ОБ ИСПОЛЬЗОВАНИИ СРОЧНЫХ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ДАННЫХ ДЛЯ СИНОПТИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА СМЕЩЕНИЙ КЛИМАТИЧЕСКИХ ФРОНТОВ ЮЖНОГО ОКЕАНА

В.В. Ионов, Г.Г. Аршакян

Санкт-Петербургский государственный университет, г. Санкт-Петербург
victor@vi3787.spb.edu, k11rassar@gmail.com

Аннотация. Фундаментальная особенность гидрологии вод Южного океана – множественность фронтальных разделов поверхностных водных масс. Главные из этих гидрологических фронтов формируют крупнейшее по расходу течение планеты – Антарктическое циркумполярное течение (АЦТ). Методология синоптического мониторинга поверхностных термических фронтов Южного океана основана на попутных измерениях во время сезонных морских операций снабжения российских антарктических станций. Для этого используются непрерывные наблюдения за текущими изменениями горизонтальных градиентов температуры поверхностного слоя моря (ТПСМ) *in situ*. Эти данные, получаемые во время регулярных меридиональных плаваний научно-экспедиционных судов Российской антарктической экспедиции (РАЭ) через Южный океан между Африкой и Антарктидой, позволяют судить о наличии (или отсутствии) тенденций в межгодовых широтных смещениях основных фронтов Южного океана, как свидетельств проявлений глобального потепления в поверхностном слое вод. Полученные ранее результаты десяти лет мониторинга местоположения термических фронтов на поверхности океана в начале астрального лета (декабрь) каждого из 2007–2016 гг. (53–62 РАЭ) свидетельствуют о совместных широтных смещениях основных климатических фронтов на поверхности Южного океана. Сведения о широтных сдвигах основных поверхностных термических фронтов за многолетний промежуток времени могут служить индикатором климатических изменений циркуляции вод Южного океана. В этой связи возникает вопрос: для удлинения десятилетнего временного ряда широтных положений основных поверхностных термических фронтов назад, до начала использования непрерывных наблюдений за ТПСМ в 53 РАЭ (2007 г.), нельзя ли за неимением непрерывных, использовать срочные (каждые три часа) данные из архивов стандартных гидрометеорологических наблюдений ТГМ-15.

Ключевые слова: температура поверхностного слоя моря; мониторинг основных поверхностных фронтов Южного океана.

Введение. Основное направление исследований в Антарктике, выполненных сотрудниками кафедры океанологии СПбГУ под руководством и при участии авторов статьи в составе сезонных 53–55; 57, 58, 60 и 62-й РАЭ в 2007–2016 гг. – получение новых сведений о наличии (или отсутствии) изменений широтного местоположения основных фронтов Южного океана, как свидетельств проявлений глобального потепления в поверхностном слое вод Мирового океана. Речь идет об основных климатических фронтах Южного океана с севера на юг: Субтропический Фронт (СТФ), Субантарктический Фронт (САФ), Полярный фронт/Антарктическая конвергенция (ПФ/АК).

Информация о широтных смещениях местоположения основных поверхностных климатических фронтов в начале (декабрь) астрального лета каждого года может служить индикатором климатических изменений циркуляции вод Южного океана за многолетний промежуток времени. Данные ежеминутных, точно географически привязанных, попутных измерений ТПСМ дают возможность изучать местоположение и пространственную структуру поверхностных

фронтов, рассчитывая горизонтальные градиенты ТПСМ, существенно детальнее, чем это позволяли измерения на гидрологических станциях прежде [1].

Материалы исследования. В период сезонных 53 и 54 РАЭ были получены непрерывные (дискретностью в 1 минуту) данные о температуре поверхностного слоя моря (ТПСМ), температуре воздуха и атмосферном давлении, с указанием даты и времени, тогда без их текущей географической привязки (файл MILOS). Однако, имеется архив ТГМ-15, где указаны даты, сроки (время) наблюдений, а также их географические координаты – широта и долгота. Зная точную дату и время наблюдений как по непрерывным, так и по срочным данным, можно использовать координаты из ТГМ-15 для географической привязки непрерывных данных. Это позволило дополнить временной ряд данными 53 и 54 РАЭ до 10-ти летнего [2].

Определение местоположения термического фронта по ТПСМ.

1. Визуальный способ. Началом выявления феноменологических признаков термических фронтов

является визуальный анализ графиков горизонтального изменения ТПСМ (термограмм). Фронты выделяются по резким, скачкообразным изменениям ТПСМ вдоль некоего меридиана. Недостатком этого метода является его определённая субъективность, в особенности, при рассмотрении очень подробных записей термографом областей немонотонных изменений температуры.

2. Анализ горизонтальных градиентов ТПСМ.

Расчёт и анализ графиков пространственного распределения градиентов ТПСМ представляют собой более объективный метод выделения термических фронтов. Повышенные значения горизонтальных градиентов ТПСМ по сравнению со среднеклиматическими значениями для конкретного района Мирового океана являются индикатором поверхностных фронтов.

3. Метод гистограмм. Применяется при анализе графиков горизонтального изменения ТПСМ, где постепенно происходит переход от тёплых вод к холодным, и наоборот. К числу таковых относят-

ся основные пересечения (разрезы) Южного океана в меридиональном направлении (к примеру, п. Кейптаун – Антарктида). Как правило, подобные гистограммы являются многомодальными. Моды соответствуют наиболее часто регистрируемым значениям ТПСМ. Диапазоны значений ТПСМ с наименьшей частотой регистрации соответствуют температуре зоны фронта на поверхности океана. Чем ярче выражен поверхностный термический фронт, тем меньшее число измерений температур попадает в межмодовый диапазон гистограммы. Зная интервал температур с наименьшей частотой повторяемости, можно уточнять местоположение соответствующего фронта на термограмме ТПСМ.

При визуальном анализе характера изменения с широтой основных гидрометеорологических характеристик нельзя не обратить внимание на места их слияния/взаимопересечения, которые зачастую совпадают с положением какого-либо из основных климатических фронтов на поверхности Южного океана, рис. 1.

Рис. 1. Характер изменения с широтой непрерывных данных из файла *MILOS* о ТПСМ (красным), температуре воздуха (синим) и атмосферном давлении (зелёным) после их географической привязки к широте (южной) места наблюдения на разрезе п. Кейптаун – ст. Молодёжная

С целью продления временного ряда ежегодных положений основных поверхностных термических фронтов от начала непрерывных наблюдений за ТПСМ в 53 РАЭ в прошлое, исследовалась перспективная возможность использовать срочные гидрометеорологические данные на годы до 2007 г. из ТГМ-15.

Для определения положения фронтов по срочным данным использовался только визуальный способ анализа термограмм ТПСМ. Применять метод гистограмм и анализ горизонтальных градиентов ТПСМ из-за существенно меньшего, по сравнению с непрерывными, количества срочных наблюдений

не представляется возможным. В методе гистограмм очень важно количество наблюдений для отчётливо-го выявления на гистограмме модальных зон, которые соответствуют наиболее часто регистрируемым значениям ТПСМ. Анализ горизонтальных градиен-

тов температуры эффективен при изменениях значений ТПСМ на расстояниях, до 1 км, в то время как за 3 часа между метео-сроками судно проходит около 40 морских миль. Высокая степень сглаживания термограммы по срочным данным видна на рис. 2.

Рис. 2. Изменения с широтой срочных(красным) и непрерывных(синим) данных о ТПСМ на разрезе п. Кейптаун – ст. Молодёжная, 53 РАЭ, 07.12.07–12.12.07

О соответствии определений положения фронтов по срочным данным в сравнении с тем, что дают непрерывные (контрольные) данные можно судить по рис. 3.

На рис. 3 прерывистые линии проходят через «предсказанные» положения на широте соответствующих фронтов, за которые принимались упомянутые выше географические широты слияния/взаимопересечения кривых основных гидрометеорологических характеристик, когда чрезмерная сглаженность термограмм по срочным данным полностью скрывает положения соответствующих фронтов на термограмме.

Результаты и заключение. В итоге, на графике временного хода СТФ совпадение непрерывных и срочных данных наблюдается лишь частично, с 2012 по 2015 гг. (4 из 10). На графике временного

хода САФ непрерывные и срочные данные почти совпадают с 2007 по 2010 и с 2012 по 2014 гг., кроме трёх случаев: двух «предсказанных» (2011 и 2016 г.) и одного вновь выявленного по срочным данным (2015 г.) (7 из 10). На графике для Полярного фронта, временные ряды по срочным данным и ряды по непрерывным почти полностью (за исключением 2008 г.) не совпадают (1 из 9).

Следовательно, использование, взамен непрерывных, срочных данных для определения местоположений климатических фронтов на поверхности Южного океана и, таким образом, продление длительности временного ряда их положений назад, в прошлое, к сожалению, не представляется возможным. Нужно удлинять временной ряд вперед, продолжая натурные наблюдения за ТПСМ в регулярных морских плаваниях судов РАЭ.

Рис. 3. Временной ход положений СТФ, САФ и ПФ по непрерывным [2] (красным) и срочным (синим) данным за период 2007–2016 г., декабрь

Список литературы

1. Ионов В.В. 2015. Синоптический мониторинг поверхностных термических фронтов Южного океана. Труды ВНИРО, том 157. С. 143–150.
2. Ионов В.В. 2017. Первые результаты 10 лет синоптического мониторинга климатических термических фронтов на поверхности Южного океана. Экология. Экономика. Информатика. Серия: Системный анализ и моделирование экономических и экологических систем. Т. 1. № 2. С. 243–247.

ON THE USE OF DISCRETE HYDROMETEOROLOGICAL DATA FOR SYNOPTIC MONITORING OF SHIFTS OF CLIMATIC FRONTS IN THE SOUTHERN OCEAN

V.V. Ionov, G.G. Arshakian

Saint Petersburg State University

victor@vi3787.spb.edu, k11rassar@gmail.com

Abstract. The hydrology of the annular Southern Ocean is characterized by several oceanic fronts that together form the largest Antarctic Circumpolar Current. The methodology of synoptical monitoring of fronts is based on observations during the seasonal maritime operations for supply of Russian Antarctic stations. It happens by use of continuous registrations of temperature of sea surface layer (SSLT) in situ. This makes possible more detailed definition of the horizontal gradients of thermic characteristics and latitudinal location of the fronts. It can be done by means of underway data of SSLT from vessel's automatic meteorological station, with simultaneous GPS-registration of their spatial location. Such data obtained during regular sub-meridional voyages of research-supply vessels between Africa and Antarctica, helps more confident than before to judge about presence/absence of trends in inter-annual changes in the latitudinal location of the main fronts in the Southern Ocean. Such a trends can be considered as an evidence of substantial change of water circulation, and as the manifestations of global warming of the sea surface layer. Within Indian sector of the Southern Ocean during 2007-2016 was registered a trend in annual shifts of seasonal positions of climatic fronts to the South. It opens a question: for lengthening of a 10 years temporary number of the latitudes positions of the main surface thermic fronts back in the time, prior to use of continuous observations of SSLT in 2007, whether it is possible, for the lack of continuous registration, to use discrete data from archives of standard hydrometeorological observations TGM-15.

Keywords: in situ registrations; Southern Ocean thermic surface fronts; temporal variability.

References

1. Ionov V.V. 2015. "Synoptical monitoring of thermic fronts on the sea surface of the Southern Ocean." Trudy VNIRO. Vol. 157, pp. 143–150. (In Russian).
2. Ionov V.V. 2017 First results of 10 years of synoptical monitoring of climatic thermic fronts on the sea surface of the Southern Ocean. Ecology. Economy. Informatics. Volume 1. System analysis and mathematical modeling of ecological and economic systems. Rostov on Don: Southern Scientific Center of RAS Publishers, pp.243–247.