

Контроль качества данных атмосферного форсинга в оперативной системе Черноморского центра морских прогнозов

© 2016 Ю.Б. Ратнер, М.В. Иванчик, А.М. Иванчик, А.Л. Холод

*Морской гидрофизический институт РАН, Севастополь, Россия
E-mail: yubrat@gmail.com*

Поступила 08.04.2016 г. После доработки 14.07.2016 г.

Рассматриваются вопросы контроля достоверности данных атмосферного форсинга, используемых для задания граничных условий при выполнении расчетов по численным моделям в Черноморском центре морских прогнозов Морского гидрофизического института (ЧЦМП МГИ). В первом разделе приведено описание используемых в ЧЦМП атмосферных прогнозов для приводного слоя воздуха. Во втором разделе рассматриваются методы контроля достоверности атмосферных прогнозов приводного слоя воздуха и приводится краткое описание программных средств, разработанных для решения этой задачи. В третьем разделе приводятся примеры обнаруженных ошибок подготовки данных атмосферных прогнозов. В выводах на основе полученных результатов дается заключение об эффективности разработанной системы контроля качества данных, намечаются направления дальнейших работ и отмечается, что изложенные результаты легли в основу разработки программного обеспечения, предназначенного для коррекции обнаруженных ошибок.

Ключевые слова: морские прогнозы, атмосферный форсинг, граничные условия, потоки тепла, поток испарения, поток осадков, длинноволновая радиация, коротковолновая радиация, альbedo, постоянная Стефана – Больцмана, достоверность.

Введение. В период 2009 – 2014 гг. Морской гидрофизический институт (МГИ) участвовал в проекте *FP-7* Европейского Союза «Мой океан» на правах одного из семи центров морских прогнозов. В настоящее время центр продолжает функционировать в автономном режиме. Одна из задач дальнейшего совершенствования оперативной системы Черноморского центра морских прогнозов (ЧЦМП) связана с созданием модуля контроля качества и достоверности данных о состоянии приводного слоя атмосферы (атмосферного форсинга). Эти данные используются для задания граничных условий на морской поверхности при выполнении диагностических и прогностических расчетов с помощью модели циркуляции Черного моря.

Целью настоящей работы является изложение принципов и методов, положенных в основу разрабатываемого модуля контроля качества, а также кратких сведений о разработанной версии программного обеспечения и иллюстрация результатов контроля достоверности данных атмосферного форсинга, получаемых ЧЦМП МГИ. Эти данные поступают из двух источников:

- метеоцентра *SKIRON* (Греция) [1];
- системы региональных атмосферных прогнозов отдела взаимодействия океана и атмосферы (ВАО) МГИ [2].

1. Данные атмосферного форсинга, используемые для задания граничных условий при выполнении морских диагностических и прогностических расчетов

Данные о состоянии приземного слоя воздуха должны быть известны в узлах сетки физической модели морской среды на морской поверхности, иметь высокое пространственное разрешение и точность, адекватную решаемым задачам морских прогнозов. Такие данные могут быть получены исключительно в результате прогностических расчетов по современным моделям циркуляции атмосферы. Метеоцентром *SKIRON* используется модель *Eta* [3], в отделе ВАО – модель *MM5* [4].

Вследствие сложности современных атмосферных моделей, в получаемых полях атмосферного форсинга могут возникать различного рода помехи и сбои. С учетом этого в центрах обработки данных, где создаются интересные нас продукты, предпринимаются меры по контролю их качества. Тем не менее периодически возникают ситуации, когда существующие системы, в силу своего несовершенства, не работают должным образом.

Для решения этой проблемы в рамках проекта *MyOcean* была дана рекомендация по дополнительному контролю поступающих входных данных, которой целесообразно придерживаться в ходе текущей эксплуатации Черноморского центра морских прогнозов МГИ.

Методы контроля достоверности существенно зависят от специфических особенностей входных данных. Прежде чем изложить предлагаемые нами методы контроля достоверности данных атмосферного форсинга, необходимо напомнить, что для выполнения морских прогнозов на вход используемой нами модели циркуляции Черного моря [5] должна поступать следующая информация:

- суммарный поток тепла из атмосферы в море;
- поток коротковолновой солнечной радиации, проникающей в верхние слои моря до глубин несколько десятков метров;
- поток массы водяного пара с морской поверхности в атмосферу (испарение);
- осадки (масса осадков в виде дождя или снега, выпадающих на морскую поверхность единичной площади в единицу времени);
- поток импульса между атмосферой и морем (зональная и меридиональная компоненты напряжения трения ветра).

Используемые нами данные прогнозов по атмосферным моделям непосредственно не содержат некоторые из этих величин, а представляют собой наборы других параметров состояния атмосферы с максимальным прогностическим сроком 5 сут и периодичностью выдачи результатов 1 ч.

Цифровые наборы данных *SKIRON* содержат результаты прогнозов двумерных полей параметров состояния атмосферы. Эти данные представляют собой файлы формата *GRIB* [6] и включают следующие параметры:

- зональную и меридиональную компоненты скорости ветра на высоте 10 м над уровнем моря;
- температуру и удельную влажность воздуха на высоте 2 м над уровнем моря;
- относительную долю площади небосвода, закрытой облачностью;

- давление воздуха над уровнем моря;
- осадки;
- поток нисходящего коротковолнового излучения (нисходящей коротковолновой радиации) в атмосфере в диапазоне 0,4 – 4 мкм, достигающего морской поверхности;
- поток восходящего коротковолнового излучения (восходящей коротковолновой радиации) в атмосфере на уровне моря, который с точностью до 1 – 2 % равен потоку нисходящей коротковолновой радиации, рассеянной морской поверхностью;
- поток нисходящего длинноволнового излучения (нисходящей длинноволновой радиации) в атмосфере в диапазоне 4 – 13 мкм, достигающего морской поверхности;
- поток собственного длинноволнового излучения (восходящей длинноволновой радиации) морской поверхности в диапазоне 4 – 13 мкм;
- испарение;
- поток скрытого тепла (получаемого или теряемого морем вследствие фазовых переходов воды при испарении и осадках);
- поток явного тепла (получаемого или теряемого морем из-за контактного турбулентного теплообмена между воздухом и морской водой у поверхности моря);
- температуру морской поверхности.

Этот набор параметров позволяет не только рассчитать необходимые граничные условия для прогноза по гидродинамической модели моря, но и достаточно детально проконтролировать корректность полученных данных атмосферного форсинга.

Цифровые наборы данных отдела ВАО представляют собой файлы формата *NetCDF* и содержат следующие параметры:

- температуру и удельную влажность воздуха на высоте 2 м над уровнем моря;
- температуру поверхности моря;
- зональную и меридиональную компоненты скорости ветра на высоте 10 м над уровнем моря;
- поток явного тепла;
- поток скрытого тепла;
- поток нисходящей коротковолновой радиации в атмосфере, достигающий морской поверхности;
- поток восходящей коротковолновой радиации в атмосфере на уровне моря;
- поток нисходящей длинноволновой радиации в атмосфере, достигающий морской поверхности;
- поток собственного длинноволнового излучения морской поверхности;
- зональную и меридиональную компоненты скорости ветра;
- интенсивность осадков (высота слоя воды, образовавшегося за единицу времени при условии, что вода не растекается по поверхности, а накапливается, как, например, в дождемере).

В отличие от первого источника данных атмосферного форсинга, вышеуказанный набор параметров не позволяет осуществить контроль их качества

с той степенью полноты, которая возможна для данных [3], т. к. здесь отсутствуют данные по атмосферному давлению и облачности. Тем не менее, если при контроле качества данных [4] использовать результаты, полученные в ходе проверки данных [3] за те же самые даты, отмеченное препятствие значительно нивелируется.

2. Система тестов и программное обеспечение, используемые для контроля достоверности атмосферного форсинга

Изложенные сведения позволяют приступить к рассмотрению принципов и методов контроля достоверности данных атмосферного форсинга. Прежде всего, следует отметить необходимость контроля обширного набора трехмерных полей (два пространственных измерения и одно временное). Это достаточно трудоемкий процесс даже с учетом использования современных информационных технологий, поэтому многие действующие системы контроля используют упрощенные подходы, основанные на поэтапном решении задачи. При этом контроль данных начинается с анализа изменчивости временных рядов пространственных средних значений параметров атмосферы над выбранным районом земной поверхности, а более сложные процедуры анализа двумерных и трехмерных полей выполняются на следующих этапах с учетом результатов первичного контроля. Именно такой подход реализован в системах контроля качества тематических центров (*TAC – Thematic Assembling Center*) подготовки входных данных Европейской системы центров морских прогнозов *Copernicus* [7]. Результат опытной эксплуатации подобных систем показал, что большинство проблем выявляются уже в ходе первого, упрощенного этапа контроля. Ввиду вышеизложенного разработка собственной системы была начата именно с развития методов и программных средств первого этапа контроля качества данных.

Система контроля качества данных должна состоять из набора взаимосвязанных тестов разного уровня сложности, направленных на контроль определенных групп или отдельных параметров атмосферного форсинга. Все программное обеспечение, реализующее тесты для контроля достоверности данных, целесообразно разрабатывать в среде статистических вычислений *R* [8], которая имеет широкий набор библиотечных процедур статистического анализа данных и их графического отображения. Достоинством среды *R* является возможность свободного (без необходимости покупки лицензии) использования.

Рассмотрим группу тестов, которые можно предложить для контроля достоверности прогностических величин радиационных потоков, получаемых по данным атмосферных моделей.

Один из наиболее простых тестов (*TULWR*), реализованных нами, направлен на контроль достоверности данных о потоках длинноволновой восходящей радиации. Основываясь на известных физических законах теплового излучения (законах Кирхгофа и Стефана – Больцмана) и считая, что морская поверхность в этом диапазоне длин волн электромагнитного спектра излучает как абсолютно черное тело, для потока восходящей длинноволновой радиации можно записать отношение:

$$\frac{Q_{ULWR}}{T^4} = \sigma, \quad (1)$$

где Q_{ULWR} – поток восходящего длинноволнового излучения, распространяющегося вверх от морской поверхности, Вт/м²; T – температура морской поверхности, К; $\sigma = 5,670 \cdot 10^{-8}$ – постоянная Стефана – Больцмана, Вт/м²/К⁴.

Вычислив это отношение для каждого узла двумерной сетки атмосферной модели и осреднив полученные величины по узлам, принадлежащим морской акватории, можем получить временной ряд величин $\hat{\sigma}$. Сравнивая относительные величины разностей $(\hat{\sigma} - \sigma)/\sigma$ с известным пороговым значением, равным 1 – 2 %, и полагая, что сбои в величинах температуры поверхности моря отсутствуют, можно сделать заключение о качестве данных по потоку восходящего длинноволнового излучения Q_{ULWR} .

Тесты для контроля данных о потоках длинноволновой нисходящей радиации реально осуществимы при условии отсутствия облачности. Они требуют достаточно точного знания вертикальных профилей давления, температуры, влажности и некоторых других параметров атмосферы. Для их реализации необходимо использовать сложные радиационные модели. Ввиду этого подобные тесты нами не разрабатываются. Тем не менее, учитывая наличие в нашем распоряжении двух источников данных атмосферного форсинга, можно выполнить их сопоставление. При больших отличиях в величинах радиационных потоков, например более 30 %, можно предполагать наличие недостоверных данных в одном из имеющихся источников.

Следующий тест (*TDSWR*), рассматриваемый в данной работе, предназначен для контроля достоверности величин потоков коротковолновой солнечной радиации в безоблачных условиях. Он более сложен и основан на использовании моделей распространения оптического излучения в атмосфере. Такие модели рассматриваются, например, в работах [9 – 12]. Функции, входящие в библиотеку *INSOL* [13] статистического пакета *R*, позволяют выполнить эти расчеты. Для их выполнения необходимы следующие данные: об удельной влажности и температуре воздуха у морской поверхности, о концентрации атмосферного озона и дальности видимости, об альбедо земной (морской) поверхности, зенитном угле Солнца и юлианской дате.

Данные о концентрации озона в атмосфере, дальности видимости и альбедо морской поверхности отсутствуют в наборах выходных параметров обеих атмосферных моделей. Информация о концентрации озона и дальности видимости может быть получена из климатических архивов данных. Информация об альбедо морской поверхности может быть задана согласно литературным источникам [14, 15] и другим. Эти данные имеют неоднозначный характер, связанный с сильной изменчивостью альбедо в зависимости от конкретных метеорологических условий, в первую очередь, вследствие изменений зенитного угла Солнца и волнения морской поверхности, связанного с ветром.

Имея временной ряд величин нисходящей коротковолновой радиации \hat{Q}_{DSWR} , рассчитанных по оптической атмосферной модели [13] и осредненных по участкам морской поверхности, не закрытым облачностью, а также временной ряд Q_{DSWR} , полученный аналогичным образом с выхода модели ([3] или [4]), можно построить графики и сравнить статистические характеристики отклонений между временными рядами, за счет чего получить представление о качестве данных Q_{DSWR} .

Тест *TUSWR* предназначен для контроля качества данных потока восходящего коротковолнового излучения в безоблачных условиях. Он может быть реализован при условии задания альbedo морской поверхности согласно данным литературных источников. В этом случае на основе использования данных Q_{DSWR} , прошедших тест *TDSWR*, и информации об альbedo можно рассчитать усредненные по пространству потоки восходящего коротковолнового излучения \hat{Q}_{USWR} и сопоставить их с аналогично осредненными величинами Q_{USWR} , получаемыми с выхода атмосферных моделей.

При реализации обоих тестов (*TDSWR* и *TUSWR*), ввиду отсутствия всей необходимой информации и неточности используемой оптической атмосферной модели, могут наблюдаться значительные расхождения между значениями сопоставляемых величин, полученных с выхода атмосферных моделей и рассчитанных с использованием библиотеки *INSOL* [13]. Поэтому необходимо дополнительно уточнить пороги для нижней и верхней границ значений разностей сопоставляемых величин. Это должно быть сделано таким образом, чтобы при выходе за эти границы потоки, получаемые в результате прогноза по атмосферным моделям, с большой вероятностью содержали фрагменты недостоверных данных. В настоящее время разработка этих тестов далека от завершения и они не используются нами.

Вопрос определения величин альbedo может быть решен на основе использования соотношения

$$\alpha = Q_{USWR} / Q_{DSWR} , \quad (2)$$

где α – альbedo морской поверхности; Q_{USWR} – поток коротковолновой восходящей радиации; Q_{DSWR} – поток коротковолновой нисходящей радиации.

Таким образом, можно непосредственно сравнить величину α , рассчитанную по формуле (2), с данными литературных источников. Тогда рассматриваемый нами тест, который обозначим как *ALB*, становится комплексным тестом одновременного контроля достоверности данных о потоках восходящего и нисходящего излучения атмосферы, а также альbedo морской поверхности. Однако интерпретация соответствующих результатов в этом случае будет более сложной. Необходимо дополнительно определить, какие данные – Q_{USWR} или Q_{DSWR} – на самом деле являются недостоверными.

Рассмотренные выше тесты предназначены для контроля достоверности радиационных потоков тепла. Контроль турбулентных потоков может быть выполнен с использованием *bulk*-формул. Этот способ позволяет контролировать данные о потоках импульса, явного и скрытого тепла. Здесь использу-

ется один из последних вариантов подобных расчетных соотношений, приведенных в [16]. Именно эти расчетные соотношения реализованы в одной из современных моделей океана *NEMO* [17].

На основе изложенного подхода было создано программное обеспечение для расчета, анализа и отображения статистических характеристик тестовых критериев, используемых для контроля качества атмосферного форсинга. Его разработка выполнена с использованием среды статистических вычислений *R* [8]. Разработанные программные средства контроля обеспечивают:

- расчет величин критериев *TULWR* и *ALB*, осредненных по акватории Черного моря и используемых для контроля достоверности данных о потоках коротковолновой и длинноволновой радиации;
- расчет величин потоков тепла по *bulk*-формулам, приведенным в [16];
- осреднение двумерных пространственных полей параметров состояния приводного слоя атмосферы, потоков импульса, тепла и влаги на текущий срок прогноза;
- визуализацию графиков временных рядов величин, используемых для контроля качества потоков тепла и параметров приводного слоя атмосферы.

3. Результаты контроля качества данных атмосферного форсинга *SKIRON* и отдела взаимодействия океана и атмосферы МГИ

3.1. Контроль потоков длинноволнового восходящего и нисходящего излучения. Поток длинноволнового восходящего излучения является одной из составляющих потока тепла. Он может быть проконтролирован на основе расчетов по формуле (1). Результаты контроля данных *SKIRON* приведены на рис. 1.

На графиках временных рядов теста *TULWR* за 2009 – 2010 гг. (рис. 1, *a, б*) синим цветом показано среднее значение величины $\hat{\sigma}$, полученное для каждого дня года по данным прогнозов на 9 часов всемирного координированного времени (*UTC*). Две кривые, изображенные красным цветом и лежащие под и над графиком временного ряда $\hat{\sigma}$, соответствуют минимальным и максимальным величинам отношения, стоящего в правой части формулы (1). Указанные величины рассчитаны по всей акватории Черного моря. Результаты тестирования данных за эти годы показывают, что величина $\hat{\sigma}$ с точностью до четвертого знака не зависит от времени, что и должно быть при условии корректного расчета потоков восходящего длинноволнового излучения. Она несколько превышает значение постоянной Стефана – Больцмана σ из-за того, что в формуле (1) не учитывается излучательная способность водной поверхности. В 2011 г. на графике временного ряда $\hat{\sigma}$, представленном на рис. 1, *в*, обнаруживается единичный сбой. Величина $\hat{\sigma}$ существенно отличается от σ . Для временного ряда за 2012 г. в конце года обнаруживается целый интервал времени, где величина $\hat{\sigma}$ существенно отличается от σ (рис. 1, *з*). На рис. 1, *д, е* показаны временные ряды $\hat{\sigma}$ за 2013 и 2014 гг. Видно, что интервалы времени существенных различий между величинами $\hat{\sigma}$ и σ еще более увеличиваются по сравнению с 2012 г.

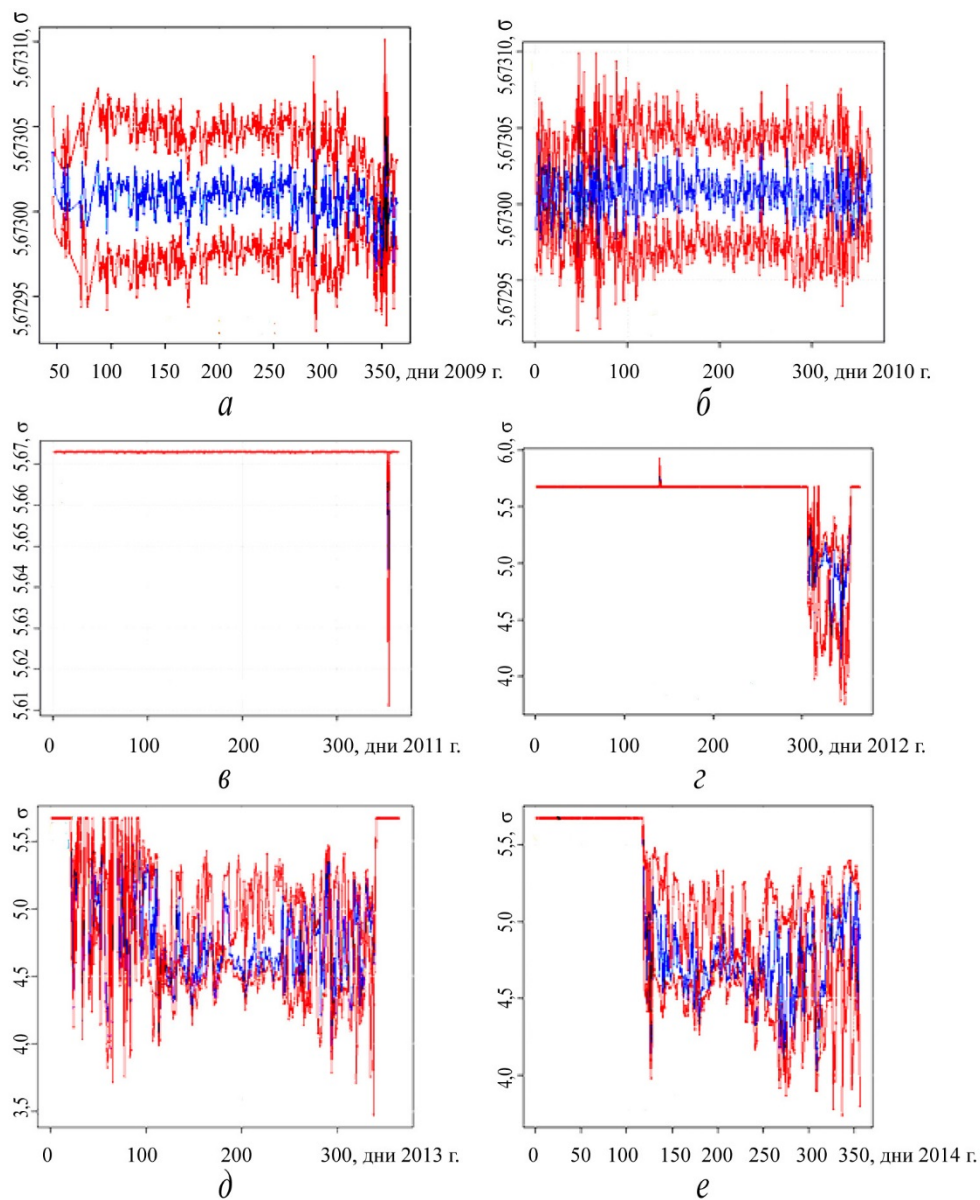


Рис. 1. Контроль корректности расчета Q_{ULWR} по критерию $\sigma = Q_{ULWR}/SST^4$: а – по данным 2009 г., б – по данным 2010 г., в – по данным 2011 г., г – по данным 2012 г., д – по данным 2013 г., е – по данным 2014 г.

Обнаруженные особенности позволяют сделать вывод, что прогностические величины потоков восходящего и нисходящего длинноволнового излучения за 2012, 2013 и 2014 гг. могут содержать большие объемы некорректных данных. Дальнейшее изучение обнаруженных особенностей было продолжено на основе анализа графиков временных рядов потоков нисходящего и восходящего длинноволнового излучения – Q_{DLWR} и Q_{ULWR} . Анализ этих временных рядов показал, что в случаях, когда $\hat{\sigma}$ существенно отличается от

σ , величины Q_{ULWR} рассчитываются некорректно. Это подтверждается графиками величин Q_{DLWR} и Q_{ULWR} за 2014 г. (рис. 2). Аналогичная ситуация имела место и в 2012, и в 2013 гг.

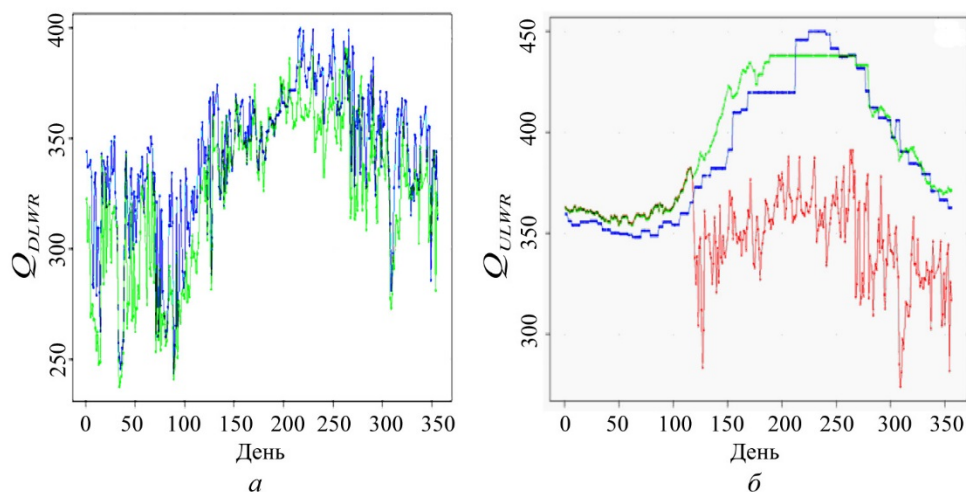


Рис. 2. Временные ряды Q_{DLWR} и Q_{ULWR} по форсингу *SKIRON*, ВАО и закону Стефана – Больцмана: *а* – Q_{DLWR} , *б* – Q_{ULWR}

На рис. 2, *а* зеленым цветом показаны величины потоков, полученные по данным *SKIRON*, синим – по данным отдела ВАО. Величины Q_{DLWR} , полученные по данным *SKIRON* и ВАО, соответствуют как друг другу с точностью, характерной для современных методов расчета этих величин по разным атмосферным моделям, так и имеющимся теоретическим представлениям о характере внутригодовой изменчивости нисходящего длинноволнового излучения атмосферы.

На рис. 2, *б* красным цветом показаны величины потоков Q_{ULWR} , полученные по данным *SKIRON*, синим – по данным отдела ВАО, зеленым – вычисленные в соответствии с законом Стефана – Больцмана по формуле (1). В отличие от рассмотренного выше случая, между величинами потоков Q_{ULWR} , полученными по разным данным, наблюдаются существенные различия. Обращает на себя внимание резкое отличие характера изменчивости временного ряда величин Q_{ULWR} , полученных по данным *SKIRON*, от аналогичных величин, полученных по другим данным. До конца апреля характер изменений всех трех временных рядов Q_{ULWR} примерно одинаковый. Далее величины Q_{ULWR} , соответствующие данным *SKIRON*, резко отличаются от аналогичных, полученных по другим источникам данных. Более того, характер изменчивости Q_{ULWR} , согласно данным *SKIRON*, не соответствует имеющимся теоретическим представлениям о внутригодовой изменчивости потоков восходящего длинноволнового излучения системы морская поверхность – атмосфера. Сравнивая графики на рис. 1, *е* и 2, *б*, можно заметить, что изменения в пове-

дении временных рядов Q_{ULWR} и $\hat{\sigma}$ синхронны. Отмеченные особенности служат основанием для вывода о возможности некорректного расчета потоков восходящего длинноволнового излучения системы морская поверхность – атмосфера в метеоцентре *SKIRON*.

Графики величин Q_{ULWR} , приведенные на рис. 2, б, позволяют также сделать вывод о возможно низком качестве данных температуры морской поверхности, используемых в метеоцентре *SKIRON* и отделе ВАО при выполнении атмосферных прогнозов. Об этом свидетельствует ступенчатый характер изменчивости величин Q_{ULWR} , что в особенности характерно для данных ВАО. В соответствии с многочисленными исследованиями внутригодового хода температуры поверхности Черного моря такие ступенчатые особенности не должны иметь места. Кроме того, в данных ВАО наблюдается временное запаздывание изменений Q_{ULWR} по отношению к тому, которое должно наблюдаться на самом деле.

На основе информации о результатах тестирования отдел ВАО при выполнении атмосферных прогнозов в качестве величин температур морской поверхности начал использовать прогностические поля ТПМ, получаемые по данным ЧЦМП. В результате отмеченные проблемы с 2015 г. больше не наблюдаются.

3.2. Контроль потоков коротковолнового восходящего и нисходящего излучения. Контроль потоков нисходящего коротковолнового (прямого и рассеянного) солнечного излучения выполнялся на основе непосредственного сопоставления величин Q_{DSWR} , рассчитанных по данным *SKIRON* и ВАО. Временные ряды величин этих потоков за 2011 – 2014 гг. показаны на рис. 3, а – г. В целом характер изменчивости сопоставляемых временных рядов одинаков для обоих источников данных и соответствует имеющимся теоретическим представлениям о внутригодовой изменчивости потоков солнечной радиации. Наблюдаемые отличия могут быть объяснены различиями алгоритмов расчета облачности и характеристик аэрозоля по моделям [17] и [18]. Аэрозоль оказывает влияние на рассеяние коротковолнового солнечного излучения и, как результат, на потоки этого излучения, падающего на морскую поверхность.

В условиях, когда отсутствует облачность и данные о потоках нисходящей коротковолновой радиации можно считать надежными, контроль достоверности данных о величине альбедо и потоках восходящей коротковолновой радиации может быть выполнен на основе теста *ALB*. Графики временных рядов величин альбедо для безоблачных условий, осредненные по акватории Черного моря и рассчитанные согласно данным *SKIRON* для 2011 – 2014 гг., показаны на рис. 4.

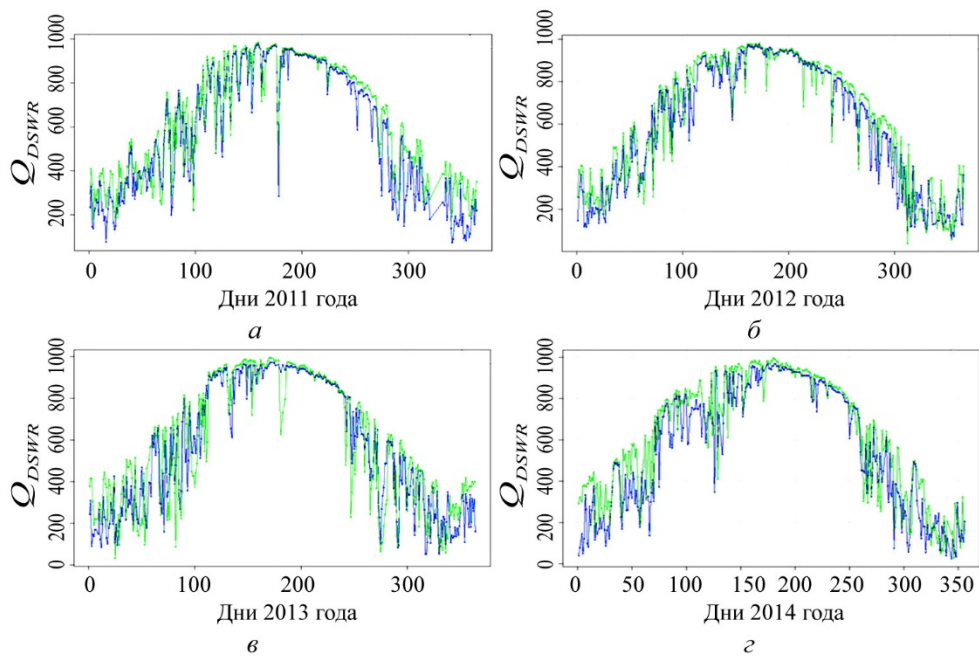


Рис. 3. Временные ряды Q_{DSWR} по форсингу SKIRON и BAO: *a* – Q_{DSWR} по данным за 2011 г., *б* – Q_{DSWR} по данным за 2012 г., *в* – Q_{DSWR} по данным за 2013 г., *г* – Q_{DSWR} по данным за 2014 г.

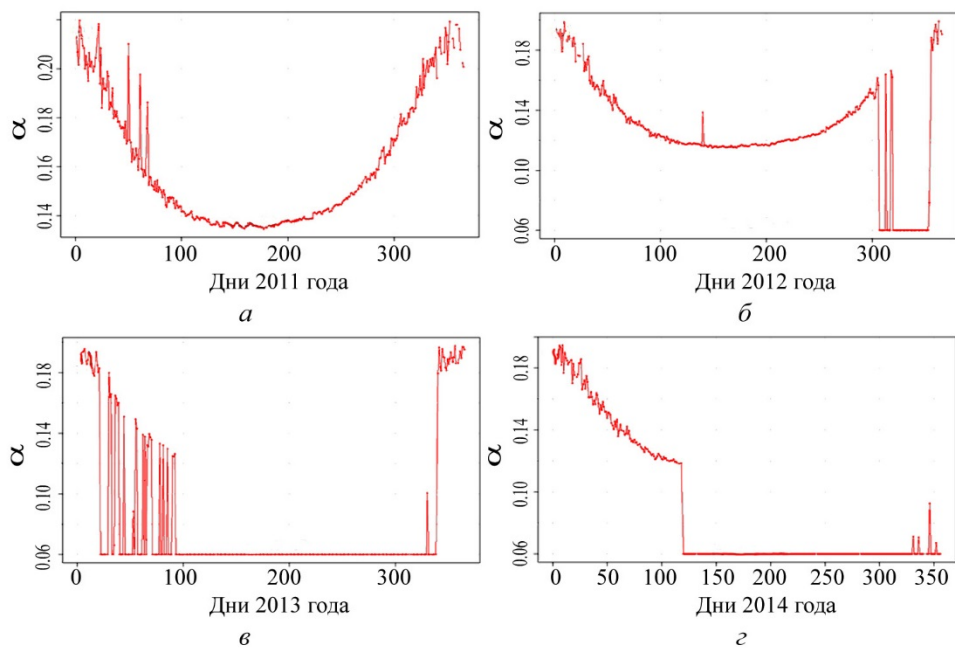


Рис. 4. Контроль корректности расчета Q_{USWR} и Q_{DSWR} , полученных из источника данных SKIRON, по величине альbedo $\alpha = Q_{USWR}/Q_{DSWR}$: *a* – альbedo по данным за 2011 г., *б* – альbedo по данным за 2012 г., *в* – альbedo по данным за 2013 г., *г* – альbedo по данным за 2014 г.

Альbedo зависит от высоты (зенитного угла) Солнца [14] и достигает максимальных значений в местный полдень на 34° в. д. каждого дня года. Ввиду сравнительно небольших размеров Черного моря значения альbedo относительно слабо меняются по пространству. В то же время, в связи с сезонными изменениями высоты Солнца, величина α в местный полдень, примерно соответствующий 9 часам *UTC*, достигает максимальных значений в период зимнего солнцестояния и минимальных – в период летнего. С изменениями сезонов года величина альbedo плавно убывает от максимальных до минимальных значений при переходе от зимы к лету и возрастает при переходе от лета к зиме. Именно такой характер временной изменчивости величины альbedo, рассчитанной по формуле (2), имеет место на графике, представленном на рис. 4, α (исключая выбросы, связанные с неточностью данных об облачности). В то же время для 2012 – 2014 гг. наблюдается совершенно другой, неадекватный физической реальности, временной ход величин альbedo. Здесь отмечаются протяженные отрезки времени, когда после резкого падения альbedo до значения $\alpha \approx 0,06$ оно остается постоянным, примерно соответствующим величинам, используемым в [4, 16]. Эти изменения синхронны с соответствующими особенностями, наблюдаемыми во временных рядах $\hat{\sigma}$ и Q_{ULWR} , рассчитанных на основе использования данных метеоцентра *SKIRON* для 2012, 2013 и 2014 гг. Следовательно, потоки восходящего коротковолнового излучения вблизи морской поверхности, полученные по данным *SKIRON*, также могут быть недостоверными. Кроме того, полученные минимальные величины альbedo в 2011 г. примерно в 1,5 – 2 раза превышают значения, упоминающиеся в литературных источниках [14].

Выводы. Использование предложенной системы тестов и программного обеспечения, разработанного на их основе, позволило обнаружить в данных атмосферного форсинга, предоставляемого метеоцентром *SKIRON* и отделом ВАО, неточности и ошибки, приведшие к снижению достоверности морских диагностических и прогностических расчетов в акватории Черного моря в период с конца 2012 г. по 2014 г. Дальнейшее развитие системы контроля достоверности атмосферного форсинга планируется вести в направлении разработки более сложных тестов контроля потоков коротковолновой радиации и потоков нисходящего длинноволнового излучения атмосферы. На основе полученных результатов разработана специальная программа коррекции потоков восходящего излучения, работа с которой позволяет улучшить точность морских прогнозов с использованием имеющихся данных атмосферного форсинга.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. <http://forecast.uoa.gr>
2. <http://www.vao.hydrophys.org>
3. Papadopoulos A., Katsafados P., Kallos G., et al. The weather forecasting system for Poseidon – an overview // The Global Atmosphere and Ocean System. 2002. – 8, № 2 – 3. – P. 219 – 237.
4. Барабанов В.С., Ефимов В.В., Шокуров М.В. Об использовании мезомасштабной модели для расчета приводного ветра и осадков над Черным морем // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. – Севастополь: НИЦ «ЭКОСИ-Гидрофизика», 2003. – Вып. 7. – С. 177 – 189.

5. Демьшев С.Г. Численная модель оперативного прогноза течений в Черном море // Изв. РАН. Физика атмосферы и океана. – 2012. – 48, № 1. – С. 137 – 149.
6. *Introduction to GRIB Edition 1 and GRIB Edition 2.* – World Meteorological Organization, 2003. – 8 p.
7. <http://www.copernicus.eu/>
8. <http://www.R-project.org/>
9. *Iqbal M.* An Introduction to Solar Radiation. – Orlando: Academic Press, – 1983. – 407 p.
10. *Hulstrom R., Bird R., Riordan C.* Spectral solar irradiance data sets for selected terrestrial conditions // *Solar Cells.* – 15, № 4. – P. 365 – 391.
11. *Freidenreich S.M., Ramaswam V.* A new multiple-band solar radiative parameterization for general circulation models // *J. Geophys. Res.* – 1999. – 104, № D24. – P. 31,389 – 31,409.
12. *Warner John C., Armstrong Brandy, He Ruoying et al.* Development of a Coupled Ocean – Atmosphere – Wave – Sediment Transport (COAWST) Modeling System // *Ocean Model.* 2010. – № 35. – P. 230 – 244.
13. <https://cran.r-project.org/web/packages/insol/index.html>
14. *Кондратьев К.Я., Биненко В. И., Дьяченко Л. Н. и др.* Альbedo и угловые характеристики отражения подстилающей поверхности и облаков. Под редакцией чл.-кор. АН СССР К.Я. Кондратьева. Государственный комитет СССР по гидрометеорологии и контролю окружающей среды, ГГО им. А.Н. Воейкова. – Л.: Гидрометеоиздат, 1981. – 232 с.
15. *Sayer A.* A sea surface reflectance model Suitable for use with AATSR aerosol retrieval. – AOPP Memorandum University of Oxford, 2007. – 31 p.
16. *Large W.G., Yeager S.G.* Diurnal to Decadal Global Forcing For Ocean and Sea-Ice Models: The Data Sets and Flux Climatologies. – NCAR/TN-460+STR NCAR TECHNICAL NOTE. – 2004. – 105 p.
17. *Gurvan Madec and the NEMO team.* NEMO ocean engine. Version 3.6. – France, Institut Pierre-Simon Laplace, 2014. – 382 p.
18. *Lazic L., Telenta B.* Documentation of the UB/NMC (University of Belgrade and National Meteorological Centre, Washington) Eta Model. Tropical Meteorology Research Programme. World Meteorological Organization, Geneva, WMO/TD – No. 366. – 304 p.

Quality control of the atmospheric forcing data in the operational system of the Black Sea marine forecasting center

Yu.B. Ratner, M.V. Ivanchik, A.M. Ivanchik, A.L. Kholod

*Marine Hydrophysical Institute, Russian Academy of Sciences, Sevastopol, Russia
e-mail: yubrat@gmail.com*

Considered are the problems of controlling reliability of the atmospheric forcing data used for setting boundary conditions in the model simulations performed in the Black Sea marine forecasting center (BSMFC) of FSBSI MHI. The first section describes the weather forecasts applied in BSMFC for the atmospheric boundary layer. The methods for controlling the weather forecasts' reliability of the atmosphere boundary layer are considered and the software developed to solve this task is briefly described in the second section. The third section contains the examples of the errors occurring in preparing the weather forecasts' data. The conclusions drawn from the obtained results testify to effectiveness of the system developed to control data reliability; further investigations are planned. It is noted that the results represented in the paper constitutes a basis for developing the software intended to correct the revealed errors.

Keywords: marine forecast, atmospheric forcing, boundary condition, heat flow, evaporation, precipitation, long-wave radiation, short-wave radiation, albedo, Stefan – Boltzmann constant, reliability.