

# Глобальный тропический циклогенез и поля поверхностной температуры океана: проблемы спутникового мониторинга

Е.А. Шарков, И.В. Покровская

*Институт космических исследований РАН  
117997 Москва, Профсоюзная, 84/32  
E-mail: [easharkov@iki.rssi.ru](mailto:easharkov@iki.rssi.ru)*

На основе анализа результатов дистанционных и гидрометеорологических наблюдений за 1999–2003 гг. показано, что основной характерной структурной особенностью циклогенеза первичных и развитых (тропических циклонов) форм тропических возмущений, возникших в акваториях Мирового океана, является отсутствие жесткой границы при их формировании в поле поверхностной температуры океана, рассматриваемой как среднемесячная многолетней, так и средней трехмесячной каждого конкретного анализируемого года. Работа поддержана в рамках проекта РФФИ № 06-05-64276-а.

## Введение

За последние годы в проблеме дистанционного зондирования Земли формируется своеобразное направление, цель которого заключается в детальном исследовании параметров окружающей геофизической среды по отношению к различным временным фазам эволюции природных катастроф [1–8]. И, в первую очередь, это относится к природным атмосферным катастрофам, таким как тропические циклоны (ТЦ), воздействие которых приводит к значительным материальным ущербам [1].

Дистанционное изучение первичных форм ТЦ и окружающей их геофизической среды занимает особое место в программах дистанционного мониторинга тропических возмущений. В первую очередь, надо отметить задачи прогнозирования возникновения первичных форм возмущения и последующего перехода индивидуального первичного тропического возмущения в развитую форму ТЦ, а также детального дистанционного исследования структурных, динамических и термодинамических особенностей тропического возмущения непосредственно в момент образования зрелой формы ТЦ.

Однако попытки дистанционного исследования первичных форм тропических возмущений сталкиваются с целым рядом трудностей, и, в первую очередь, отсутствием общепризнанной физической модели этого сложного геофизического явления и соответственно необходимых геофизических параметров, подлежащих измерению. Несмотря на значительные усилия исследователей по наблюдению и регистрации отдельных (и фрагментарных) оптических и ИК-изображений тропических вихревых возмущений в различных фазах (см., например, [2, 3, 9]), окончательных дистанционных критериев «близости» геофизической среды к генерации индивидуального тропического возмущения и к кризисному моменту перехода в развитую форму пока не существует.

С другой стороны, уже достаточно давно [10] сложилось представление о наборе так называемых «необходимых» (и в значительной степени феноменологических) геофизических параметров, при которых должна происходить генерация мезомасштабных вихревых устойчивых систем в тропической атмосфере (в климатологическом аспекте). Этот набор считается своего рода классическим и является не переменным атрибутом большинства изданий, касающихся обсуждения вопросов генерации тропических циклонов (см. например, [11–13]). Одним из главных пунктов этого набора (и его часто называют «первым необходимым условием для возникновения тайфунов» [12, 14–16]) является высокие значения поверхностной температуры, превышающие (обязательно) 26 °С (26,3–26,8 °С) (так называемая критическая температура или температура «отсечки» (*cutoff*)) при глубоком верхнем квазиоднородном слое океана (глубоком термоклине). Однако следует сказать, что при этом каких-либо серьезных экспериментально-

обоснованных доказательств авторы не приводят, ссылаясь на теоретическое указание Палмена, сделанное в 1948 г. и воспроизведенное в 1969 г. [13]<sup>1</sup>. Кроме того, авторы, как правило, не поясняют, какое температурное поле они имеют ввиду: измеренное стандартными океанологическими методами на глубине 1–2 м или дистанционными (ИК-тепловыми и микроволновыми) методами — так называемую температуру скин-слоя. Вопросы о количественном значении температуры «резкой отсечки» (*sharp cutoff*) и о физических причинах появления критической температуры дискутируется на самых различных уровнях — начиная от научных литературы и кончая научно-популярными публикациями и Интернет-сайтами, предназначенными для широкой публики (см., например, [http://www.newmediastudio.org/DataDiscovery/Hurr\\_ED\\_Center/Hurr\\_Structure\\_Energetics/SST/SST.html](http://www.newmediastudio.org/DataDiscovery/Hurr_ED_Center/Hurr_Structure_Energetics/SST/SST.html)).

Существует и другая точка зрения. Так, ряд авторов [17] называет подобное представление «заблуждением» (*fallacy*), при этом, однако, в свою очередь, также не представляя соответствующих строгих экспериментальных доказательств. Разумеется, этот вопрос достаточно сложный, поскольку необходимо корректно учитывать пространственно-временную изменчивость двух стохастических процессов — поля поверхностной температуры и глобального тропического циклогенеза, которые обладают существенно различной временной вариабельностью [5, 18]. Кроме того, отметим, что теоретики оперируют абстрактной температурой, которую достаточно сложно привязать к наблюдаемым дистанционно или получаемым из натурных измерений температурных полей.

Указанная проблема (поиск «критической» температуры), разумеется, достаточно актуальна (особенно в свете активизации атлантического циклогенеза в 2004–2005 гг.), поскольку при доказательстве наличия «резкой отсечки» в поле поверхностной температуры возможно создание своего рода автоматических дистанционных обнаружителей, которые могли бы существенно упростить решения проблем предсказуемости кризисных ситуаций.

Цель настоящей работы — на основе сопоставления пространственно-временных полей генерации начальных форм и циклогенеза непосредственно ТЦ в поле поверхностной температуры, определенных при помощи стандартных океанологических измерений с борта судна (*in situ* — на глубине 1–2 м) и по дистанционным космическим данным (поле температуры в поверхностном скин-слое) по циклообразующим акваториям двух полушарий Земли за 1999–2003 гг., представить экспериментальные результаты (выраженные в детальных гистограммах), указывающие на наличие достаточно широкого диапазона поверхностных температур, при которых происходят процессы генерации первичных форм и их дальнейшей трансформации в развитый ТЦ и отсутствие «критической» (пороговой) температуры.

### **Данные наблюдений и методика их обработки**

Исходные данные за 1999–2003 гг. по глобальному циклогенезу первичных и развитых форм ТЦ были заимствованы из систематизированной базы данных (БД) дистанционных наблюдений глобального тропического циклогенеза «Глобал-ТЦ», сформированной и развитой в ИКИ РАН с учетом сценарного принципа усвоения спутниковых и наземных данных [19–21]. База данных первичных форм тропических возмущений по всем акваториям Мирового океана за 1999–2003 гг. была сформирована на вычислительной платформе БД «Глобал-ТЦ» при помощи объектового анализа (препроцессинга) (см. более детально в [20]), систематизации и архивации первичной информации по состоянию тропической зоны, регулярно (ежесуточно) получаемой в течение всего периода наблюдения по Интернету.

Исходные данные за 1999–2003 гг. по пространственно-временным характеристикам поверхностной температуры Мирового океана были определены двумя принципиально различными методами и из

---

<sup>1</sup> Отметим, что авторы работы [15] приводят, ссылаясь на этого же автора, совсем иную критическую температуру — 27,8 °С.

принципиально различных литературных и интернетовских источников. Первый метод базировался на использовании данных, полученных при помощи стандартных океанологических измерений с борта научно-исследовательских кораблей (*in situ* — на глубине 1–2 м). При этом полученные пространственные поля температуры океана формировались как среднемесячные многолетние. Данные были заимствованы из известных атласов океанов [22], изданных в СССР в 1977 г. Второй метод базировался на использовании данных, полученных по дистанционным ИК-тепловым данным (поле температуры в поверхностном скин-слое порядка 10 мкм). При этом полученные пространственные поля температуры океана формировались при трехмесячном усреднении каждого конкретного наблюдаемого года. Данные были заимствованы из Интернет-сайта NOAA-CIRES Climate Diagnostics Center (США) <http://www.cdc.noaa.gov/forecast1/histfrstatlcl.html>.

Сопоставление этих двух видов информации производилось в соответствии пространственно-временными особенностями полей температуры. Так, в первом методе временные выборки моментов генезиса первичных и зрелых форм возмущений соответствовали среднемесячному многолетнему значению поля температуры с последующей географической привязкой мест генезиса к конкретному месяцу года за полный срок наблюдения с 1999 по 2003 г. Во втором методе временные выборки моментов генезиса первичных и зрелых форм соответствовали среднему трехмесячному значению поля температуры за конкретный год с последующей географической привязкой мест генезиса к конкретному месяцу и году. Таким образом, представленные два вида методик сопоставлений полей температуры и генезиса форм ТЦ принципиально различны между собой и следовало бы предположить и существенное различие в получаемых результатах. Однако, как будет видно из последующего анализа, это не так.

### Результаты статистической обработки

Результаты статистической обработки представлены в виде гистограмм распределений температур поверхности океана (ТПО) в момент генезиса начальных (ТВ) форм и перехода их в развитие (ТШ) формы тропических циклонов в акваториях Мирового океана (глобальный циклогенез), в акваториях циклогенеза Северного полушария и в акваториях циклогенеза Южного полушария (циклогенезы полушарий) за 1999–2003 гг. На рис. 1 под ТПО понимается многолетняя среднемесячная температура, тогда как на рис. 2 под ТПО понимается температура трехмесячного усреднения конкретного года.

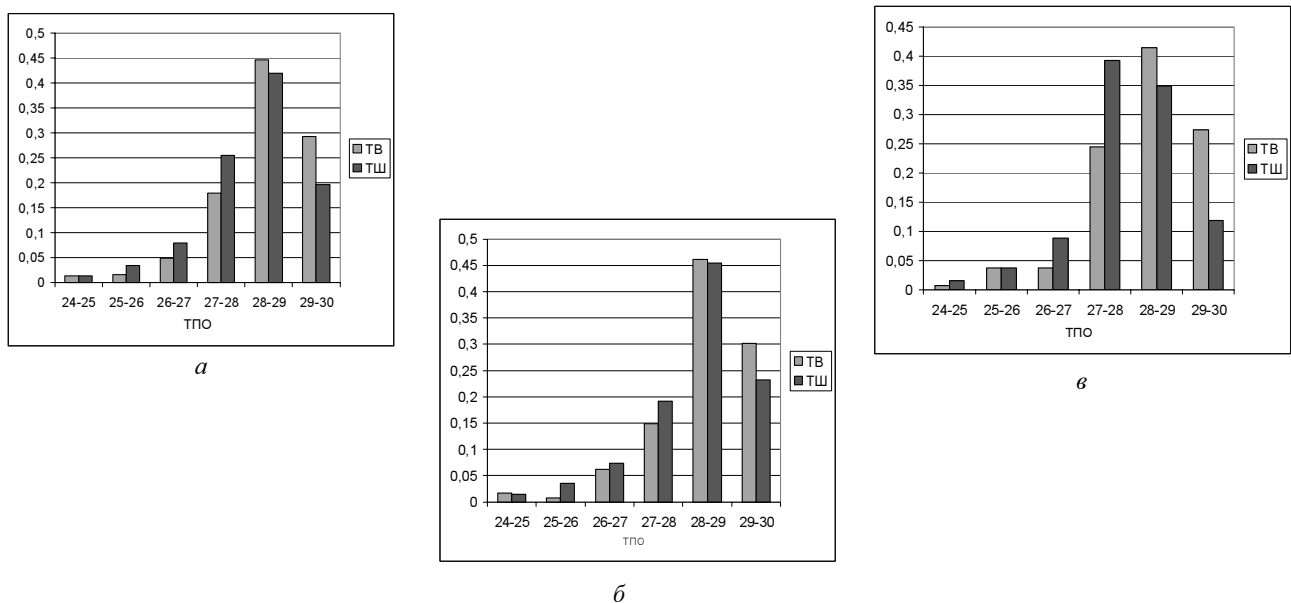


Рис. 1. Гистограмма распределений температур поверхности океана (ТПО) в момент генезиса начальных (ТВ) форм и перехода их в зрелые (ТШ) формы тропических циклонов в акваториях Мирового океана (а), в акваториях Северного (б) и Южного (в) полушарий за 1999–2003 гг. (ТПО — многолетняя среднемесячная температура в год наблюдения)

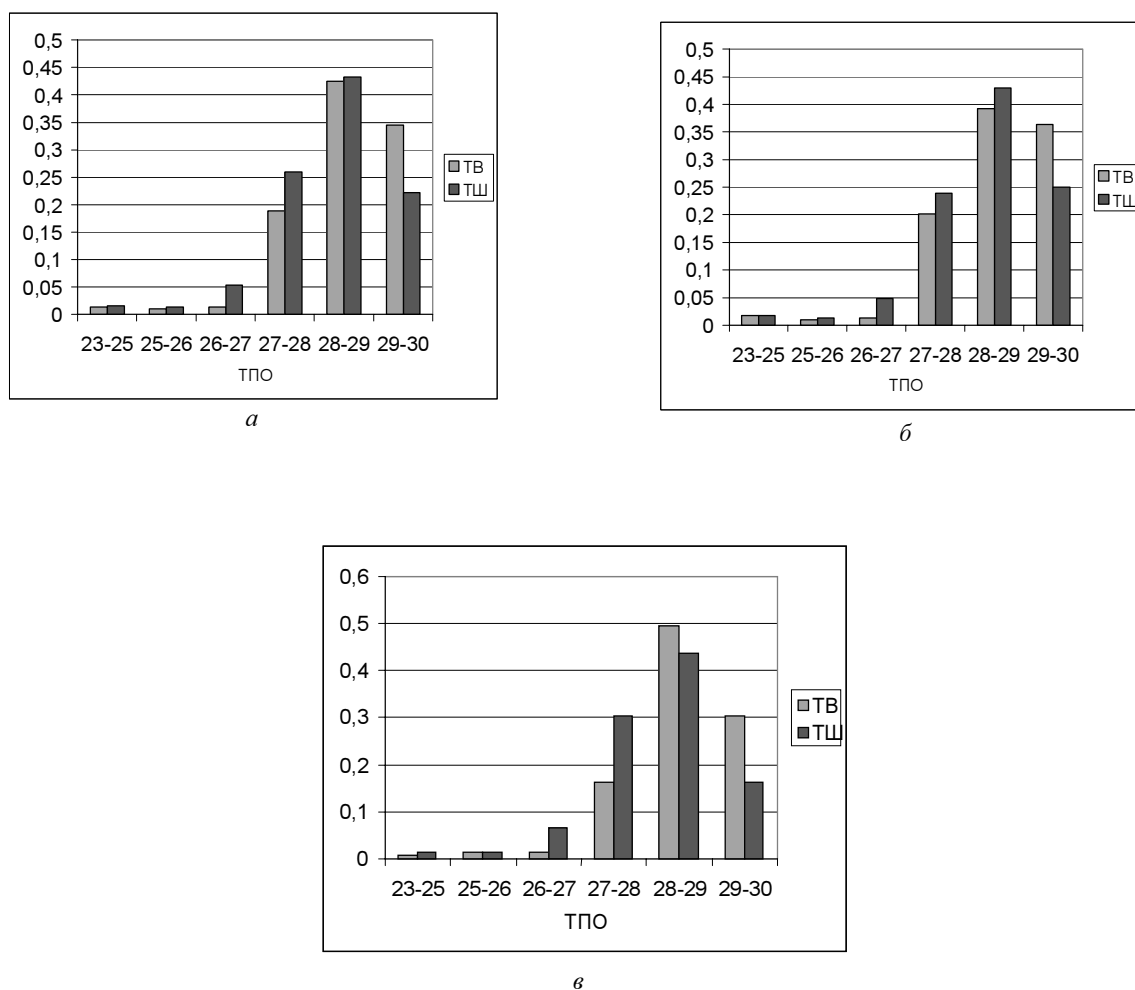


Рис. 2. Гистограмма распределений температур поверхности океана (ТПО) в момент генезиса начальных (ТВ) форм и перехода их в зрелые (ТШ) формы тропических циклонов в акваториях Мирового океана (а), в акваториях Северного (б) и Южного (в) полушарий за 1999–2003 гг. (ТПО — средняя трехмесячная температура в год наблюдения)

Из анализа рис. 1а нетрудно видеть, что гистограммы первичных и зрелых форм в акваториях Мирового океана представляют собой типичные одновершинные распределения с резким «обрывом» при высоких температурах (более 30 °С) и «затянутым» хвостом при средних температурах вплоть до 24 °С и с максимумом при 28–29 °С. При этой температуре «рождается» определенная часть (более 40 %) как первичных форм, так и зрелых ТЦ. Важной особенностью этих результатов является отсутствие резкого обрыва в форме гистограмм при температуре 26–27 °С, что следовало бы из теоретических построений. При температуре ниже 26 °С рождается, тем не менее, вполне значимое количество тропических систем — порядка 5—6 % от общего числа ТЦ и первичных форм. Подавляющая часть первичных и развитых форм ТЦ (более 90 %) формируется при температуре поверхности превышающей 27 °С. Не менее интересной особенностью рассматриваемых результатов является практическое подобие гистограмм при генезисе зрелых форм и при генезисе первичных форм. Аналогичные выводы можно сделать и для акваторий Северного и Южного полушария, где в явной виде формируется тропический циклогенез (рис. 1б, в).

Из анализа рис. 2, который построен по принципиально другой методике, можно видеть, что гистограммы первичных и зрелых форм в акваториях Мирового океана (при трехмесячном усреднении конкретного года) представляют собой типичные одновершинные распределения с резким «обрывом» при высоких температурах (более 30 °С) и «затянутым» хвостом при средних температурах вплоть до 24 °С и с максимумом при 28–29 °С. Сопоставление с рис. 1а демонстрирует практически полное соответствие по

качественным и количественным характеристикам. Аналогичные выводы можно сделать и для акваторий Северного и Южного полушария, где в явной виде формируется тропический циклогенез (рис. 2б, в).

Важно отметить, что как и по качественной форме, так и по количественным характеристикам циклогенез Северного и Южного полушария в отношении температурного поля достаточно близки друг к другу, хотя никак этого нельзя сказать по интенсивности стохастического процесса как такового (интенсивность циклогенеза Южного полушария в три раза слабее циклогенеза Северного полушария) [5].

## Обсуждение результатов

Несмотря на то, что пространственно-временные характеристики поверхностной температуры Мирового океана были определены двумя принципиально различными методами и заимствованы из принципиально различных литературных и интернетовских источников, тем не менее как и по качественной форме, так и по количественным характеристикам циклогенеза Северного и Южного полушария в отношении температурного поля оказались достаточно близки друг к другу, хотя этого никак нельзя сказать по интенсивности. Это обстоятельство связано, скорее всего, с тем, что температурное поле является значительно более инерционным, чем стохастическое поле циклогенеза.

Анализируя возникновение 5–6 % ТЦ при температуре ниже 26 °С, можно предположить, что эти возмущения являются своего рода переходной формой от возмущения умеренных широт к тропическим возмущениям, поскольку возникают в пограничной зоне между тропической зоной и зоной умеренных широт со значительным пространственным широтным градиентом поверхностной температуры, что, в свою очередь, может привести к значительным ошибкам в определении температуры в месте генезиса тропического возмущения. При этом в зависимости от того, какие процессы в атмосфере будут преобладать в данном районе дальнейшее развитие возмущения пойдет либо по широтно-умеренному сценарию, либо по тропическому (генезис первичных и зрелых форм ТЦ).

Важно также отметить, что дифференциальная интенсивность стохастического процесса циклогенеза (полушарий и глобального), по-видимому, непосредственно не связана с вариациями температурного поля циклонообразующих акваторий. Если же рассматривать каждую из циклонообразующих акваторий, то влияние температурного поля будет (в зависимости от гидрологических и географических условий) весьма значительным, что, несомненно, отразится на форме и количественных характеристиках гистограмм.

## Заключение

На основе пространственно-временного сопоставления пространственно-временных полей генерации начальных форм и циклогенеза зрелых форм в поле поверхностной температуры, определенных (а) при помощи стандартных океанологических измерений (*in situ* — на глубине 1 м) и (б) по дистанционным ИК-тепловым данным (поле температуры в поверхностном скин-слое) по океаническим акваториям двух полушарий Земли, представлены экспериментальные результаты, указывающие на наличие достаточно широкого диапазона поверхностных температур, при которых происходят процессы генерации первичных форм и их трансформации в зрелые формы, и отсутствие «критической» (пороговой) температуры и, соответственно, отсутствие жесткой границы при их генерации в поле поверхностной температуры океана, рассматриваемой как среднемесячной многолетней, так и при трехмесячном усреднении каждого конкретного наблюдаемого года. Важно отметить, что как и по качественной форме, так и по количественным характеристикам циклогенеза Северного и Южного полушария в отношении температурного поля достаточно близки друг к другу, хотя никак этого нельзя сказать по интенсивности стохастического процесса (дифференциальная интенсивность циклогенеза Южного полушария в три раза слабее циклогенеза Северного полушария). Работа поддержана в рамках проекта РФФИ № 06-05-64276-а.

## Литература

1. *Pielke R.A. Jr., Pielke R.A. Sr. Hurricanes. Their Nature and Impacts on Society // John Wiley and Sons. Chichester, N. Y. etc., 1997. 279 p.*
2. *Шарков Е.А. Аэрокосмические исследования тропических циклонов // Исслед. Земли из космоса. 1997. № 6. С. 87–111.*
3. *Sharkov E.A. Remote Sensing of Tropical Regions. John Wiley and Sons / PRAXIS. Chichester, N. Y. etc., 1998. 320 p.*
4. *Elsner J.B., Kara A.B. Hurricanes of the North Atlantic. Climate and Society // Oxford University Press. N. Y., Oxford. 1999. 488 p.*
5. *Sharkov E.A. Global tropical cyclogenesis. Springer / PRAXIS. L., Berlin, etc. 2000. 370 p.*
6. *Аванесов Г.А., Галлеев А.А., Жуков Б.С. и др. Проект «Экос-А»: научные космические исследования и построение моделей глобальных экологических и климатических процессов и природных кризисных ситуаций // Исслед. Земли из космоса. 1992. № 2. С. 3–14.*
7. *Анфимов Н.А., Гордеев С.П., Сенкевич В.П. и др. Проект «Зодиак»: контактное зондирование кризисных ситуаций атмосферы с помощью ракетно-космической техники // Исслед. Земли из космоса. 1995. № 2. С. 12–21.*
8. *Балебанов В.М., Моисеев С.С., Шарков Е.А. и др. Проект «Геликс»: космический мониторинг системы океан – тропосфера – верхняя атмосфера в условиях крупномасштабного кризисного состояния // Исслед. Земли из космоса. 1996. № 5. С. 106–113.*
9. *Шарков Е.А. Атмосферные катастрофы: эволюция научных знаний и роль дистанционного зондирования // Современные проблемы дистанционного зондирования из космоса: Сб. науч. статей. Т. 1. М.: GRANP polygraph, 2005. С. 55-62.*
10. *Грей У. Генезис и интенсификация тропических циклонов // Интенсивные атмосферные вихри. М.: Мир, 1985. С. 10–31.*
11. *Минина Л.С. Практика нефанализа // Л.: Гидрометеиздат, 1970. 335 с.*
12. *Тараканов Г.Г. Тропическая метеорология // Л.: Гидрометеиздат, 1980. 220 с.*
13. *Палмен Э., Ньютон Ч. Циркуляционные системы атмосферы // Л.: Гидрометеиздат, 1973. 398 с.*
14. *Голицын Г.С. Статистика и энергетика тропических циклонов // ДАН. 1997. Т. 354. № 4. С. 535–538.*
15. *Добрышман Е.М., Иванидзе Т.Г., Кружкова Т.С., Макарова М.Е. О некоторых характеристиках максимального ветра и траекториях тропических циклонов за 30 лет (1970–1999) // Метеорология и гидрология. 2002. № 4. С. 5–16.*
16. *Добрышман Е.М., Макарова М.Е. Тайфуны как активная составляющая регионального климата // Метеорология и гидрология. 2004. № 6. С. 49–58.*
17. *Henderson-Sellers A., Zhang H., Berz G., Emanuel K., Gray W., Landsea C., Holland G., Lighthill J., Shieh S.-L., Webster P., McGuffie K. Tropical Cyclones and Global Climate Change: A post-IPCC Assessment // Bull. Amer. Meteor. Soc. 1998. V. 79. N° 1. P. 19-38.*
18. *Timmermann A. Decadal ENSO amplitude modulations: a nonlinear paradigm // Global and Planetary Change. 2003. V. 37. P. 135–156.*
19. *Покровская И.В., Шарков Е.А. Каталог тропических циклонов и тропических возмущений Мирового океана за 1983–1998 гг. Версия 1.1. // М.: Полиграф сервис, 1999. 160 с.*
20. *Покровская И.В., Шарков Е.А. Тропические циклоны и тропические возмущения Мирового океана: хронология и эволюция. Версия 2.1. (1983–2000) // М.: Полиграф сервис, 2001. 548 с.*
21. *Покровская И.В., Руткевич П.Б., Шарков Е.А. Сценарный принцип усвоения спутниковой и наземной информации в контексте задач исследования атмосферных катастроф // Исслед. Земли из космоса. 2004. № 3. С. 32–42.*
22. *Атлас океанов. М.: ГУНО МО СССР. 1977. 340 с.*