

# Анализ соответствия между результатами автоматизированной оценки максимальной скорости ветра у земли и наземными измерениями

М.В. Бухаров<sup>1</sup>, К.Н. Головлев<sup>2</sup>, Н.С. Миронова<sup>1</sup>, Е.А. Сизенова<sup>1</sup>

<sup>1</sup> ГУ «Научно-исследовательский центр космической гидрометеорологии «Планета»

*E-mail: [bmv@planet.iitp.ru](mailto:bmv@planet.iitp.ru)*

<sup>2</sup> ГУ «Гидрометцентр России»

*E-mail: [golovlev@mecom.ru](mailto:golovlev@mecom.ru)*

Рассмотрена специфика информации о максимальной скорости и направлении приземного ветра, значения которых автоматизированно оцениваются по комплексу прогностической информации и измерениям с геостационарного спутника. Проведен сравнительный анализ соответствия между фактическими данными, рассчитанными текущими и ожидаемыми значениями скорости и направления ветра. Установлено удовлетворительное соответствие между сравниваемыми параметрами на равнинных территориях суши и на морской поверхности. Отмечена практическая полезность новых карт для анализа и прогноза ветровой обстановки на морях и равнинах.

**Ключевые слова:** максимальная скорость ветра, направление ветра, геостационарный спутник, гидродинамическая модель регионального прогноза, верификация.

## Введение

Качество автоматизированной оценки текущих и ожидаемых ветровых условий на морях и суше непосредственно влияет на возможность ее практического использования. Поэтому новые методы оценки максимальной скорости и направления порывов ветра, разработанные в последние годы [1, 2], требуют проведения проверки их соответствия наземным наблюдениям.

Оценка ветра с помощью новых методов основана на совместном учете выходных данных гидродинамической модели регионального прогноза (ГМРП) [3] и измерений радиационной температуры на верхней границе облачности, которые круглосуточно проводятся с геостационарных спутников [1, 2]. Причем, учащенная (поступающая каждые 15 минут) обзорная спутниковая информация используется для распознавания осадков и конвективных процессов в атмосфере с целью учета их влияния на величину максимально возможной скорости ветра у земли. А данные гидродинамической модели регионального прогноза, имеющие ежечасную детальность по времени, позволяют оценивать значения компонент максимальной скорости ветра, которые обусловлены влиянием градиента приземного давления атмосферы и других метеорологических параметров.

Между фактическими и рассчитываемыми параметрами ветра существуют определенные различия, которые следует учитывать при верификации. Поэтому вначале кратко рассмотрим специфику сравниваемых видов информации о ветре.

## Специфика сравниваемых параметров ветра

### *Разный пространственный масштаб параметров ветра*

Верификация проведена для двух типов выпускаемых карт. Карты первого типа содержат оценку текущих значений максимальной скорости ветра, рассчитанных с учетом спутниковой информации на момент съемки со спутника [1]. А карты второго типа, рассчитанные по информации только ГМРП, дают представление о ветровой обстановке, ожидаемой в любой последующий срок с заблаговременностью до 48 часов [2].

Пространственная детальность (размер одного пикселя) карт текущего ветра ограничивается пространственным разрешением съемки с геостационарного спутника Meteosat-9 и составляет  $0.1^\circ$  географической долготы и широты, что соответствует примерно 5-11 км на земной поверхности [1].

Детальность карт значений максимальной скорости ветра у земли и его направления, ожидаемых в последующие сроки, ограничивается шагом сетки, на которой рассчитывается информация ГМРП, и составляет  $0.5^\circ$  географической долготы и широты [2]. Направление приземного ветра рассчитывается по выходным данным только ГМРП [3] и поэтому на обоих типах карт имеет пространственную детальность принятого шага сетки, т.е.  $0.5^\circ$ .

Фактические значения максимальной скорости ветра и его направления взяты из базы данных наземной метеорологической сети и являются пространственно локальной характеристикой ветра.

### ***Ограничения по пространственной изменчивости рельефа места***

Известно, что кроме большого количества метеорологических параметров, на измеряемую скорость ветра у поверхности земли существенное влияние оказывает такая характеристика рельефа местности, как пространственная изменчивость его высоты. Принятый пространственный масштаб прогностической информации, используемой для оценки параметров ветра, приводит к тому, что для сравнения можно отбирать значения только тех фактических измерений скорости и направления ветра, которые получены в районах с относительно ровным рельефом. Этому условию удовлетворяет морская поверхность, низкое и мало изрезанное побережье, а также равнинные районы на территории суши. Поэтому все представленные далее результаты верификации относятся только к таким районам.

### ***Несинхронность времени регистрации и оценки скорости ветра***

При наземных измерениях в качестве максимального значения скорости ветра ( $V_{\max}$ ) принимается наибольшее значение, наблюдавшееся в десятиминутный период измерения средней скорости ветра ( $V_{10}$ ) на высоте 10 м. Измерения средней скорости ветра начинаются за 15 минут и заканчиваются за 5 минут до стандартного синоптического срока [4].

Выбираемые для анализа результаты съемки европейской территории России с геостационарного спутника Meteosat-9 (аналогичного Meteosat-8) соответствуют интервалу времени от 5 до 2,5 минут перед стандартным синоптическим сроком. Это связано с тем, что съемка со спутника Meteosat-9 начинается за 15 минут перед синоптическим сроком и проводится последовательно в направлении от южного полюса земного шара к северному [5]. Поэтому территория, расположенная выше  $40^\circ$  северной широты, просматривается со спутника уже после наземной регистрации  $V_{\max}$ .

Среднее направление ветра, визуально оцениваемое в течение двух минут наблюдения сразу после регистрации  $V_{10}$  и  $V_{\max}$ , считается устойчивым, если его вариации не превышают  $\pm 22,5^\circ$  [4].

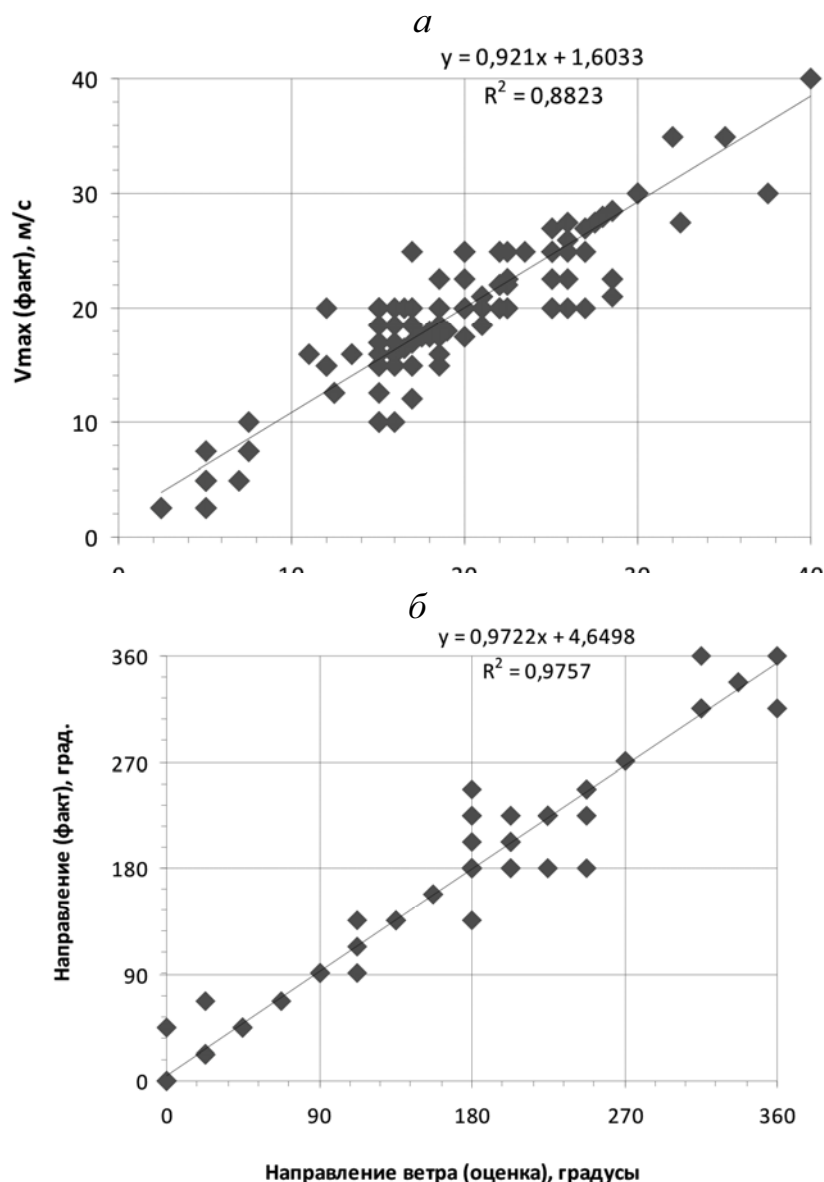
Учитывая отмеченную специфику сравниваемых параметров ветра, перейдем к рассмотрению полученных результатов.

## **Результаты верификации**

Для сравнения использованы результаты измерений направления и максимальной скорости ветра на акваториях Атлантического океана и прибрежных морей Европы, а также на равнинах европейской территории России, проведенных в стандартные синоптические сроки в период с января по апрель 2008 г. При этом выбирались районы, которые охватываются съемкой с геостационарного спутника Meteosat-9.

### ***Качество карт текущей ветровой обстановки***

Типичный пример соответствия между фактическими и рассчитанными значениями максимальной скорости и направления ветра у земли представлен на рис. 1. В данном случае при вычислениях использованы результаты измерений со спутника Meteosat-9, проведенных в 00 ч ВСВ в период с 15 января по 29 февраля 2008 г., и синхронная информация ГМРП, имевшая заблаговременность 24 ч.



*Рис. 1. Пример соответствия между фактическими (факт) и рассчитанными (оценка) значениями максимальной скорости (а) и направления (б) ветра у земли.  
При сравнении использованы данные за период с 15 января по 29 февраля 2008 г.  
 $R^2$  – показатель достоверности линейной аппроксимации*

Из данных, приведенных на рис. 1, видно, что удовлетворительное соответствие между сравниваемыми значениями максимальной скорости ветра и его направления наблюдается в широком диапазоне их изменения (от 2 до 40 м/с и от 0 до 360° соответственно).

Коэффициент корреляции ( $R$ ) между рассчитанными и фактическими значениями углов, соответствующих направлению ветра, оказался достаточно высоким ( $R \approx 0,99$ ) и несколько больше, чем для значений максимальной скорости ( $R \approx 0,94$ ). Среднеквадратическое отклонение (СКО) между фактическими и рассчитанными значениями  $V_{max}$  и направления ветра, составило примерно 2,2 м/с и 13,7° соответственно.

Полученные статистические оценки не противоречат результатам работ [1, 2] и свидетельствуют о том, что новые карты могут оказаться полезными при анализе текущей ветровой обстановки на акваториях морей и на равнинных районах суши.

### Качество карт ожидаемой ветровой обстановки

Для анализа качества карт ожидаемой ветровой обстановки, оцениваемой по выходным данным только ГМРП, рассмотрим, как изменяются значения коэффициента корреляции и СКО рассчитываемых величин  $V_{\max}$  и направления ветра по мере увеличения заблаговременности используемой прогностической информации ГМРП. С этой целью в разные периоды на каждый стандартный срок синоптических наблюдений были построены графики, аналогичные рис. 1. Для построения использовались выходные данные ГМРП, имевшие заблаговременность 0, 6, 12, 18, 24, 30, 36, 42 и 48 ч.

Отметим, что под заблаговременностью прогноза принято понимать промежуток времени от срока измерения фактических значений метеорологических параметров, используемых в численной модели в качестве исходных данных, до момента времени, на который рассчитываются выходные данные ГМРП [3]. Поэтому заблаговременность 0 ч соответствует случаю, когда значения  $V_{\max}$  и направления ветра рассчитываются по результатам объективного анализа фактических измерений метеорологических параметров.

На рис. 2 и рис. 3 представлены типичные зависимости статистических показателей, рассчитанные для разных периодов наблюдения и разной заблаговременности используемых выходных данных ГМРП.

Как видно из графиков рис. 2, при увеличении заблаговременности выходных данных ГМРП от 0 до 30 ч наблюдается сначала небольшой рост величины коэффициента корреляции между фактическими и рассчитываемыми значениями максимальной скорости (рис. 2а) и направления (рис. 2в) ветра, а затем его монотонное убывание. При этом величина коэффициента корреляции для направления ветра ( $R \approx 0.996-0.988$ ) оказалась несколько больше, чем для значения  $V_{\max}$  ( $R \approx 0.95-0.88$ ).

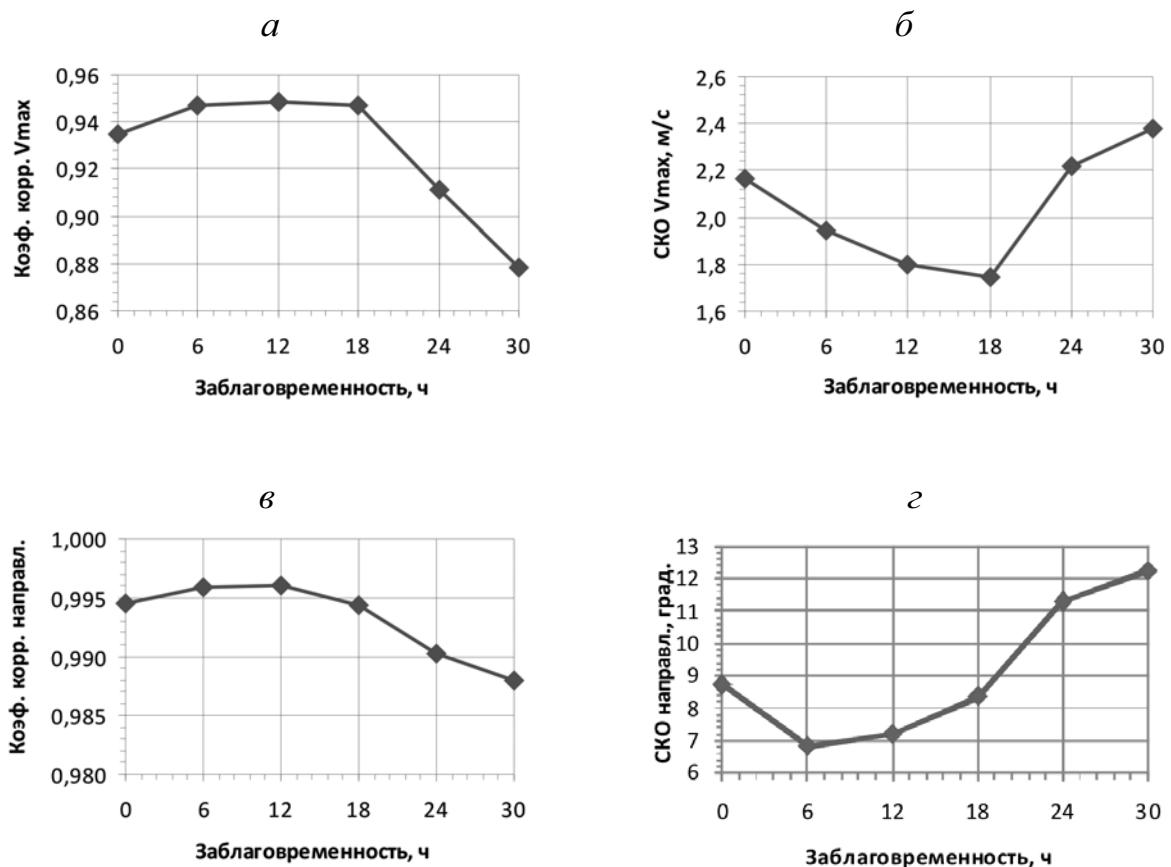


Рис. 2. Графики изменения величины коэффициента корреляции (а, в) и среднеквадратического отклонения (б, г) между фактическими значениями и прогностическими оценками максимальной скорости (а, б) и направления (в, г) ветра у земли при заблаговременности данных ГМРП от 0 до 30 ч. Значения рассчитаны по данным за период с 19 марта по 2 апреля 2008 г.

Противоположным образом ведут себя значения СКО для  $V_{\max}$  и направления ветра, которые при увеличении заблаговременности выходных данных ГМРП сначала убывают (рис. 2б и рис. 2г), а затем монотонно увеличиваются. При этом диапазон изменения значений СКО для  $V_{\max}$  и направления ветра составил примерно 1,8-2,4 м/с и 7-12° соответственно.

Несколько худшие значения коэффициентов корреляции и СКО при заблаговременности 0 ч (рис. 2) свидетельствуют о том, что расчет значений  $V_{\max}$  и направления ветра по фактическим полям давления, интерполированным в процессе объективного анализа, оказывается менее точным, чем аналогичные вычисления, проводимые по выходным данным ГМРП, рассчитанным на 6 и 12 ч вперед.

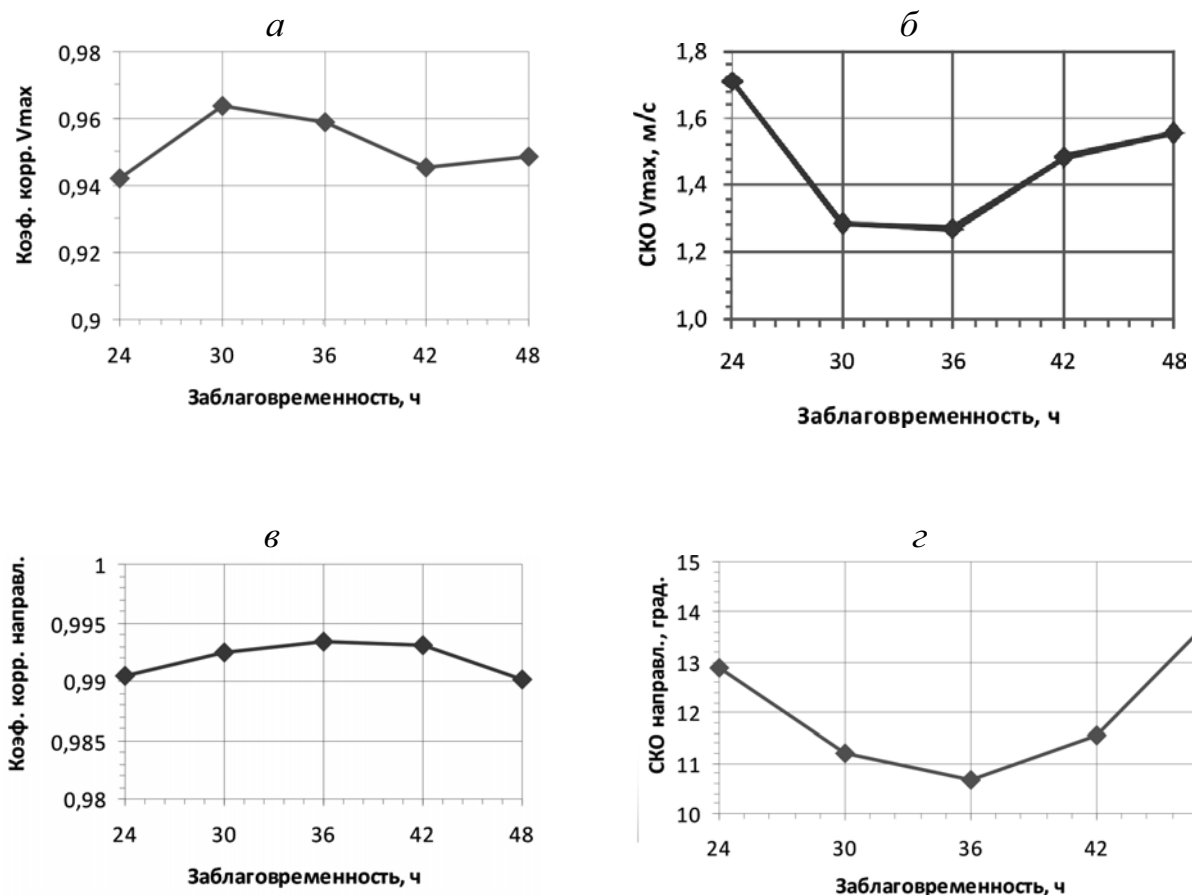


Рис. 3. Графики изменения величины коэффициента корреляции (а, в) и среднеквадратического отклонения (б, г) между фактическими значениями и прогностическими оценками максимальной скорости (а, б) и направления (в, г) ветра у земли при заблаговременности данных ГМРП от 24 до 48 ч. Значения рассчитаны по данным за период с 6 по 21 апреля 2008 г.

Графики рис. 3, построенные в другой период при заблаговременности выходных данных ГМРП от 24 до 48 ч (исходный срок прогноза 0 ч ВСВ предшествующих суток), оказались по форме подобными данным, представленным на рис. 2. При этом на рис. 3 существуют аналогичные интервалы заблаговременности, в которые наблюдается некоторый рост коэффициентов корреляции (от 0,94 до 0,96 и от 0,990 до 0,993) для  $V_{\max}$  и направления ветра и уменьшение их СКО (от 1,7 до 1,3 м/с и от 13 до 11°).

Одной из возможных причин выявленного улучшения статистических показателей при заблаговременности, близкой к 36 ч, может являться повышение точности выходных данных ГМРП в дневное время суток по сравнению с ночным, что прослеживается и на графиках рис. 2. Несколько худшие показатели рис. 2 при заблаговременности 24 и 30 ч получены на выходных данных ГМРП, рассчитанных от исходного срока 12 ч ВСВ.

В целом, статистические показатели корреляции и СКО значений  $V_{max}$  и направления ветра, рассчитанные с заблаговременностью от 24 до 48 ч, оказались достаточно высокими, относительно устойчивыми и близки к показателям, полученным при заблаговременности от 0 до 30 ч.

Таким образом, полученные результаты показали, что в большинстве случаев рассчитываемые значения максимальной скорости (от 2 до 40 м/с) и направления текущего и ожидаемого (с заблаговременностью до 48 ч) ветра удовлетворительно согласуются с фактическими измерениями. При этом значения коэффициентов корреляции для  $V_{max}$  и направления ветра оказались близки к 0,94 и 0,99, а среднеквадратические отклонения рассчитываемых параметров не превысили 2,4 м/с и 14° соответственно.

Несмотря на то, что выпуск рассмотренных карт [1, 2] освоен впервые в мировой практике, полученные в настоящей работе статистические показатели точности оценки параметров ветра свидетельствуют о перспективности практического использования таких карт для анализа и прогноза ветровой обстановки на морях и равнинах.

### Литература

1. Бухаров М.В., Лосев В.М., Песков Б.Е. Автоматизированная оценка максимальной скорости порывов ветра у земли с учетом информации геостационарного спутника // Метеорология и гидрология, 2008. № 12. С. 5-14.
2. Бухаров М.В., Лосев В.М., Бухаров В.М., Миронова Н.С., Сизенова Е.А. Анализ ветровых условий по комплексу учащенных прогностических и спутниковых данных в период наводнения в Санкт-Петербурге 3 февраля 2008 г. // Метеорология и гидрология, 2009 (в печати).
3. Лосев В.М. Гидродинамическая конечно-разностная модель регионального прогноза на ЭВМ CRAY // Труды Гидрометцентра России, 2000. Вып. 334. С. 69-90.
4. Наставление гидрометеорологическим станциям и постам. Выпуск 3. Часть 1. Л.: Гидрометеиздат, 1969. 306 с.
5. Бухаров М.В., Миронова Н.С., Ущико И.Г. Методические вопросы верификации результатов автоматизированного распознавания осадков и гроз по информации с геостационарных спутников // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса: Физические основы, методы и технологии мониторинга окружающей среды, потенциально опасных объектов и явлений. Сб. научных статей. М.: ООО «Азбука-2000», 2007. Выпуск 4. Т. II. С. 40-45.

### Verification of automated evaluation of a maximum wind velocity

M.V. Bukharov<sup>1</sup>, K.N. Golovlev<sup>2</sup>, N.S. Mironova<sup>1</sup>, E.A. Sizenova<sup>1</sup>

<sup>1</sup> State Research Centre on Space Hydrometeorology "PLANETA"

<sup>2</sup> Hydrometeorological Centre of Russia

The new concept of monitoring of a maximum wind velocity of bursts based on the numerical hydrodynamic prognosis and the geostationary satellite measurements of cloud top radiation temperature is considered. The consistency between the measurements of the maximum surface wind velocity and results of its automated evaluation is shown. The method restrictions are shown. The practical usefulness of new maps for the analysis of the sea and flatness wind is marked.

**Keywords:** the maximum wind velocity, wind direction, the geostationary satellite, the numerical hydrodynamic prognosis, verification.