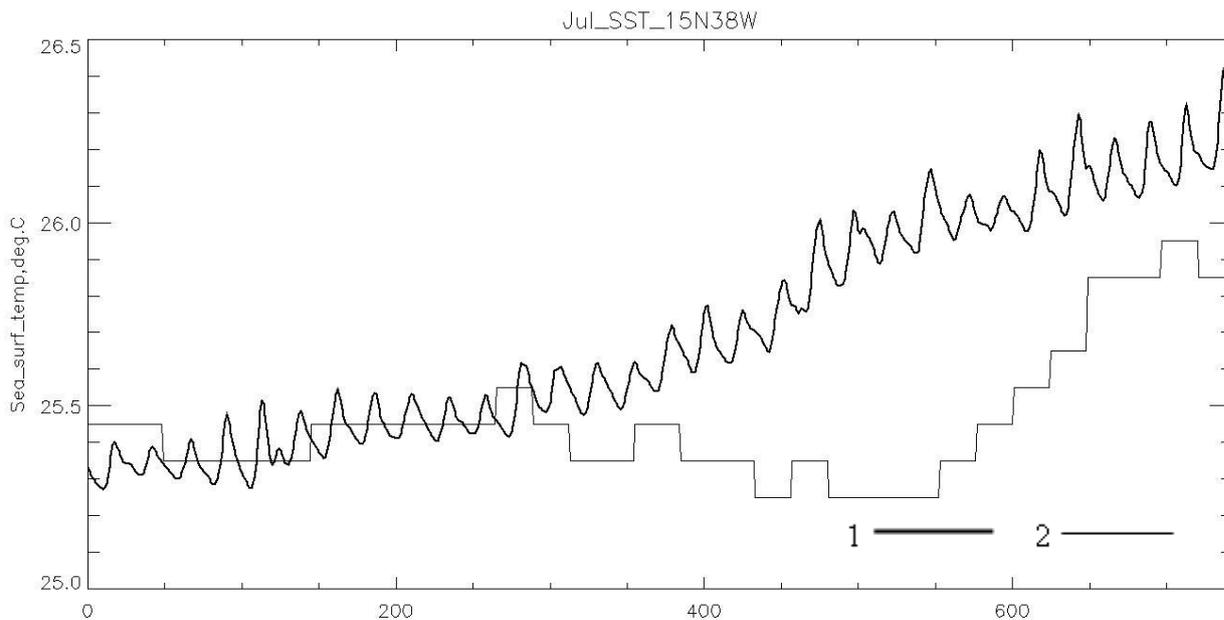


Рисунок 2.30 температура поверхности моря (°C). 1 – данные с буя, 2- данные моделирования (без коррекции)

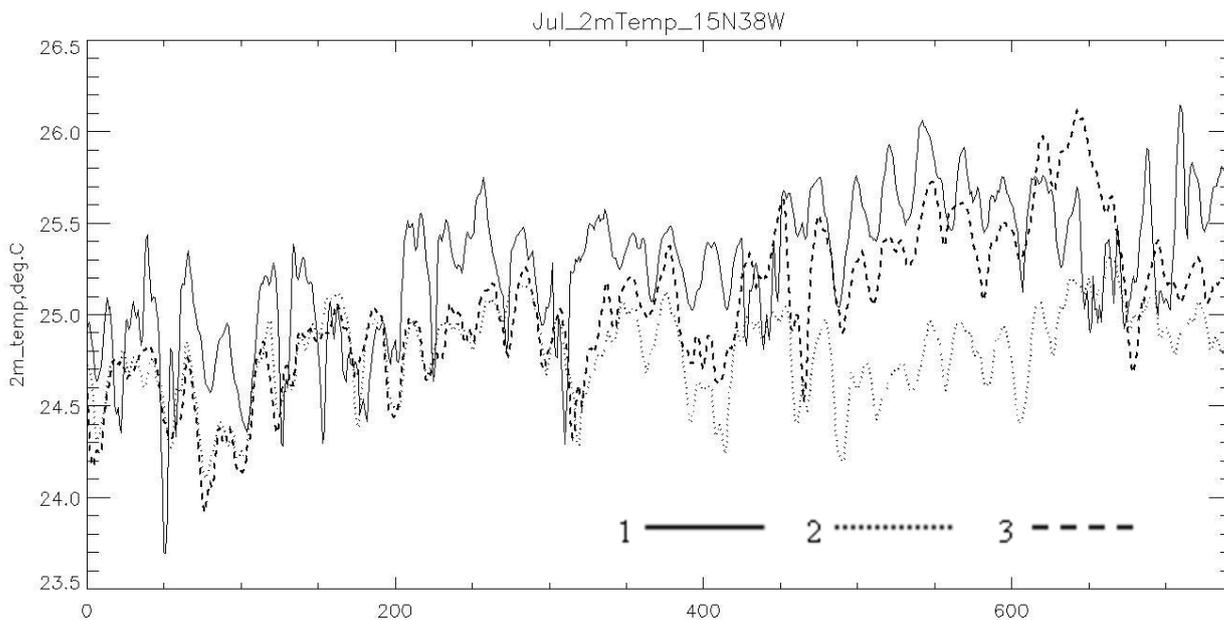


Рисунок 2.31 температура воздуха на 2 м (°C). 1 – данные с буя, 2- данные моделирования (без коррекции), 3 – данные моделирования (с коррекцией)

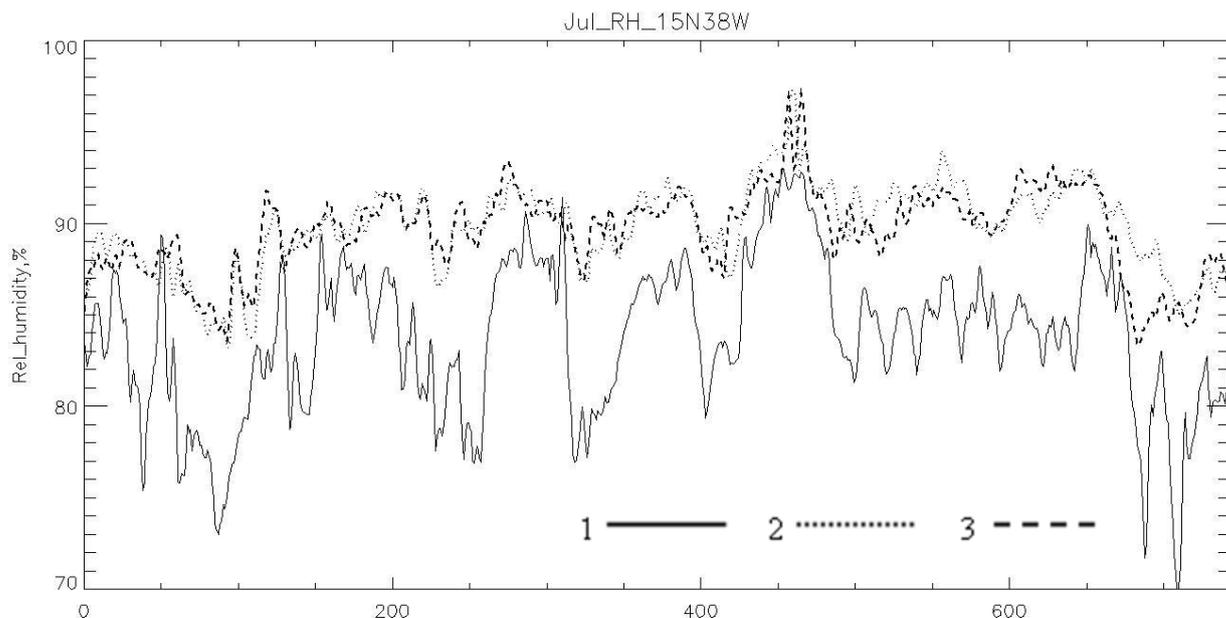


Рисунок 2.32 относительная влажность (%). 1 – данные с бую, 2- данные моделирования (без коррекции), 3 – данные моделирования (с коррекцией)

С начала до середины месяца экспериментальные значения ТПО хорошо согласуются с данными наблюдений, однако, начиная с середины, модель не учитывает интенсивный нагрев поверхности, то есть занижает данные примерно на градус.

Это сказывается на температуре на 2 м: данные без коррекции занижают на полтора градуса. В то время как коррекция уменьшает эту погрешность. В целом, коррекция оказывает положительное влияние на этот параметр атмосферы.

И в отношении влажности демонстрируется положительное действие. Стоит отметить, что в этом месяце средняя влажность увеличивается.

Август

Небольшое отклонение давления сопоставляется с большими отклонениями температуры воздуха.

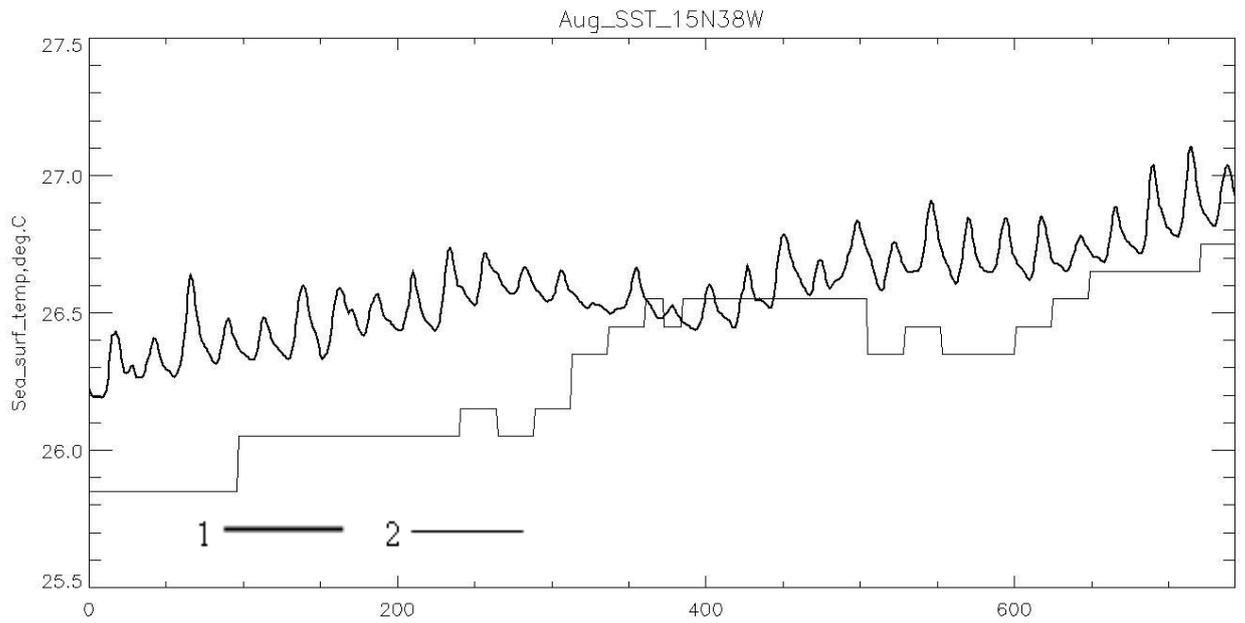


Рисунок 2.33 температура поверхности моря (°C). 1 – данные с буя, 2- данные моделирования (без коррекции)

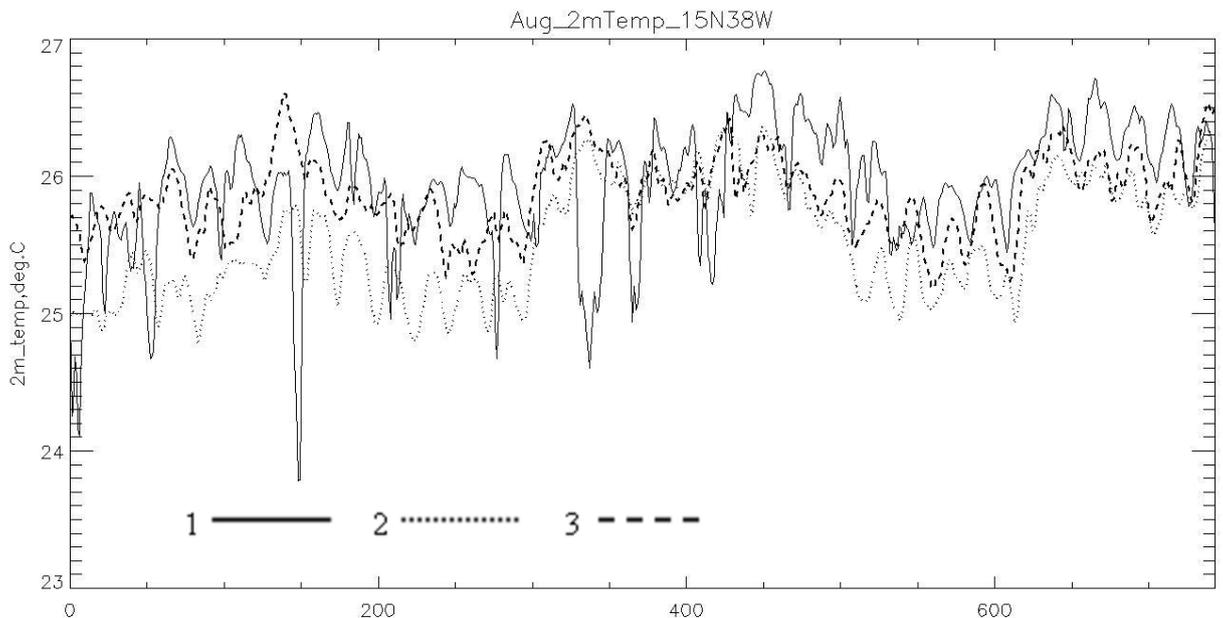


Рисунок 2.34 температура воздуха на 2 м (°C). 1 – данные с буя, 2- данные моделирования (без коррекции), 3 – данные моделирования (с коррекцией)

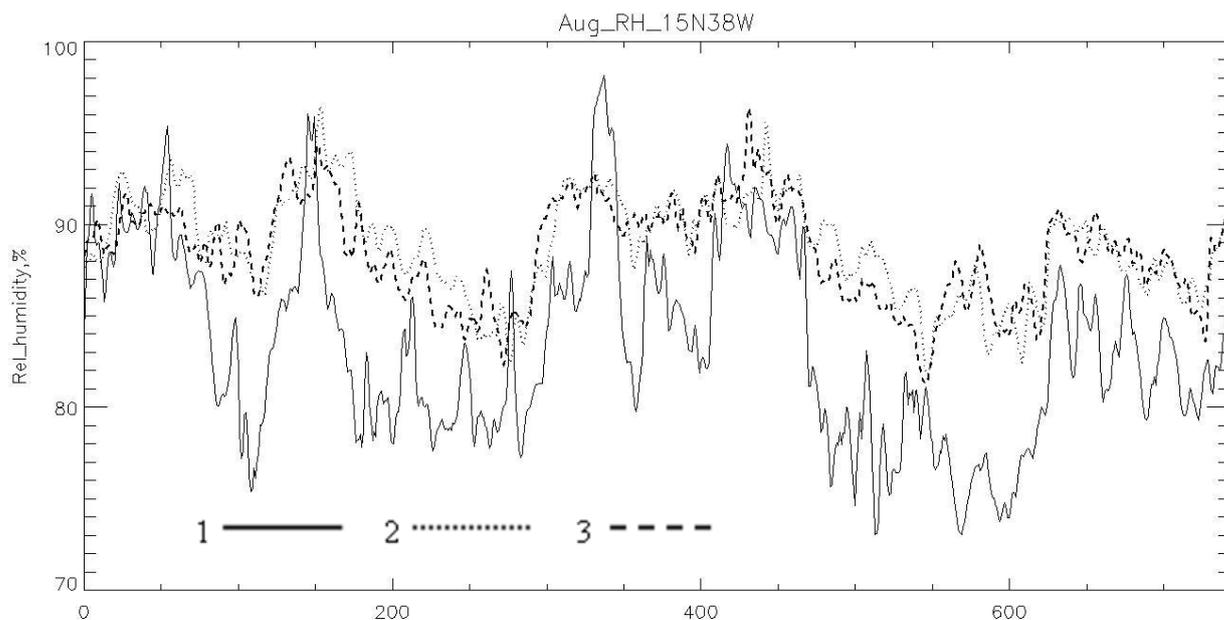


Рисунок 2.35 относительная влажность (%). 1 – данные с буя, 2- данные моделирования (без коррекции), 3 – данные моделирования (с коррекцией)

В целом, значение ТПО, полученное при моделировании, ниже данных с буя. В этом месяце амплитуда наблюдений очень небольшая – около 0.5° , в то время как амплитуда экспериментальных данных порядка градуса. Вероятно, модель стремится повторить нагрев, описанный в прошлом месяце. На короткий промежуток она совпадает с данными наблюдений, но затем снова начинает занижать значения.

Ситуация, аналогичная прошлому месяцу, наблюдается и для температуры воздуха. Коррекция очень близка к фактическим данным. Но описание экстремумов также имеет достаточную погрешность.

В этом месяце смоделированная относительная влажность как выше, так и ниже измеренного значения. Эксперимент без коррекции показал себя лучше в воспроизведении экстремумов.

Сентябрь

В этом месяце максимум зафиксирован для обеих температур. Максимальное среднеквадратическое отклонение для давления соотносится с минимальным отклонением для температуры.

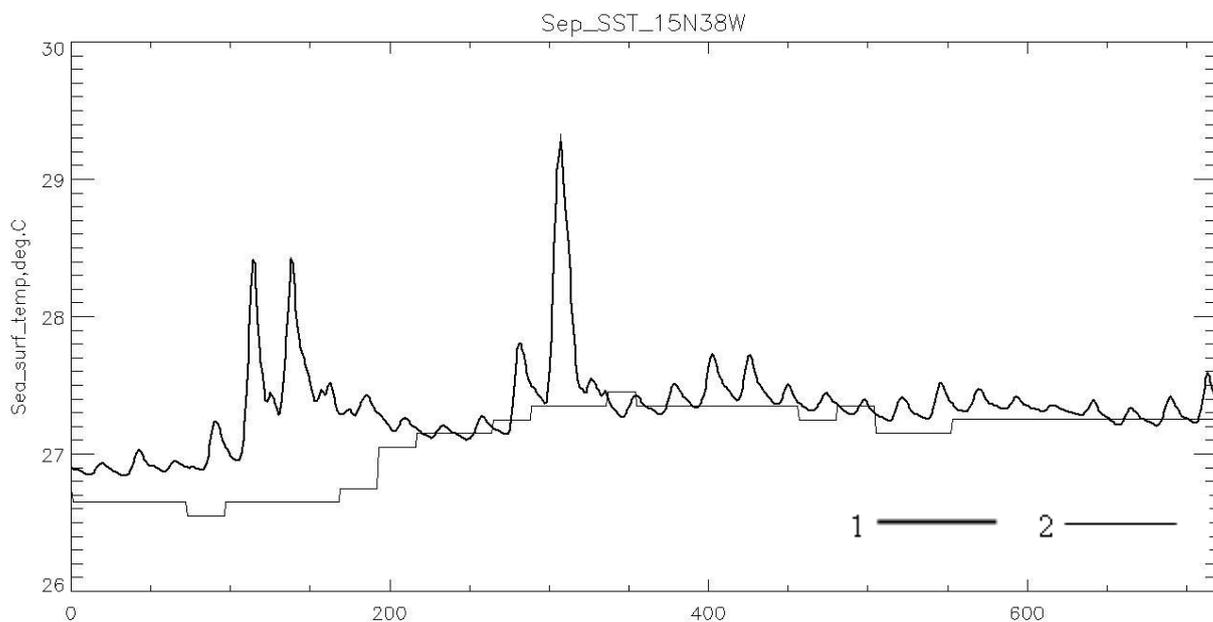


Рисунок 2.36 температура поверхности моря (°C). 1 – данные с буя, 2- данные моделирования (без коррекции)

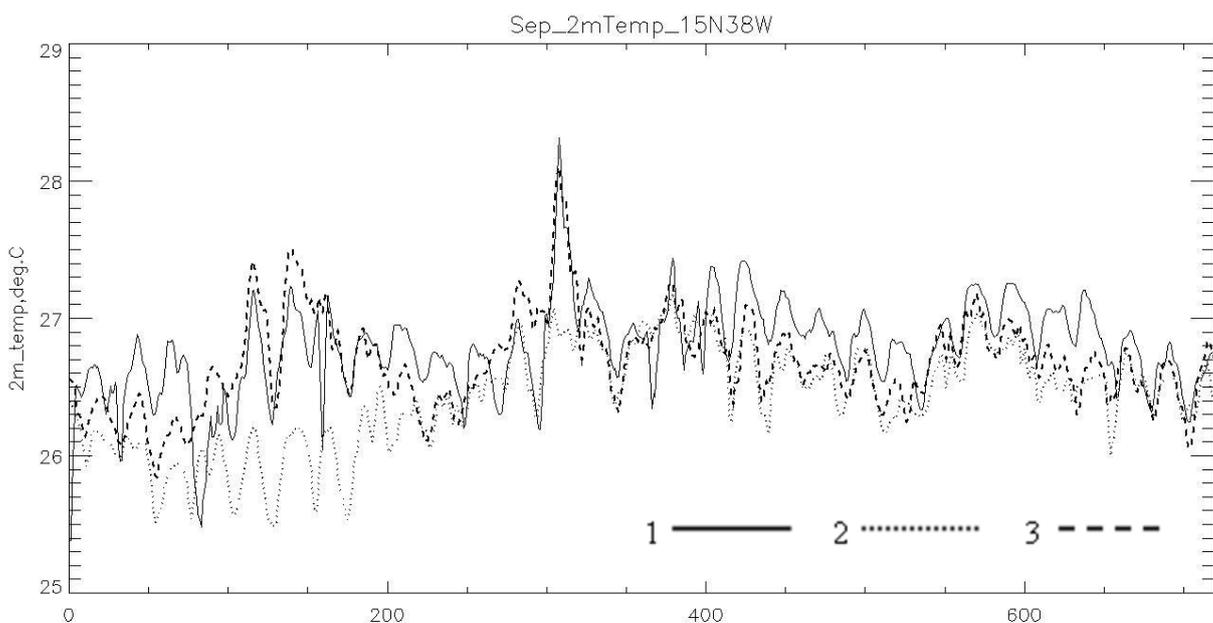


Рисунок 2.37 температура воздуха на 2 м (°C). 1 – данные с буя, 2- данные моделирования (без коррекции), 3 – данные моделирования (с коррекцией)

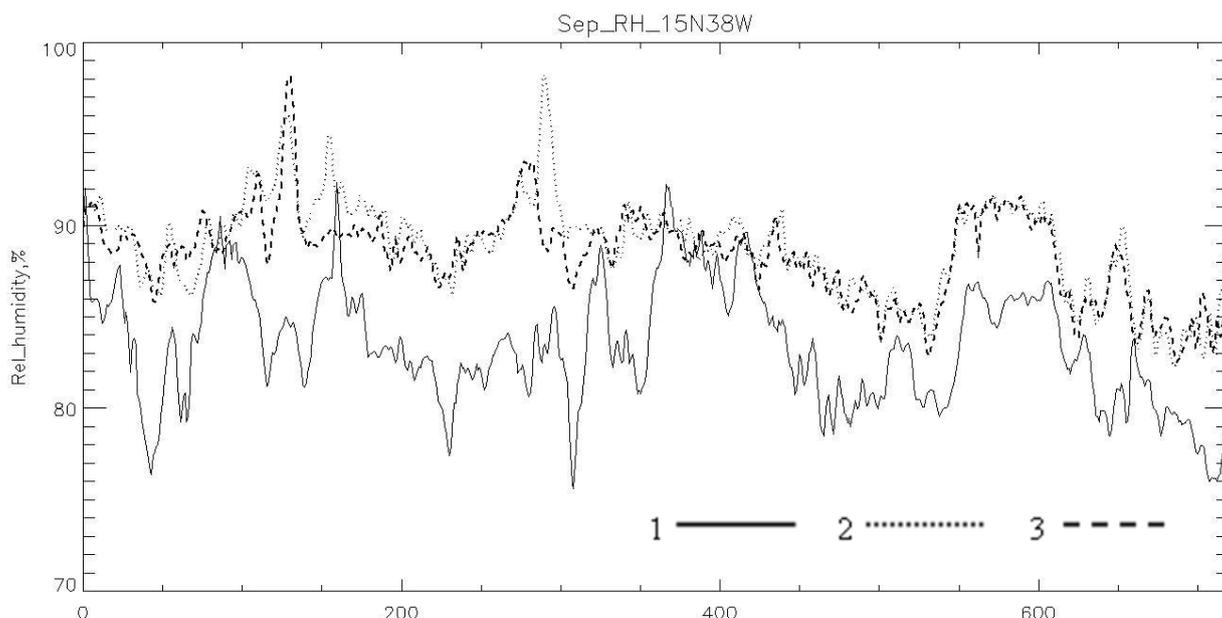


Рисунок 2.38 относительная влажность (%). 1 – данные с буя, 2- данные моделирования (без коррекции), 3 – данные моделирования (с коррекцией)

Максимальные значения ТПО, характеризующиеся кратковременными повышением, но достаточно сильным – около 2° , которое в эксперименте без коррекции не воспроизвелось. Однако, относительное постоянство ТПО, за исключением всплесков, описалось довольно хорошо - максимальная погрешность меньше 0.4° .

Коррекция в этом месяце показала себя наилучшим образом - минимальное отклонение от буйковых данных, хорошее воспроизведение экстремумов, то есть, в этом случае, коррекция наиболее оптимальна для приземной температуры, которая уже уменьшается к концу срока вместе с амплитудой.

В этом месяце также минимальная среднеквадратическая ошибка для относительной влажности. Однако, экспериментальные данные вновь ниже наблюдаемых. Тем не менее, существуют локальные уменьшения погрешности до минимума.

Рассмотрим этот месяц более подробно.

Наибольший интерес представляют кратковременные повышения температуры. Было выдвинуто 2 гипотезы:

- 1) заток более теплых вод;
- 2) изменение толщины квазиоднородного слоя.

Заток возможен при наличии достаточной скорости ветра, поэтому первую гипотезу можно отвергнуть.

Толщина квазиоднородного слоя зависит от скорости ветра. Когда ветер стихает, уменьшается толщина. При постоянном потоке тепла происходит нагревание этого слоя. Возможными признаками подтверждения этой гипотезы является высокий поток тепла, штиль, наличие высоких температур перед повышениями.

Итак, максимальное повышение ТПО наблюдается 13 сентября в 19.00.

В ближайшие сроки наблюдается минимальная скорость ветра (по показаниям меньше 1 м/с), инсоляция порядка 400 Вт/м², температуры были порядка 28°C. Таким образом, можно подтвердить вторую гипотезу.

Октябрь

Оптимальное воспроизведение как ТПО, так и влажности.

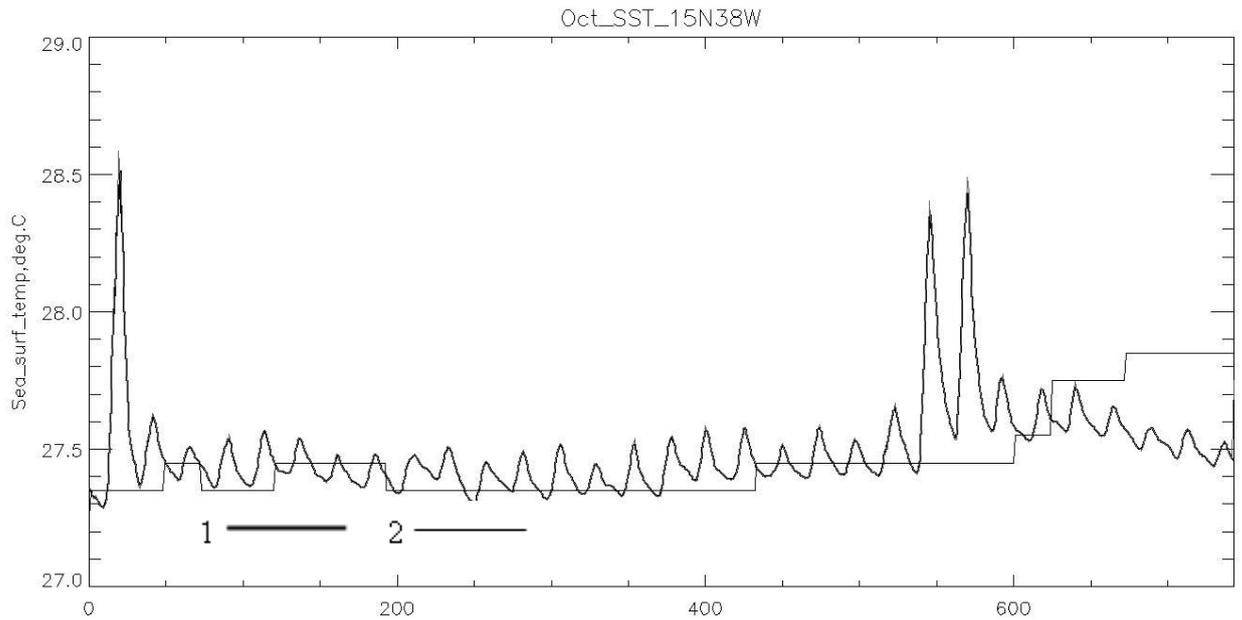


Рисунок 2.39 температура поверхности моря (°C). 1 – данные с буя, 2- данные моделирования (без коррекции)

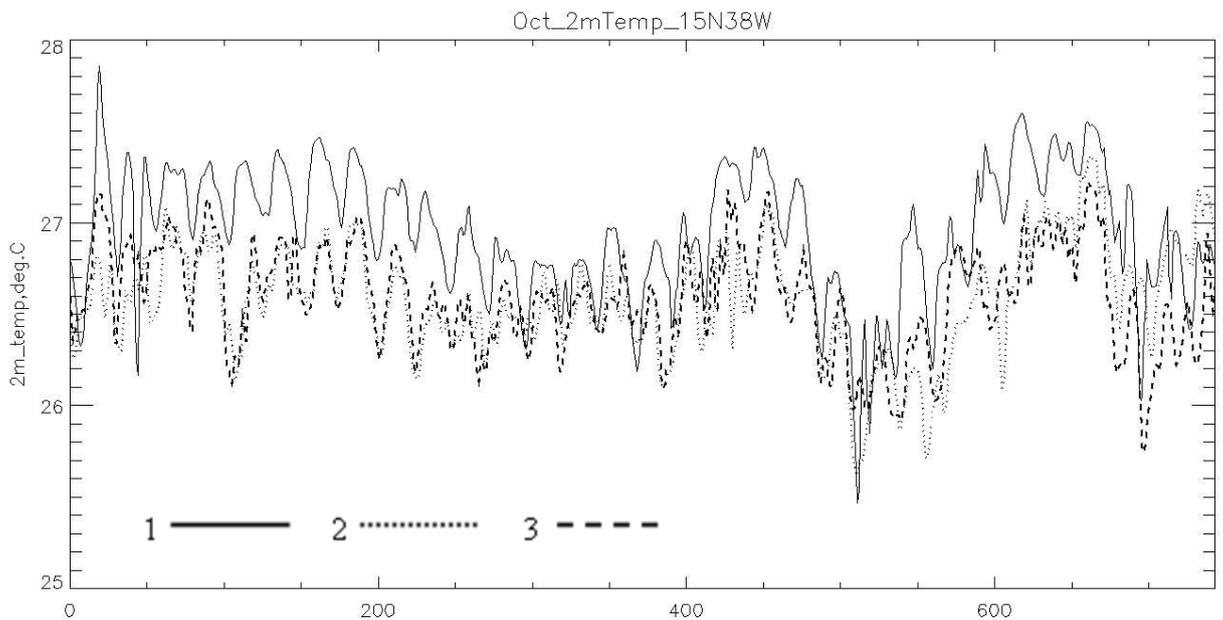


Рисунок 2.40 температура воздуха на 2 м (°C). 1 – данные с буя, 2- данные моделирования (без коррекции), 3 – данные моделирования (с коррекцией)

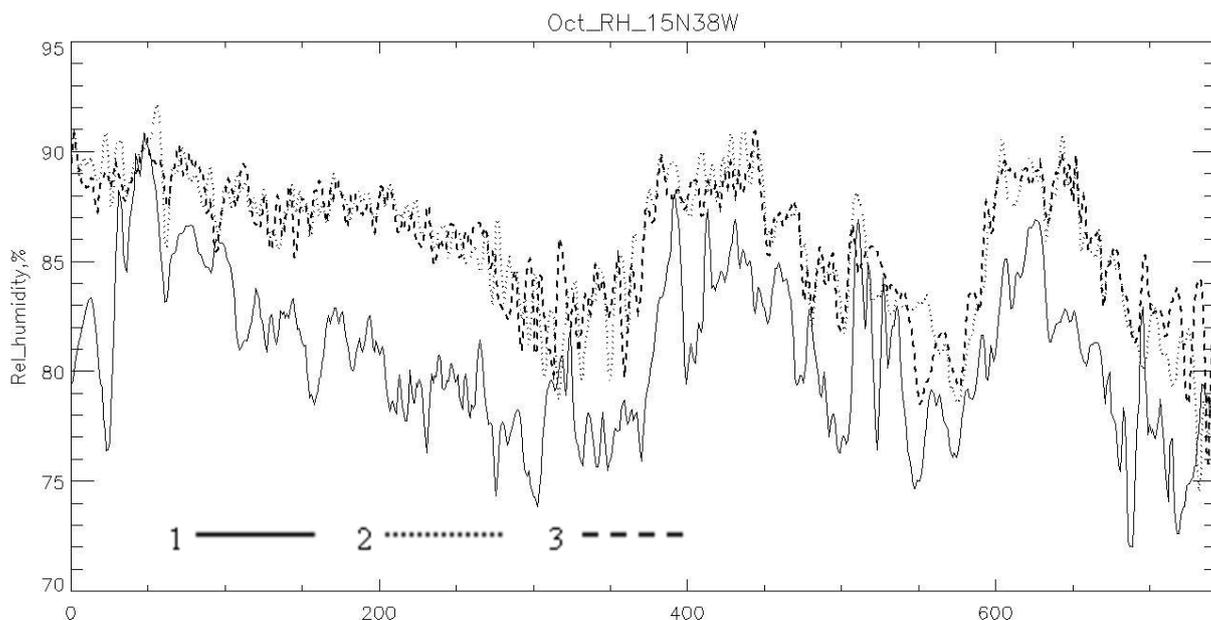


Рисунок 2.41 относительная влажность (%). 1 – данные с бую, 2- данные моделирования (без коррекции), 3 – данные моделирования (с коррекцией)

Помимо экстремумов, которые вновь не воспроизвели эксперименты, общее распределение данных моделирования хорошо согласуется с распределением данных измерений. Кратковременное увеличение ТПО в начале месяца составляет порядка градуса.

Неплохие результаты и для температуры воздуха на 2 м, но местами коррекция вновь занижает значения.

Хорошо в экспериментах воспроизведены значения влажности. Однако, коррекция местами носит отрицательный характер.

Согласно распределению ветра, в начале месяца наблюдается уменьшение скорости до 3 м/с, что не отобразилось в экспериментах. Вероятно, это сказалось на результатах моделирования.

Ноябрь

Уменьшение суммарной радиации, влекущее за собой уменьшение температур.

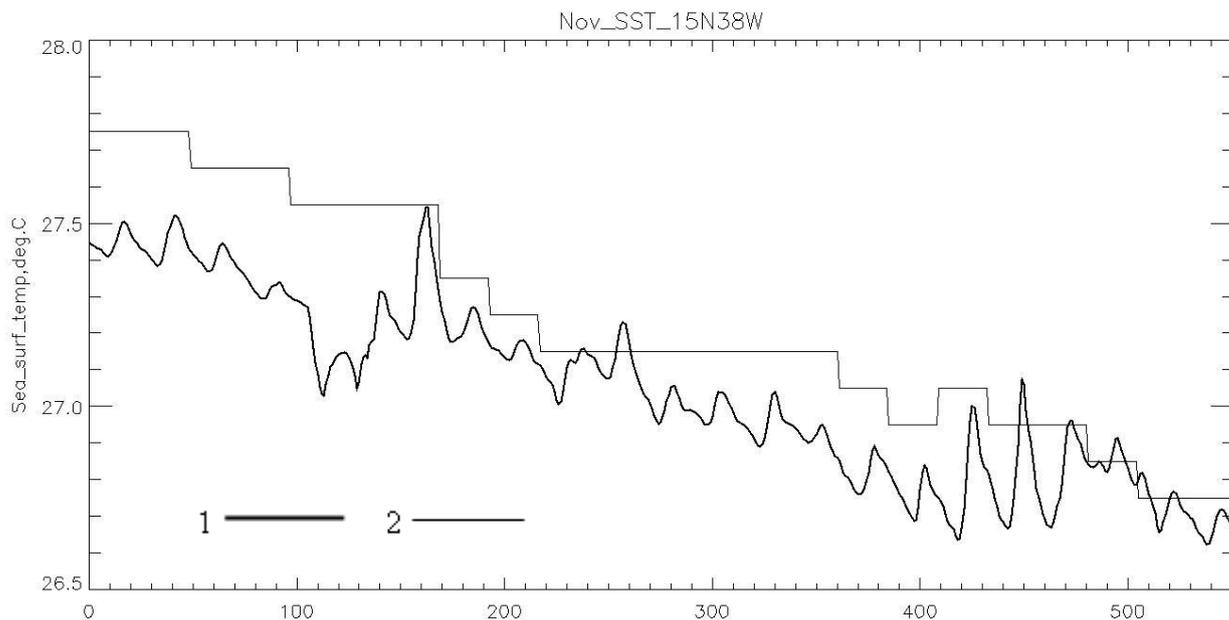


Рисунок 2.42 температура поверхности моря (°C). 1 – данные с буя, 2- данные моделирования (без коррекции)

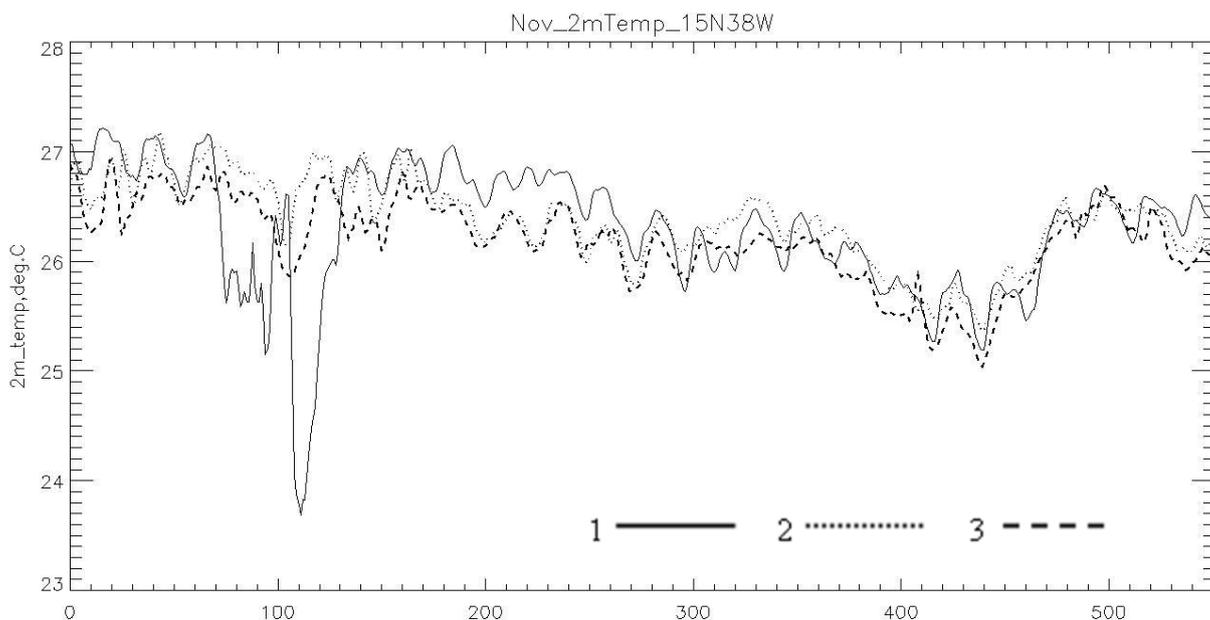


Рисунок 2.43 температура воздуха на 2 м (°C). 1 – данные с буя, 2- данные моделирования (без коррекции), 3 – данные моделирования (с коррекцией)

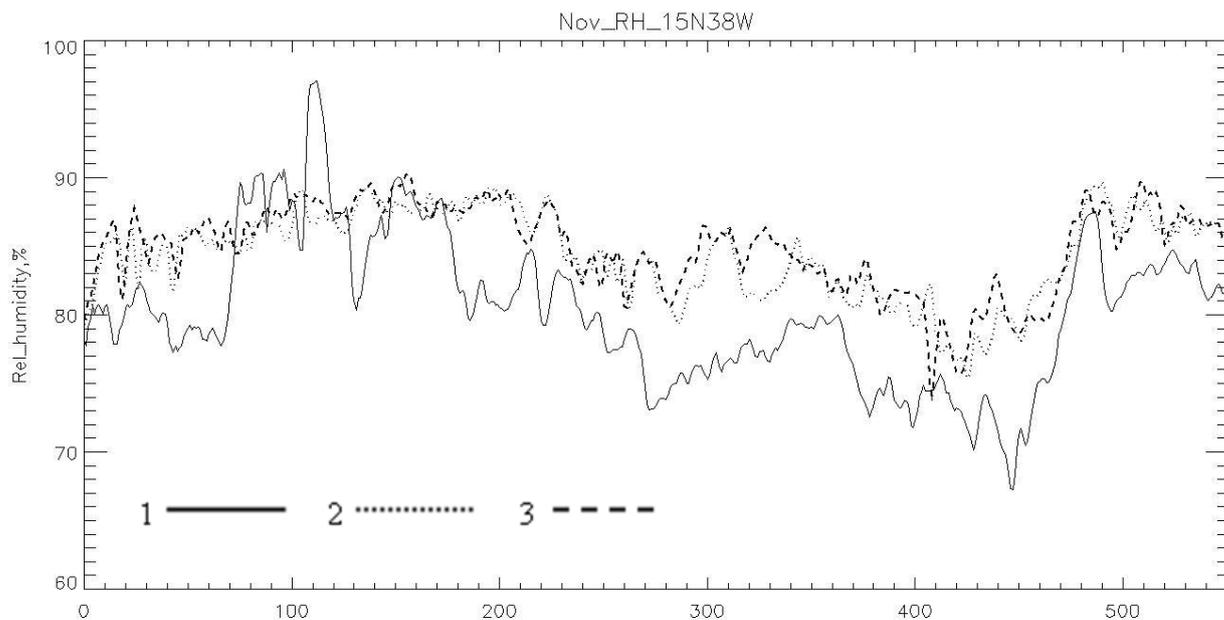


Рисунок 2.44 относительная влажность (%). 1 – данные с буйа, 2- данные моделирования (без коррекции), 3 – данные моделирования (с коррекцией)

Понижение измеренной ТПО более интенсивно. Замечены кратковременные увеличения температуры морской поверхности. Максимальное отклонение экспериментальных данных составляет 0.6° и наблюдается в начале месяца.

На температуру воздуха коррекция оказала неоднозначное влияние – лучше воспроизводит понижения, но основной минимум так и не был описан в обоих экспериментах.

Отмечаются резкие колебания максимума и минимума влажности в начале и конце месяца. Скорректированные данные отличаются от данных без коррекции. Ее воздействие неоднозначно в отношении буйковых значений. В целом, можно отметить неплохое описание относительной влажности.

В данном исследовании было изучено влияние коррекции на поле ТПО, область размерами 1780x1860 км или 39x38 точек. Географическая привязка: 30 з.д. - 49 з.д. и 7 с.ш. - 23 с.ш.

Производилось осреднение данных по месяцам, отдельно было рассмотрено поведение минимальных и максимальных значений с построением годового хода (Приложение А).

Анализ влияния коррекции на поле ТПО по месяцам:

1. в *январе* произошло смещение более низких температур с северо-востока, разница между значениями перед коррекцией и после составила порядка градуса;
2. в *феврале* появился заток холода вблизи точки с координатами буя, температура по области снизилась примерно на 0.8° , сгладились некоторые колебания поля;
3. изменения в *марте* аналогичны двум предыдущим месяцам, кроме смещенного гребня тепла на в юго-западной области;
4. *апрель*, как месяц переходного сезона, отмечается появлением флуктуаций в обоих случаях, смещение температур происходит в том же направлении, но разница уменьшается;
5. тенденция в *мае* та же, что и в апреле, однако, колебания менее выражены;
6. после коррекции *июнь* характеризуется западным смещением, а также увеличением температур по региону с появлением двух возмущений (неложных, так как они наблюдаются в июле в эксперименте без коррекции) и сглаживанием небольшой ложбины на юго-западе;
7. сохраняется направление смещения в *июле* и увеличение значений поля температур; из особенностей поля после коррекции – уменьшилась ложбина холода в западной части, сгладились два возмущения, описанных ранее; сузилась ложбина холода в северо-восточной области и в южной части увеличивается постепенно градиент ТПО.

8. *август* отмечается смещением области высоких температур с юго-запада и одновременно понижением температур в северо-восточной и центральной части. Такая ситуация говорит о том, что происходит смена направления доминирующего потока, которая влияет на значения в точке, с координатами буя. Также можно отметить увеличение языка тепла на окраине юго-запада.
9. наибольшая изменчивость поля с коррекцией наблюдается в *сентябре* с сохранением тенденции августа с особенностью того, что в юго-восточной части появляются более низкие температуры;
10. коррекция влияет в *октябре* на области высоких температур, смещаясь с запада, незначительно изменяют поле, за исключением области на окраине северо-запада и юго-запада;
11. аналогичное августу смещение наблюдается в *ноябре*. Особенностью этого месяца является общее понижение температур, приведшая к тому, что в коррекции исчез гребень тепла в крайней области северо-запада.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В первой главе было произведено сопоставление данных реанализа с фактическими. Анализ результатов позволил выявить интересные закономерности. Наиболее близкие к буйковым значения реанализа отмечаются в летние месяцы, хуже – в зимние. Один реанализ лучше описывает ход, но незначительно.

Для исключения ошибок в реанализе был применен метод коррекции, описанный во второй главе. Была проведена серия экспериментов, временной интервал которых начинался 1 января 2007 года и заканчивался 23 ноября этого же года.

Эти эксперименты позволили выявить особенности годового и месячного распределения гидрометеорологических величин. Из анализа можно выделить следующее: все рассматриваемые величины имеют годовой ход, который наиболее заметен для приземной температуры, которая взаимосвязана с другими величинами, роль которых меняется на всем временном промежутке.

Экспериментальная ТПО завышала значения в холодный период и занижала в теплый. Такую особенность можно объяснить направлением доминирующего потока – зимой оно было северо-восточным, а летом – юго-западным.

Также была рассчитана среднеквадратическая ошибка некоторых параметров с коррекцией и без. Результаты следующие: в зимние месяцы ошибка температуры воздуха, как и влажности, в эксперименте с коррекцией показала более высокие значения, чем в эксперименте без коррекции. Обратная ситуация наблюдается в летний сезон. Частично это объясняется тем, что в холодные месяцы большие колебания лучше описывались данными эксперимента без коррекции, а колебания в летние – экспериментальными данными с коррекцией. Причину этого выявить не удалось.

Можно сделать следующий вывод: предложенный в работе метод может быть применен для областей открытого океана, в которых не наблюдается больших горизонтальных градиентов ТПО.

Однако, он требует уточнения и большего объема фактического материала. Безусловно, его использование позволяет уменьшить ошибки реанализа в воспроизведении температуры воздуха, что положительно скажется на качестве прогнозирования метеорологических величин над подстилающей поверхностью.

В связи с этим рассматриваются следующие перспективы:

- провести более долгопериодное моделирование;
- выявить причины обнаруженных закономерностей;
- улучшить метод коррекции и опробовать его на других буйковых данных;
- при помощи климатологической базы данных LEVITUS оценить отклонение полученных результатов от климатической нормы.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. *E. Kalnay, M. Chelliah, Roy Jenne, Dennis Joseph et al.* The NCEP/NCAR 40-Year Reanalysis Project [Электронный ресурс] // BAMS. March 1996. P.1
2. *Paul Berrisford, Dick Dee, Paul Poli et al.* ERA report series. [Электронный ресурс] 2011. P.1
3. *Ayataka Ebita, Shinya Kobayashi, Yukinari Ota et al.* The Japanese 55-year Reanalysis “JRA-55”: An Interim Report. [Электронный ресурс] // SOLA, 2011, Vol. 7, 149–152, P.150 doi:10.2151/sola.2011-038.
4. *Paul Poli, Hans Hersbach, Dick P. Dee et al.* ERA-20C: An Atmospheric Reanalysis of the Twentieth Century. [Электронный ресурс]// Journal of Climate, 2016, V. 29 No. 11, P. 4083-4097 <http://dx.doi.org/10.1175/JCLI-D-15-0556.1>
5. *Bernard Boulès, Rick Lumpkin, Michael J. McPhaden et al.* The Pirata Program: History, Accomplishments, and Future Directions [Электронный ресурс] // BAMS. Aug. 2008. P.1115
6. *Перри А.Х., Уокер Дж. М.* Система океан-атмосфера. Гидрометеоиздат, 1979 г. 5 стр.
7. *Шанаев В. М.* Климатология. Раздел «Взаимодействие Мирового океана с атмосферой и формирование климата». Гидрометеоиздат, 1974 г. стр. 54-60.
8. *Жуков Л.А.* Общая океанология. Гидрометеоиздат, 1976 г. стр. 217-225
9. Отчет о Достижениях Всемирной Программы Исследования Климата (перевод Н. Ковалева, С. Гулев, В. Рябинин). [Электронный ресурс] Издательство Научный мир, 2011 г. стр. 27

10. *Wei Wang, Cindy Bruyère, Michael Duda et al.* WRF-ARW V.3 Modeling System User`s Guide [Электронный ресурс] Jan. 2016.

11. *William C. Skamarock, Joseph B. Klemp, Jimy Dudhia et al.* A Description of the Advanced Research WRF Version 3 [Электронный ресурс] // NCAR TECHNICAL NOTE, June 2008. P.8

ПРИЛОЖЕНИЕ А

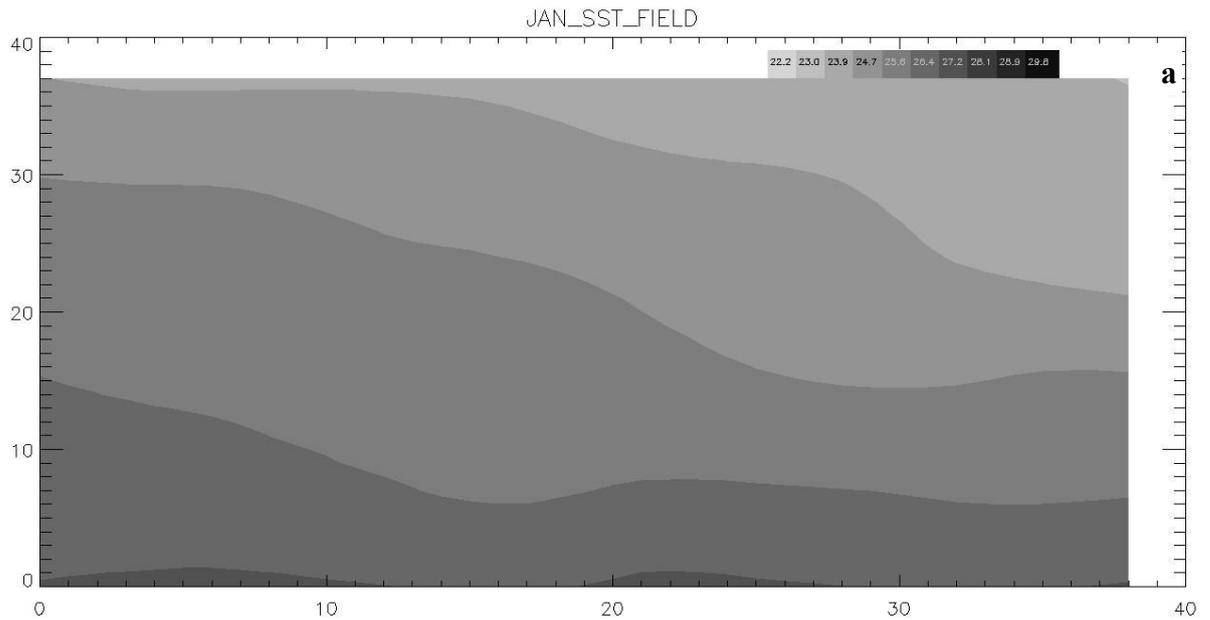
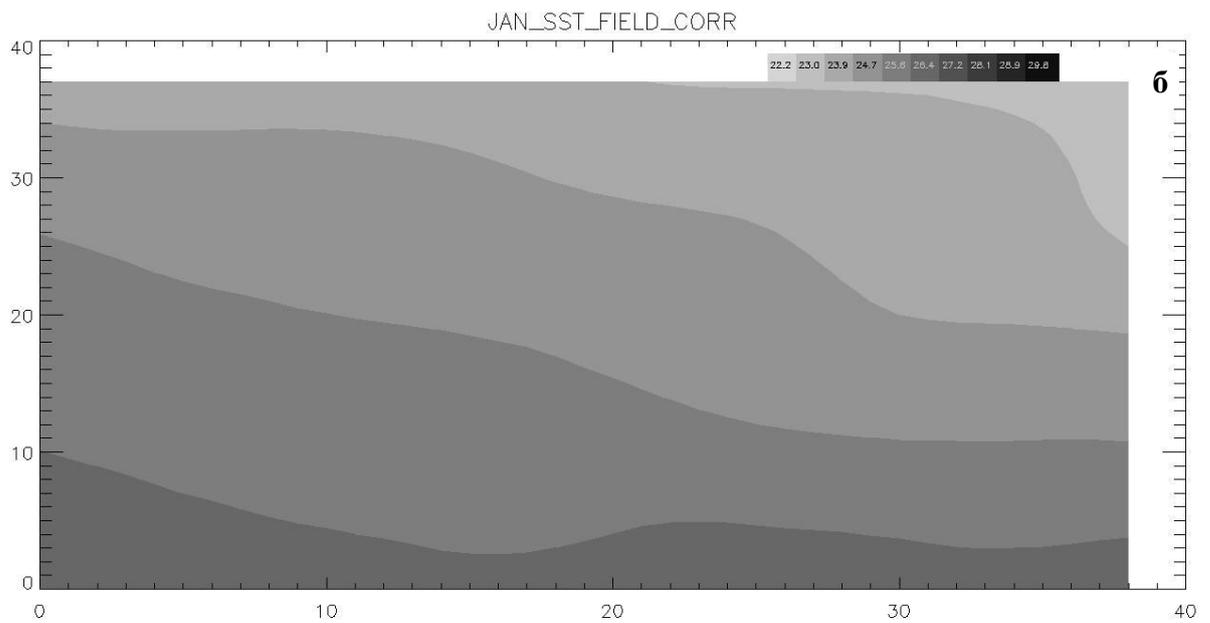


Рисунок А.1 поле температуры поверхности моря (°C) за январь; а – результаты эксперимента без коррекции, б – результаты эксперимента с коррекцией



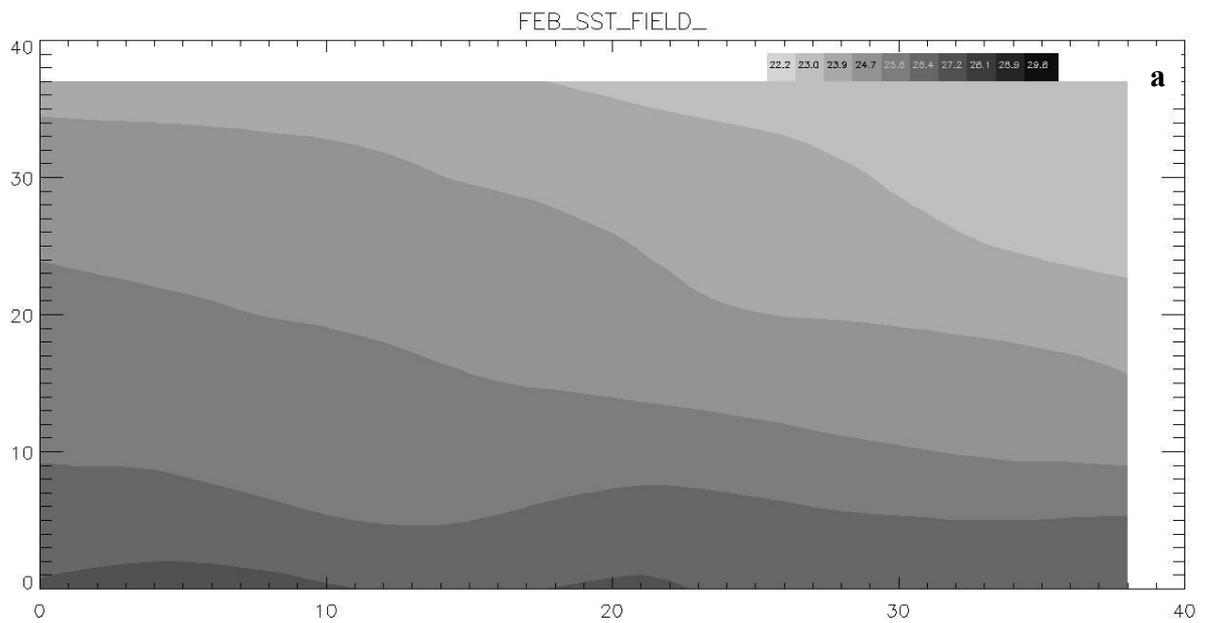
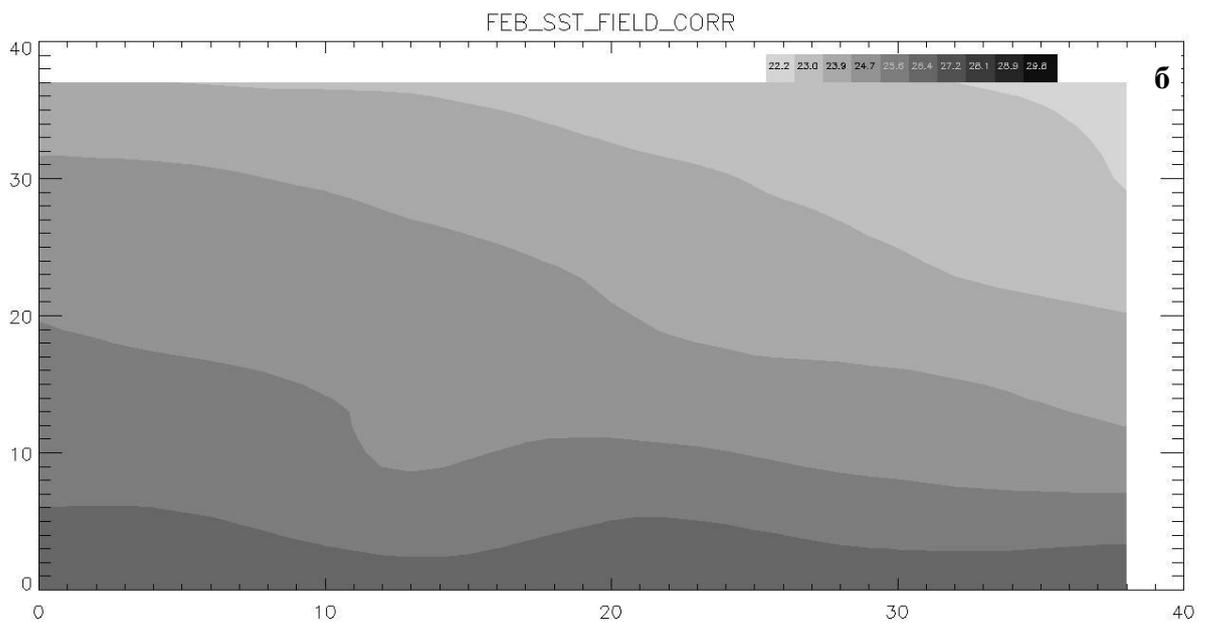


Рисунок А.2 поле температуры поверхности моря ($^{\circ}\text{C}$) за февраль; а – результаты эксперимента без коррекции, б – результаты эксперимента с коррекцией



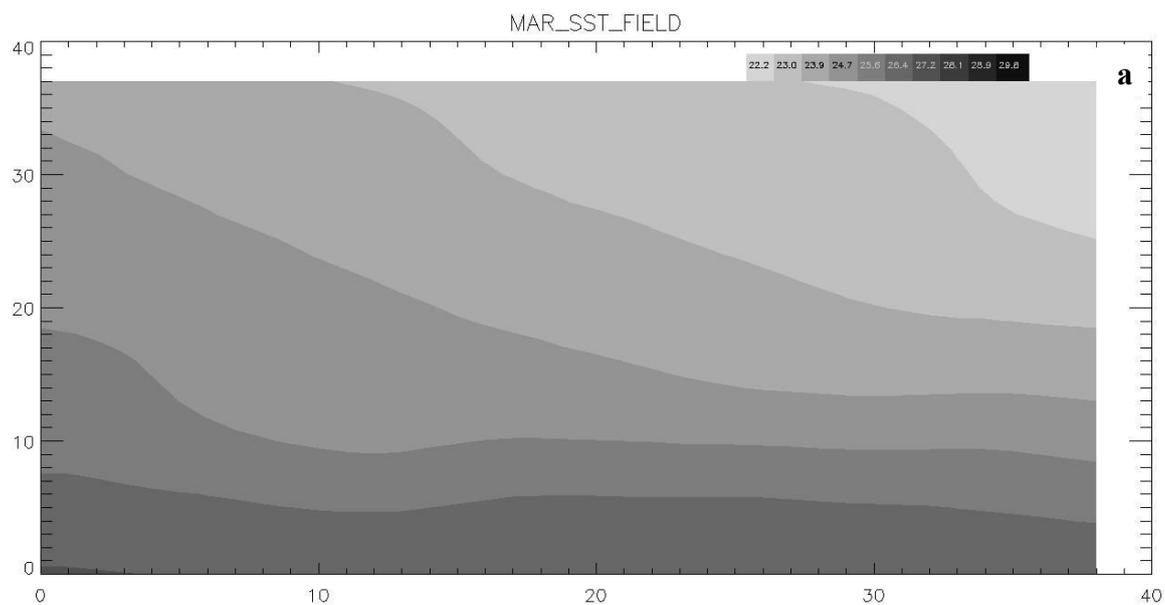
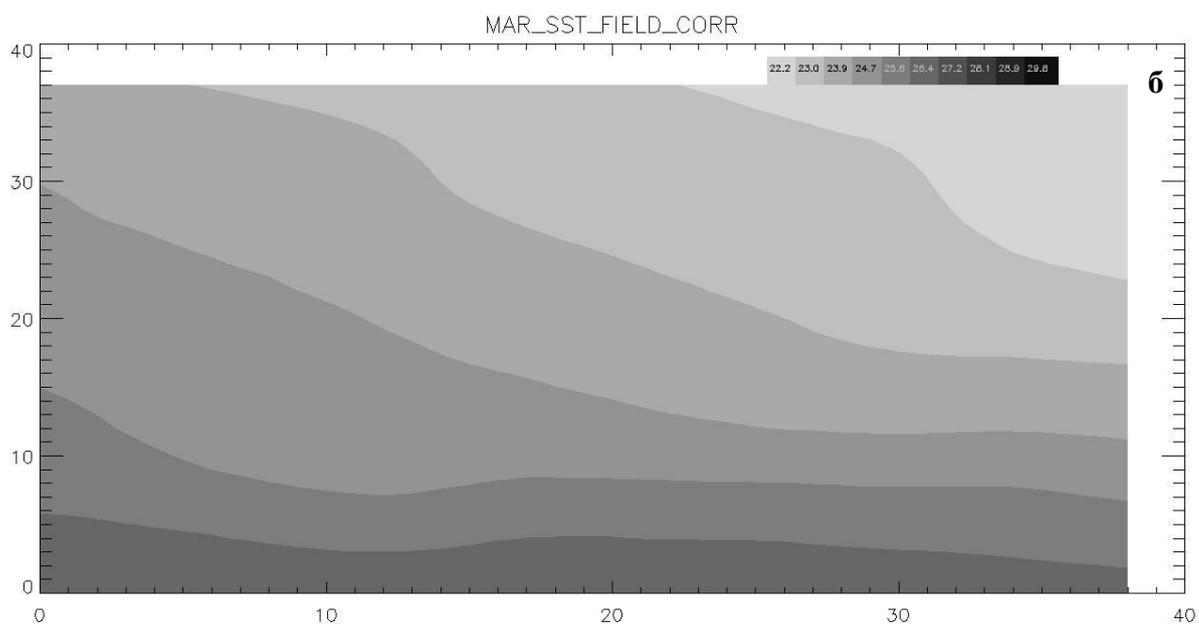


Рисунок А.3 поле температуры поверхности моря (°C) за март; а – результаты эксперимента без коррекции, б – результаты эксперимента с коррекцией



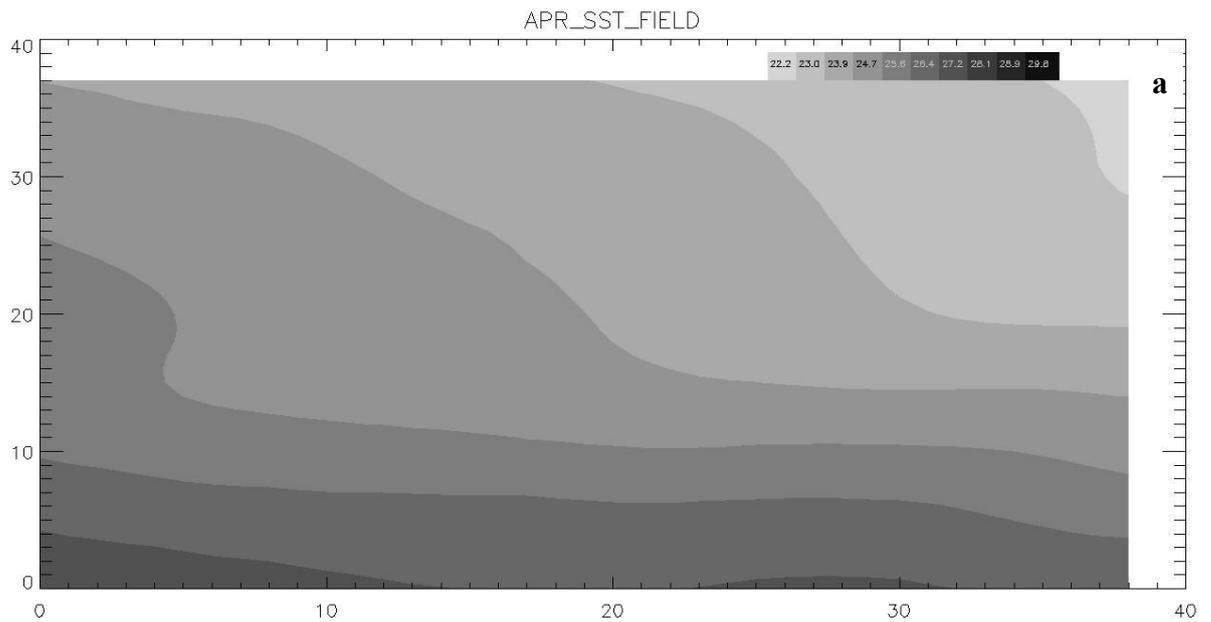
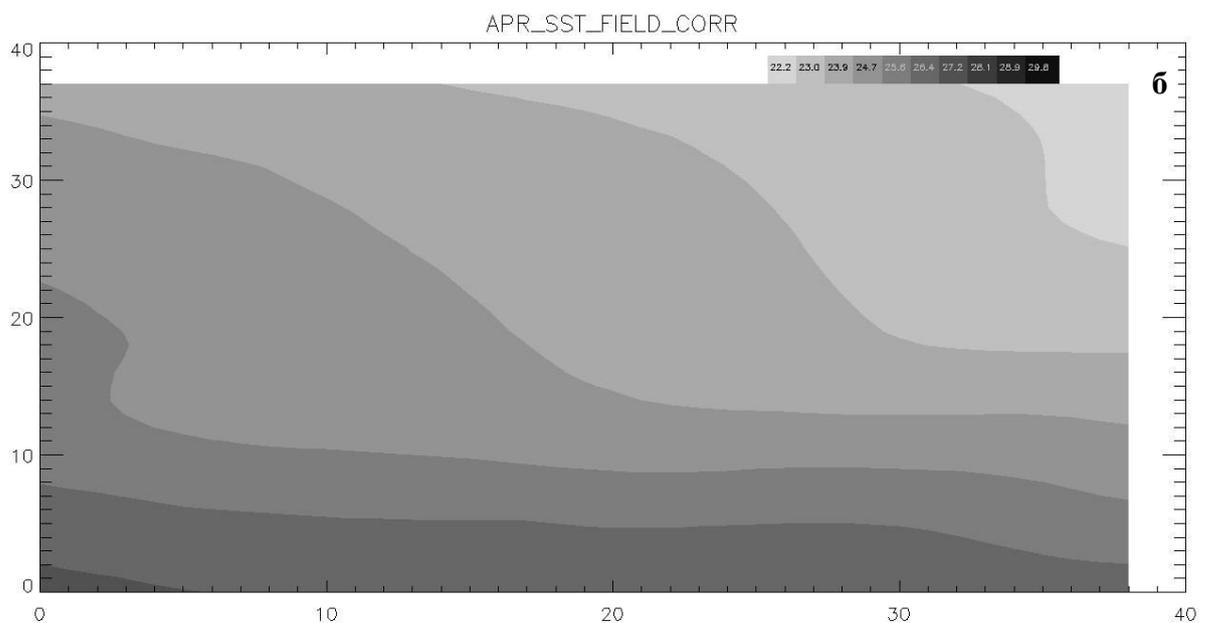


Рисунок А.4 поле температуры поверхности моря (°C) за апрель; а – результаты эксперимента без коррекции, б – результаты эксперимента с коррекцией



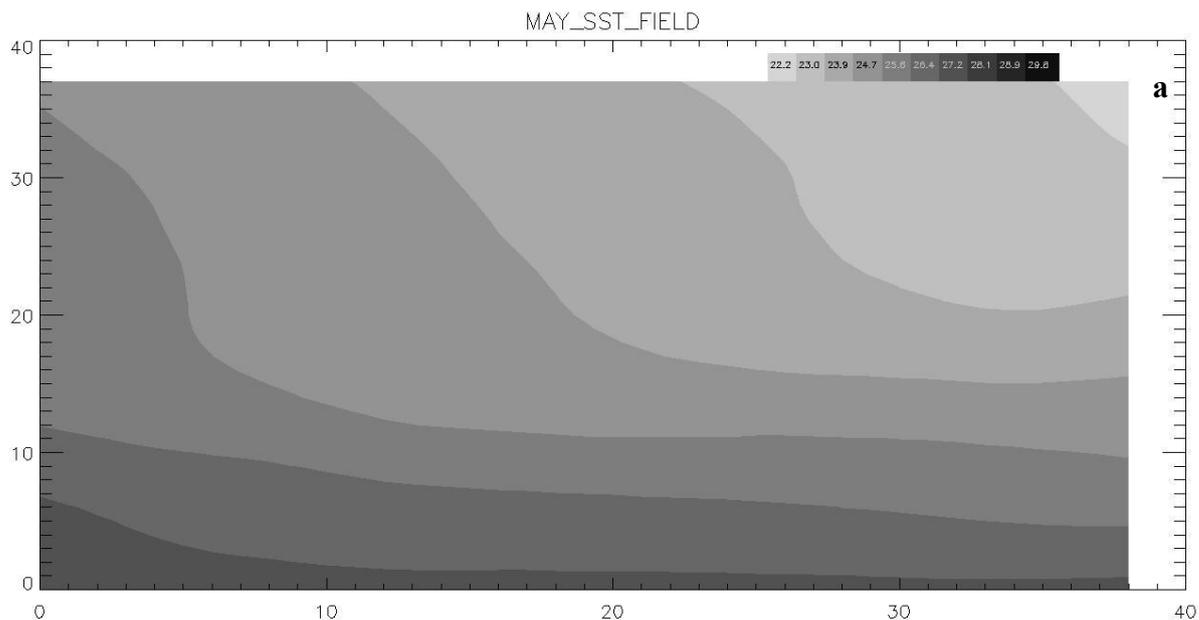
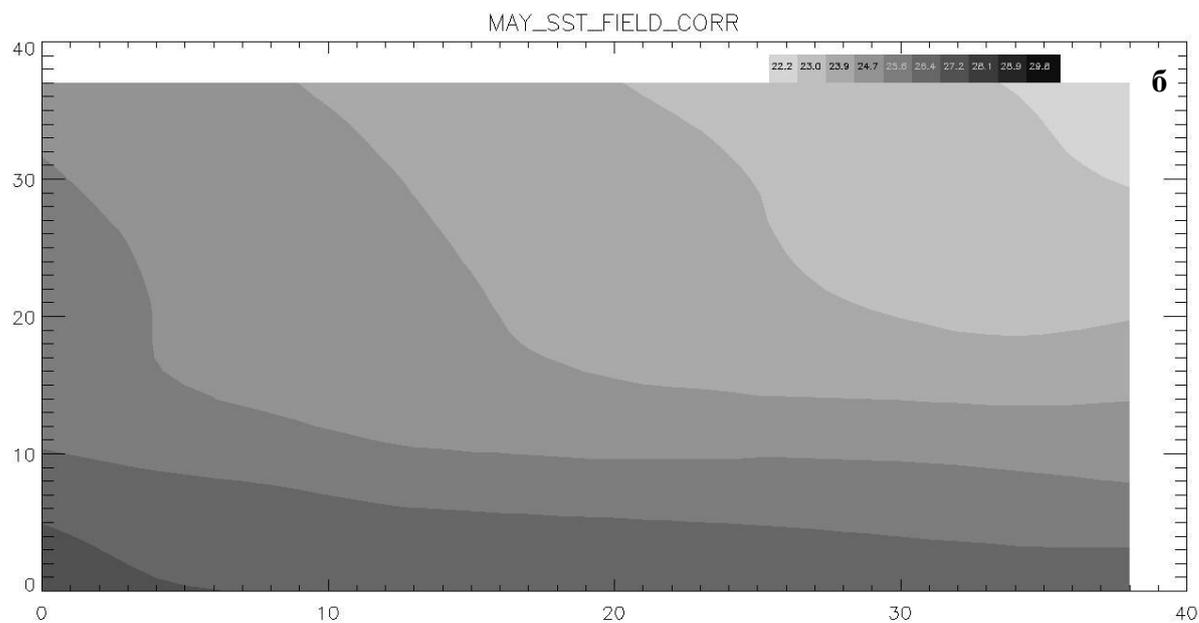


Рисунок А.5 поле температуры поверхности моря (°C) за май; а – результаты эксперимента без коррекции, б – результаты эксперимента с коррекцией



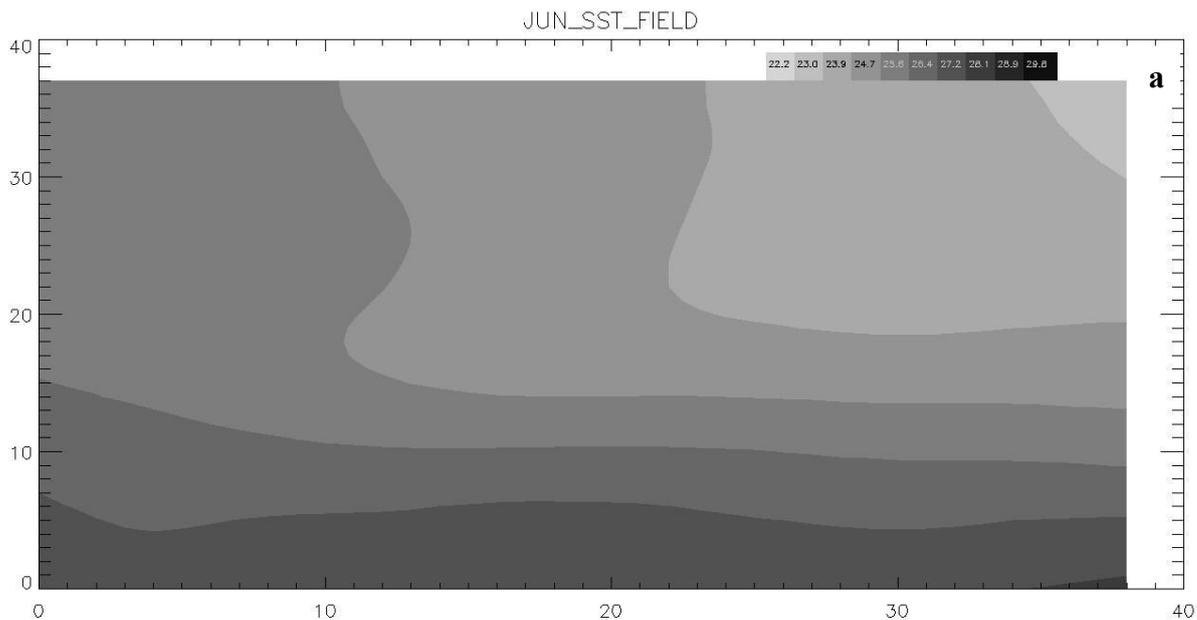
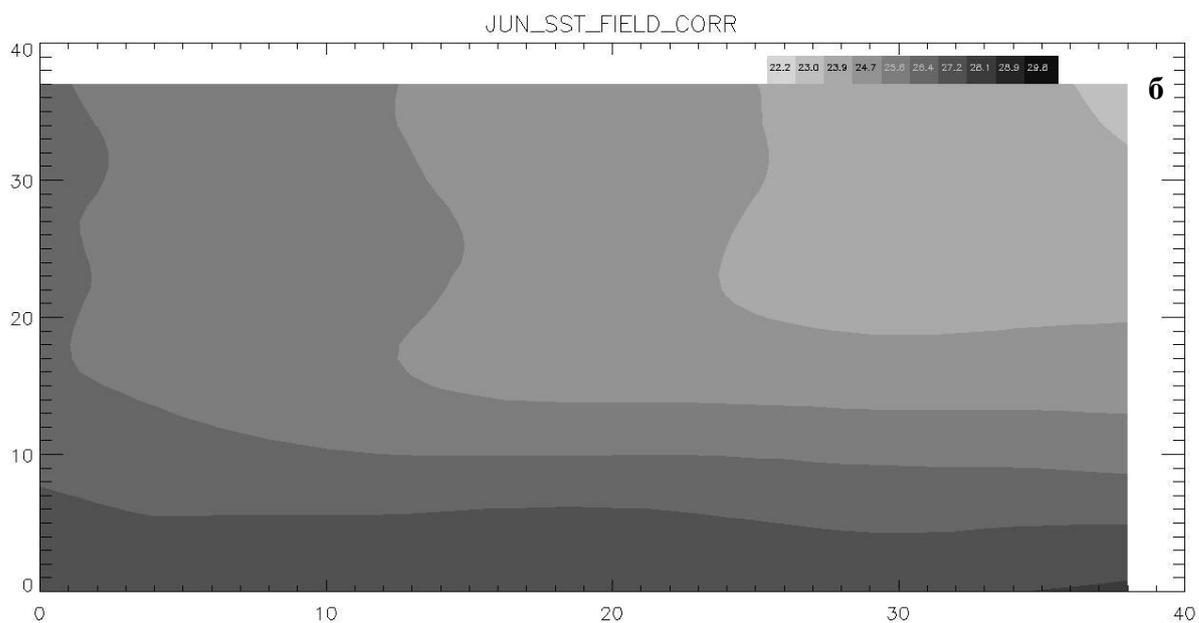


Рисунок А.6 поле температуры поверхности моря (°C) за июнь; а – результаты эксперимента без коррекции, б – результаты эксперимента с коррекцией



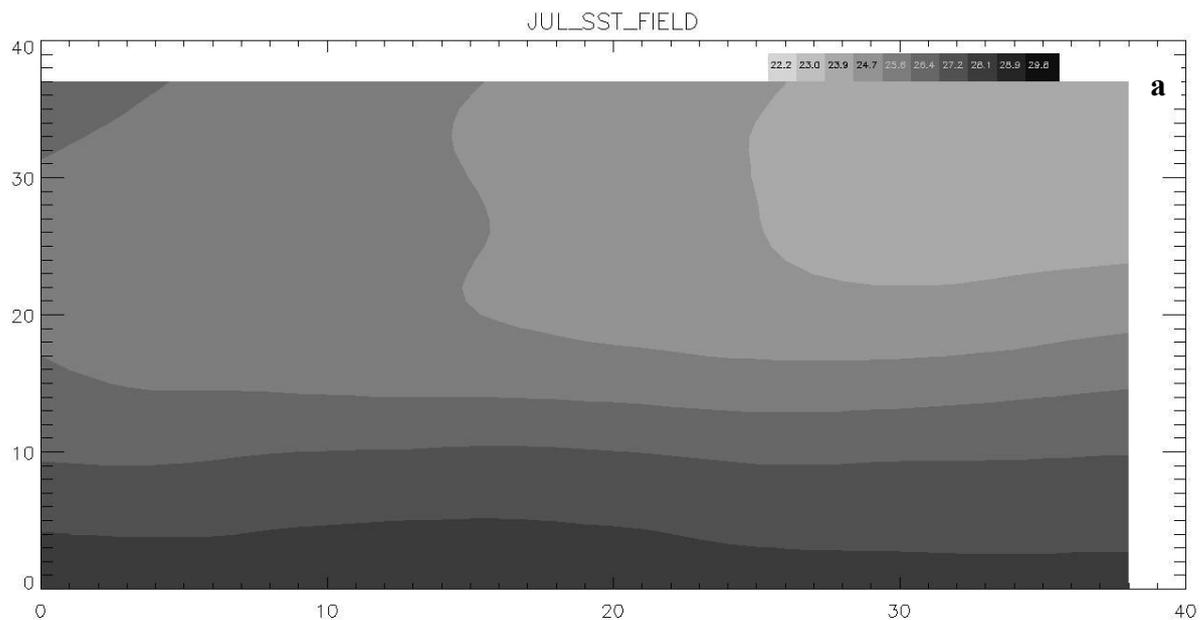
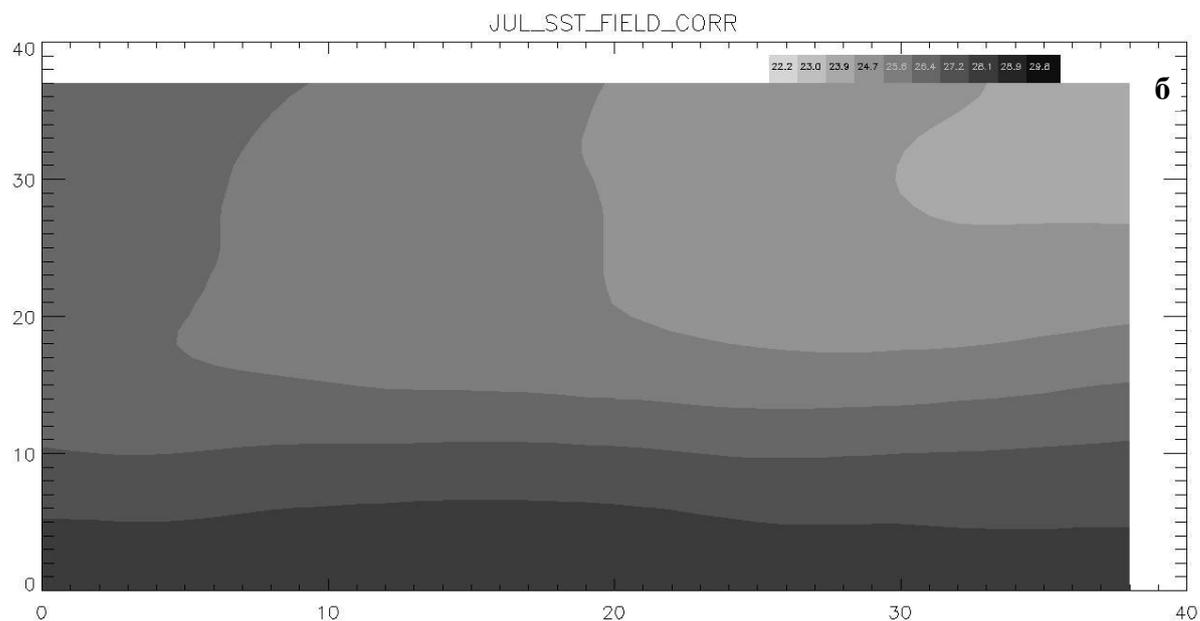


Рисунок А.7 поле температуры поверхности моря (°C) за июль; а – результаты эксперимента без коррекции, б – результаты эксперимента с коррекцией



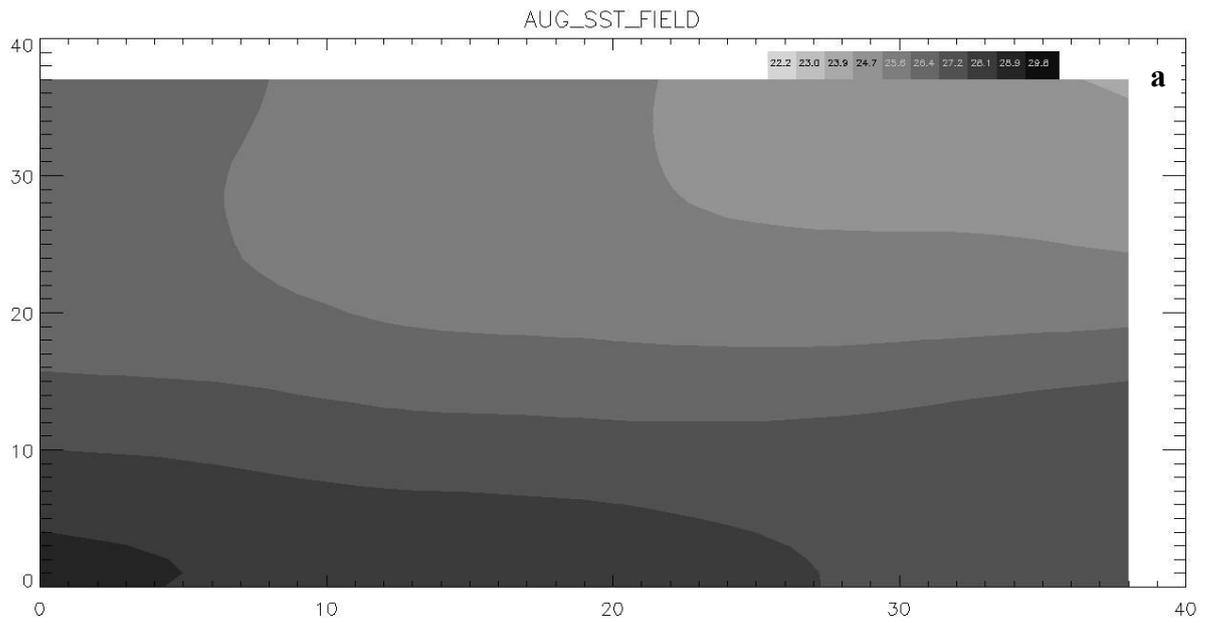
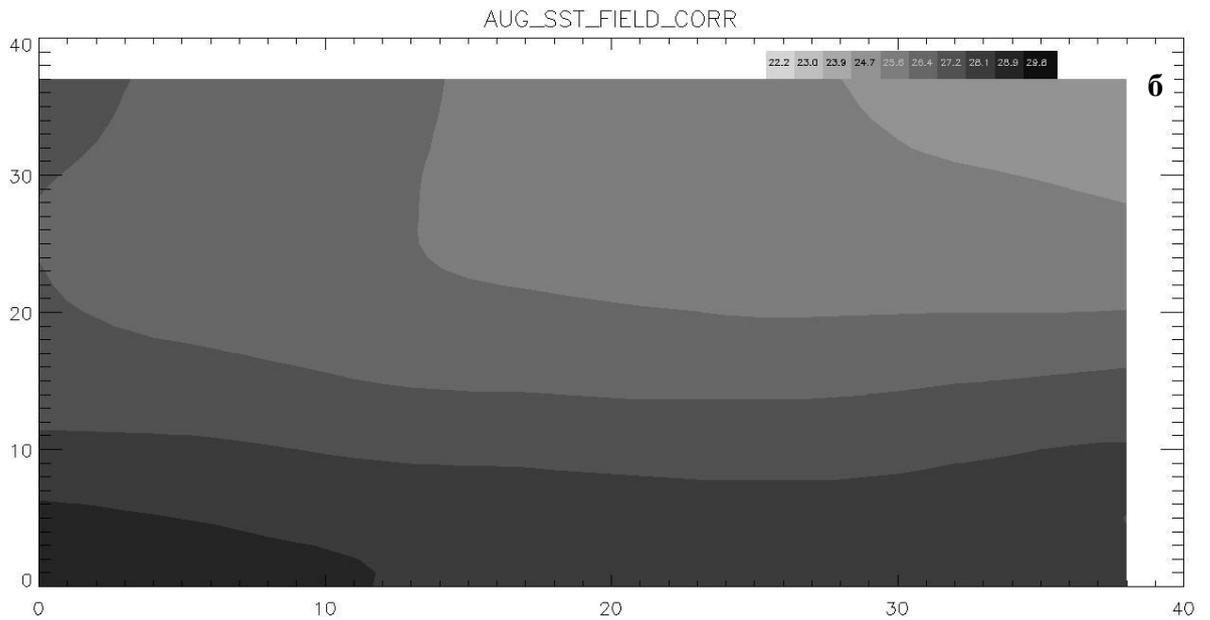


Рисунок А.8 поле температуры поверхности моря (°C) за август; а – результаты эксперимента без коррекции, б – результаты эксперимента с коррекцией



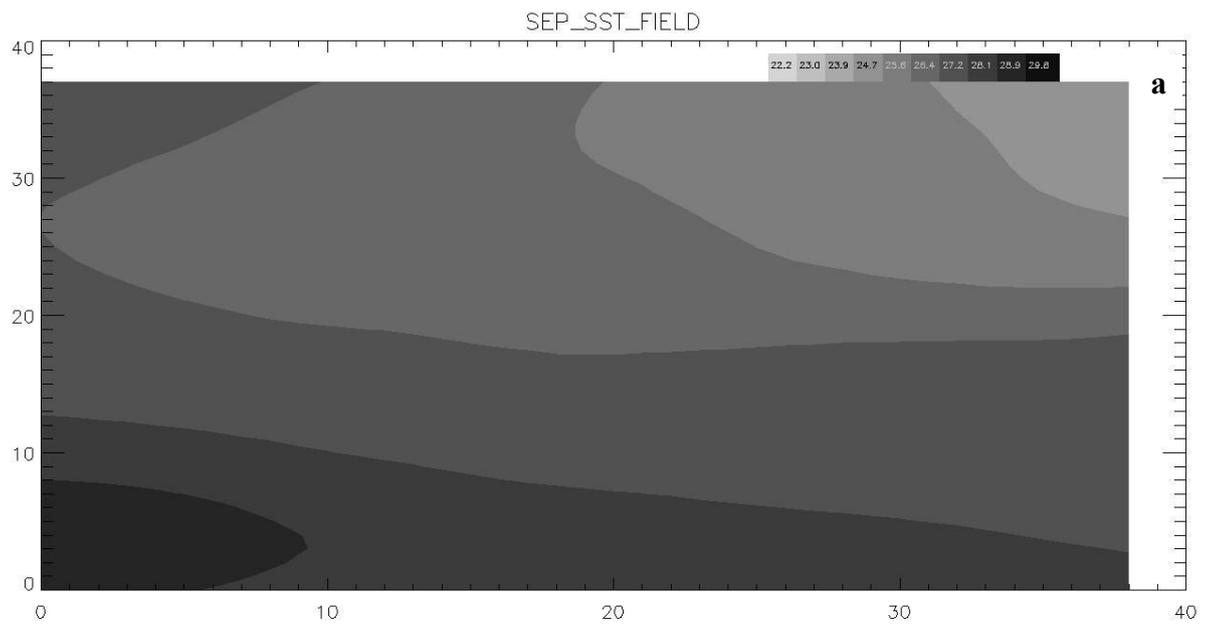
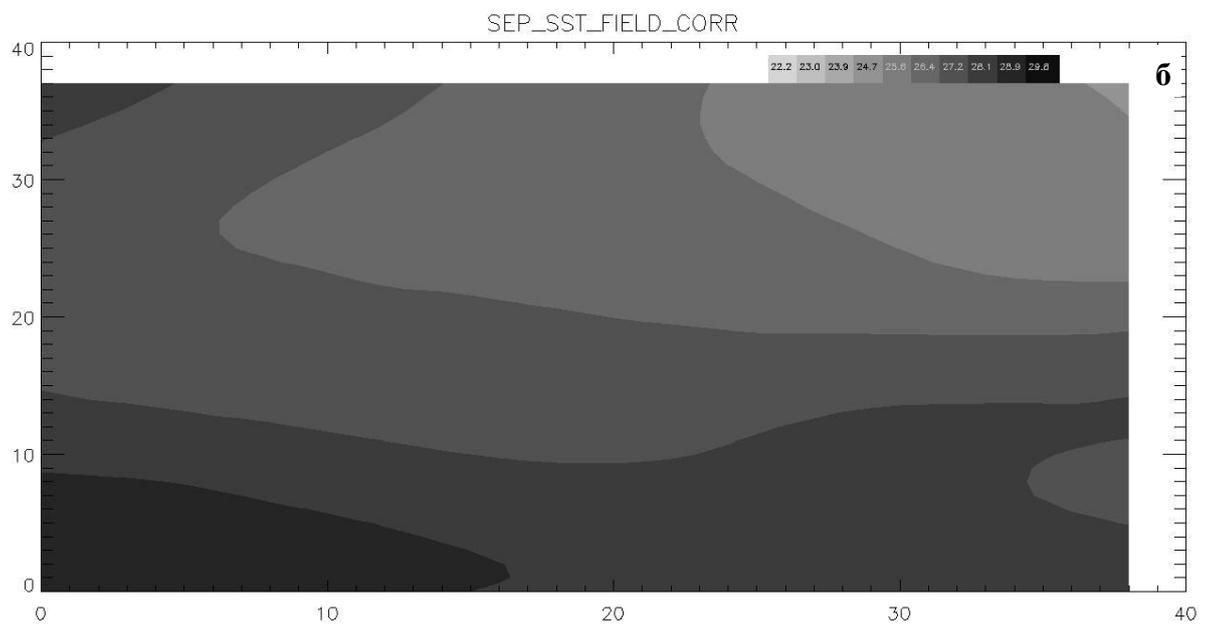


Рисунок А.9 поле температуры поверхности моря (°C) за сентябрь; а – результаты эксперимента без коррекции, б – результаты эксперимента с коррекцией



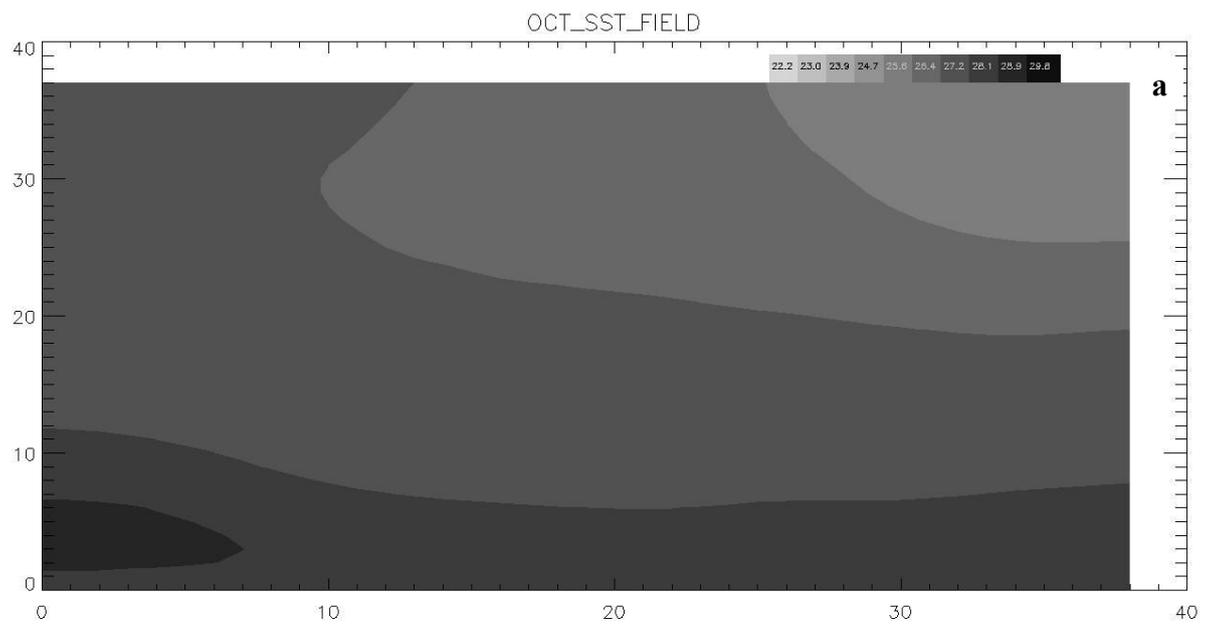
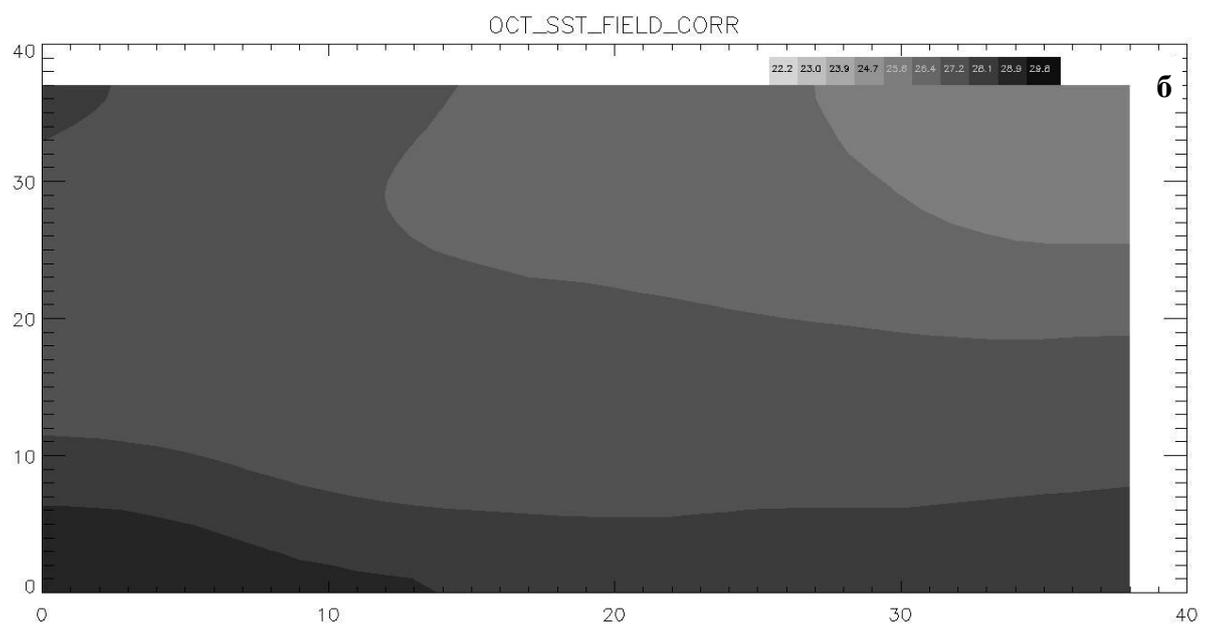


Рисунок А.10 поле температуры поверхности моря (°C) за октябрь; а – результаты эксперимента без коррекции, б – результаты эксперимента с коррекцией



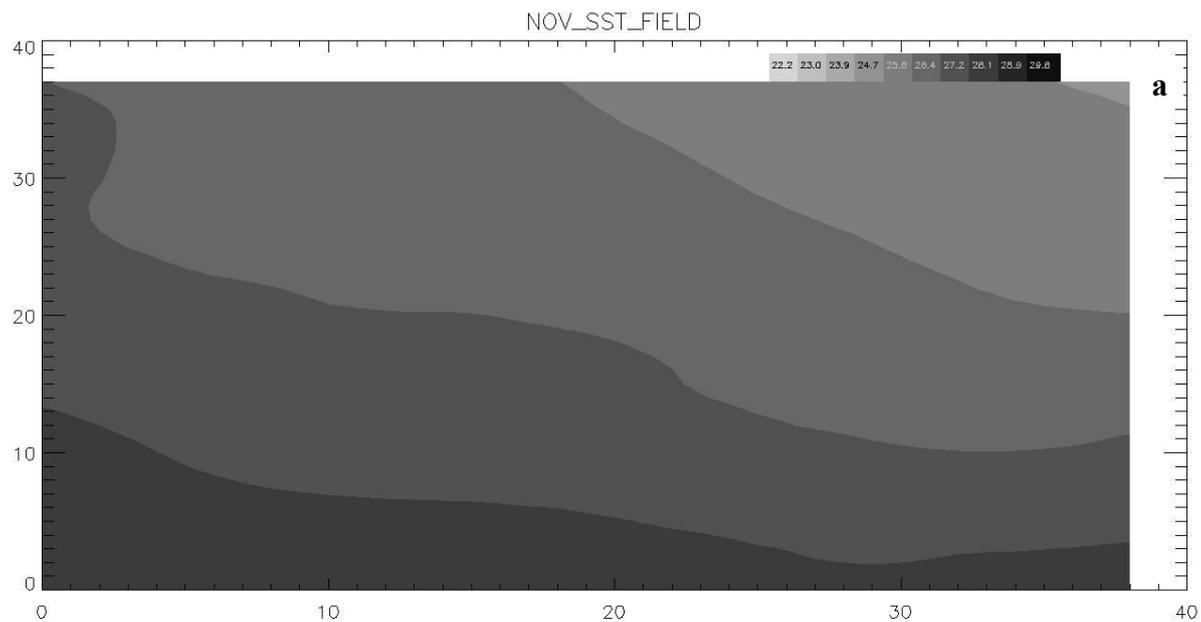
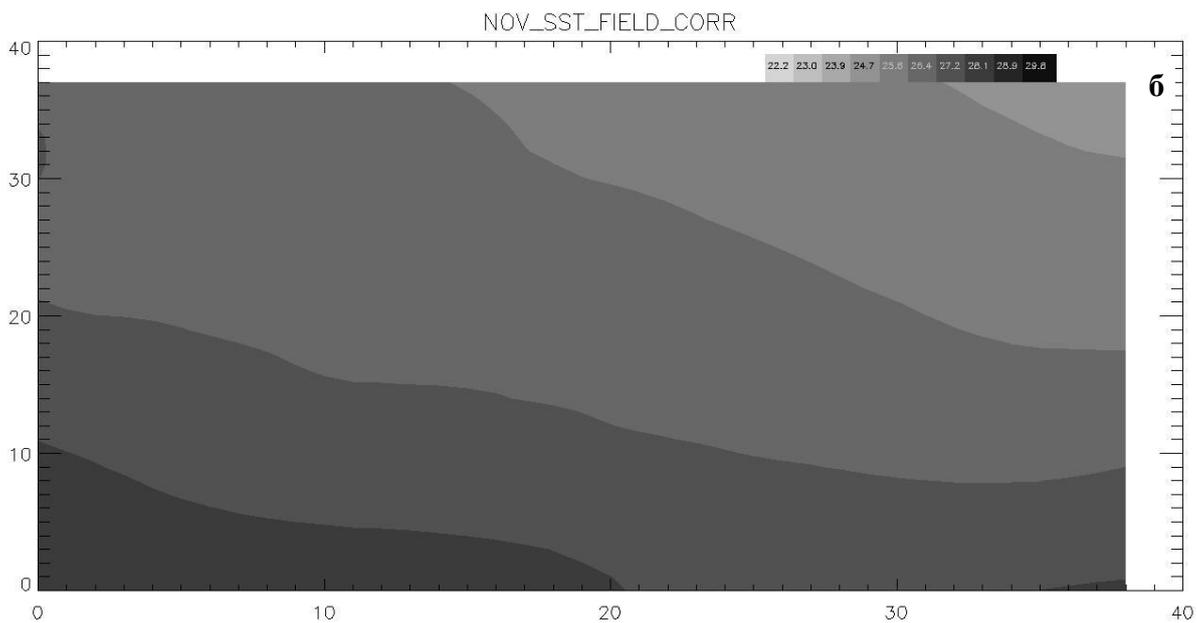


Рисунок А.11 поле температуры поверхности моря (°С) за ноябрь; а – результаты эксперимента без коррекции, б – результаты эксперимента с коррекцией



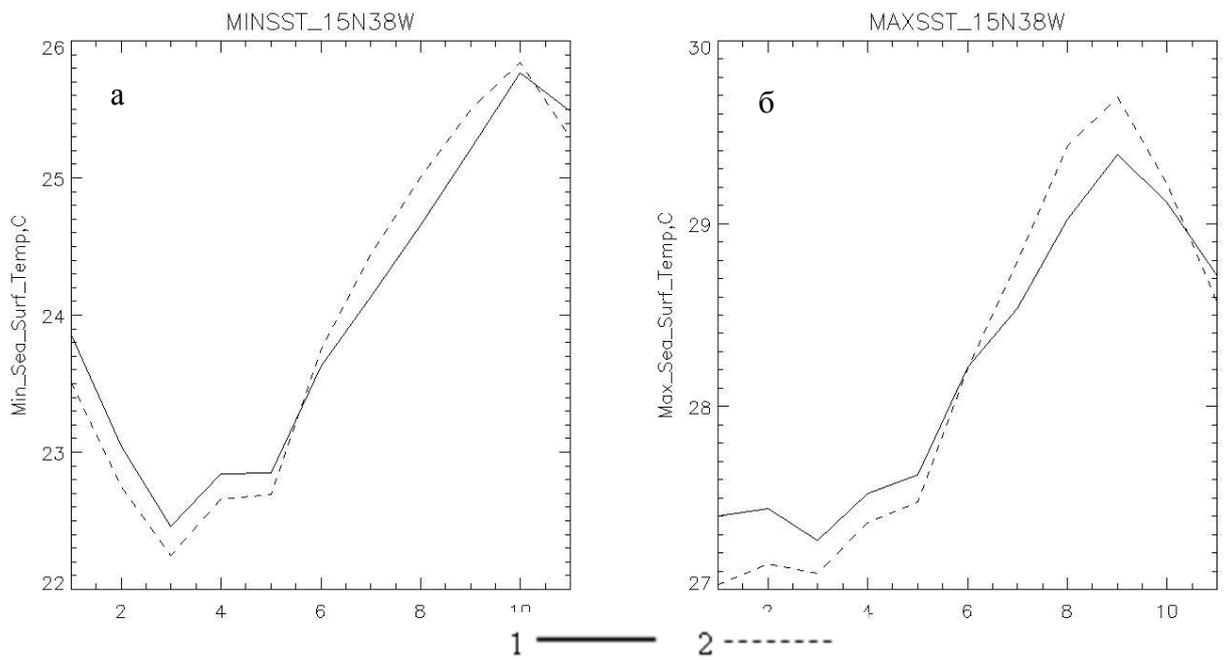


Рисунок А.12 годовое распределение минимальной (а) и максимальной (б) температур поверхности моря (°С); 1 – данные моделирования (без коррекции), 2- данные моделирования (с коррекцией)