

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИИ И МОНИТОРИНГУ
ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Т Р У Д Ы
ВСЕРОССИЙСКОГО
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО ИНСТИТУТА
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ –
МИРОВОГО ЦЕНТРА ДАННЫХ



*Под редакцией
доктора технических наук В. Н. КОПЫЛОВА*

ОБНИНСК
2015

Адрес: 249031, Обнинск, ул. Королева, 6
Телефон: (484) 396-40-85
Факс: (484) 396-86-11
E-mail: wccb@meteo.ru
Web site: <http://www.meteo.ru>

Редакционная коллегия

Главный редактор д.т.н. В.Н. Копылов

Зам. главного редактора д.ф.-м.н. А.М. Стерин

Ответственный секретарь к.ф.-м.н. И.В. Черных

Члены редколлегии: к.т.н. С.В. Белов, к.г.н. О.Н. Булыгина, д.т.н. Е.Д. Вязилов,

д.т.н. Ю.В. Колоколов, к.т.н. А.А. Коршунов, д.г.н. В.А. Семенов,

к.ф.-м.н. С.Г. Сивачок, к.ф.-м.н. Н.П. Ковалев, д.г.н. М.З. Шаймарданов,

д.г.н. Б.Г. Шерстюков, к.ф.-м.н. А.В. Хохлова

Сборник содержит ряд статей, подготовленных на основе пленарных, секционных и стендовых докладов научной конференции «Состояние и перспективы развития информационных технологий в гидрометеорологии. Информационное обеспечение морской деятельности», проводившейся ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД». Конференция проходила в период с 24 по 28 ноября 2014 г. в Обнинске и была посвящена пятидесятилетию со дня основания института.

Целями проведения конференции являлись обсуждение практических вопросов в области применения информационных технологий в гидрометеорологии, развитие методов и средств получения информации об обстановке в Мировом океане, обсуждение результатов исследований, полученных учеными и специалистами в области анализа и мониторинга климата, обслуживания климатической информацией, обмен опытом.

Рассмотрение возможности публикации наиболее значимых материалов конференции в виде статей в Сборнике трудов ВНИИГМИ-МЦД в 2015 году отмечалось в Решении конференции.

Авторы статей настоящего сборника представляют научно-исследовательские институты Росгидромета, Российской академии наук, других ведомств. Тематика его статей включает все направления научной конференции: информационные технологии в гидрометеорологии, информационное обеспечение морской деятельности, анализ, мониторинг климата и обслуживание климатической информацией, а также некоторые аспекты оценок экономической полезности гидрометеорологической информации.

Сборник будет полезен широкому кругу специалистов в охватываемых областях, а также различным категориям заинтересованных читателей.

The collection contains a number of articles prepared from plenary, section and poster papers presented at the scientific conference «State and Prospects of the Development of Information Technologies in Hydrometeorology. Information Support of Maritime Activities» that was held by FSBI «RIHMI-WDC». The Conference held on 24–28 November 2014 was dedicated to the 50th anniversary of the Institute.

The objectives of the Conference are to discuss practical issues of information technologies application to hydrometeorology, to develop methods and tools of the World Ocean information acquisition, to discuss research results obtained by scientists in climate analysis, climate monitoring and climate information services, and to exchange the experience gained.

The Resolution of the Conference envisaged the possibility of publishing the most significant papers in the RIHMI-WDC Collection of Articles in 2015.

The authors of the articles represent research institutes of Roshydromet, Russian Academy of Sciences and other government agencies. The topics of the articles cover the full range of problems examined at the Conference: information technologies in hydrometeorology, information support of maritime activities, climate analysis and monitoring, climate information services, and the specificities of definition economic usefulness indicators of hydrometeorological information.

The Collection of Articles may be of use to a wide range of people involved in the fields indicated, as well as to different groups of readers concerned.

СОДЕРЖАНИЕ

<i>Черных И. В., Алдужов О. А.</i> Многолетние характеристики параметров температурно-влажностного расслоения атмосферы, определенные по данным радиозондирования	5
<i>Китаев Л. М., Фролова Н. Л., Аблеева В. А., Асаинова Ж. А.</i> Примеры использования гидрометеорологической информации в исследованиях изменчивости снеготазов	24
<i>Вязилова А. Е., Балакин А. А., Смирнов А. В.</i> Влияние Арктики на формирование термохалинных аномалий в Северной Атлантике	35
<i>Лавров А. С., Хохлова А. В., Стерин А. М.</i> Особенности режима ветра в свободной атмосфере над территорией Российской Федерации в 2015 году	47
<i>Фокичева А. А., Тимофеева А. Г., Истомин Е. П.</i> О некоторых аспектах оценки экономической полезности гидрометеорологической информации	59
<i>Морозова С. В.</i> О режиме планетарной высотной фронтальной зоны на фоне настоящих климатических изменений	67
<i>Никишин А. В., Хохлова А. В.</i> Статистические характеристики тропосферных струйных течений над территорией Российской Федерации по радиозондовым наблюдениям	76
<i>Акименко Р. М., Арефьев В. Н., Вишератин К. Н., Упэнек Л. Б., Орозалиев М. Д., Синяков В. П., Сорокина Л. И.</i> Основные тенденции изменчивости парниковых газов по измерениям на станциях Обнинск и Иссык-Куль	86
<i>Чуняев Н. В.</i> Автоматическое выявление опасных метеорологических явлений в данных ЕСИМО и оперативное оповещение об опасных явлениях лиц, принимающих решения	93
<i>Третьяков В. Ю.</i> Геоинформационные технологии для анализа ледовой обстановки	103
<i>Евстигнеев В. П., Наумова В. А., Евстигнеев М. П.</i> Адаптация системы обработки и передачи данных гидрометеорологических наблюдений в Крымской республике в структуру Росгидромета	110
<i>Инюхин В. С., Куцев С. А., Лиев К. Б., Суслов В. В.</i> Разработка Регионального ситуационного центра по мониторингу и прогнозу опасных гидрометеорологических процессов	121
<i>Гасников О. А.</i> Методика оценки благоприятных ветроволновых условий функционирования морских нефтегазовых комплексов на этапе их проектирования	134

CONTENTS

<i>Chernykh I. V., Aldukhov O. A.</i> The Long-term Estimations for Parameters of Atmospheric Temperature-Humidity Layering from Radiosounding Data	5
<i>Kitaev L. M., Frolova N. L., Ableeva V. A., Asainova J. A.</i> Events of use the hydrometeorological information in studies of snow cover variability	24
<i>Yyazilova A. E., Balakin A. A., Smirnov A. V.</i> Influence of the Arctic on thermal anomalies in North Atlantic	35
<i>Lavrov A. S., Khokhlova A. V., Sterin A. M.</i> Specific features of wind patterns in the free atmosphere over the territory of the Russian Federation in 2015	47
<i>Fokicheva A. A., Timofeeva A. G., Istomin E. P.</i> On Some Issues the Economic Usefulness Assess of Hydrometeorological Information	59
<i>Morozova S. V.</i> About the mode planetary tall frontal zone on the background of these climatic changes	67
<i>Nikishin A. V., Khokhlova A. V.</i> Some statistical characteristics of troposphere jets under Russian Federation territory on radiosonde data	76
<i>Akimenko R. M., Aref'ev V. N., Visheratin K. N., Upenek L. B., Orozaliev M. D., Sinyakov V. P., Sorokina L. I.</i> Basic tendencies of greenhouse gases variability at Obninsk and Issyk-Kul monitoring stations	86
<i>Chunyaev N. V.</i> Automatic detection of dangerous meteorological phenomena in data ESIMO and early warning about it decision-makers	93
<i>Tretyakov V. Yu.</i> GIS technologies for ice situation analysis	103
<i>Evstigneev V. P., Naumova V. A., Evstigneev M. P.</i> Adaptation of hydrometeorological data processing and transfer systems of Crimean Republic into Roshydromet structure	110
<i>Inuhin V. S., Kushev S. A., Liev K. B., Suslov V. V.</i> Development of the regional situation-dependent center of monitoring and the forecast of dangerous hydrometeorological processes	121
<i>Gasnikov O. A.</i> Methodology to evaluate the assessment of favorable wind and wave conditions for the functioning of offshore oil and gas facilities at the design stage	134

УДК 551.576.1: 551.58

МНОГОЛЕТНИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПАРАМЕТРОВ ТЕМПЕРАТУРНО-ВЛАЖНОСТНОГО РАССЛОЕНИЯ АТМОСФЕРЫ, ОПРЕДЕЛЕННЫЕ ПО ДАННЫМ РАДИОЗОНДИРОВАНИЯ

И. В. Черных¹, О. А. Алдухов²

*ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский институт
гидрометеорологической информации – Мировой центр данных»,
¹ civ@meteo.ru, ² aoa@meteo.ru*

Введение

Одним из важнейших параметров климатической системы является облачность. Ее вертикальная структура, распределение многослойных облаков в атмосфере оказывает влияние на динамику атмосферы, радиационный баланс на поверхности и в атмосфере [1–4]. Неопределенность в климатических изменениях облачности остается одной из самых сложных проблем в исследованиях изменения климата Земли [3, 4]. В [5] отмечается, что одним из основных направлений в изучении облаков является определение многослойной облачности, исследование ее вертикальной структуры, получение ее климатических характеристик.

С целью определения характеристик облачности, ее макро- и микроструктуры используются наземные визуальные наблюдения и аппаратные измерения с поверхности земли, с самолета, со спутника. В связи с различной чувствительностью приборов к параметрам элементов облака все методы наблюдений имеют свои особенности [6–8]. По этой причине в работе И.П. Мазина и В.Е. Минервина [5] предлагается различать такие «классы» облаков, как «спутниковые», «визуально видимые», «видимые радиолокационными станциями», «видимые лидаром», «регистрируемые самолетной аппаратурой, предназначенной для микроструктурных измерений», «видимые на основе моделей». Исследования, проведенные рядом авторов [4, 6–9] для изучения точности различных методов измерения высоты облачности, показали взаимную согласованность результатов, полученных разными способами.

Глобальные климатические характеристики вертикальной структуры облачности нельзя определить по данным визуальных наземных наблюдений за облаками [10–13]. По данным наземных

инструментальных наблюдений и с борта самолета долгопериодные характеристики вертикальной структуры облаков можно определить только локально [8, 14, 15]. Информация о вертикальной макроструктуре облачности, полученная с помощью аппаратуры, установленной на спутниках, появилась только в последние десятилетия [9, 16–19].

Большой интерес проявляется к изучению вертикальной структуры облачности, восстановленной по данным радиозондирования, с целью определения ее климатических характеристик [8, 9, 14, 20–23]. Это связано с тем, что результаты радиозондовых наблюдений собраны за достаточно длительный период и достаточно плотно покрывают территорию земного шара (особенно Северное полушарие) [23–25].

В данной работе предметом исследования является вертикальная структура облачности, восстановленной по данным радиозондирования. Для земного шара рассмотрен вопрос о пространственно-временной изменчивости повторяемости и суммарной толщины облачных слоев (ОС) в атмосферном слое от поверхности земли до высоты 10 км.

Ниже для определения границ и количества облачности по профилям температуры и влажности, полученным при радиозондировании атмосферы, используется СЕ-метод [7, 8, 26], разработанный с целью исследования климатических характеристик вертикальной структуры облачности и ее долгопериодных изменений как в региональном, так и глобальном масштабах.

Результаты анализа корректности определения яруса, количества облаков, точности его определения для облачности нижнего, среднего и верхнего ярусов, а также для ее отдельных форм, для тонких и плотных облачных слоев с использованием СЕ-метода изложены в [8, 26].

Как авторами [7, 8, 26], так и независимыми экспертами [27] было выполнено сравнение восстановленной по радиозондовым данным с использованием разных методов (в том числе СЕ-метода) облачности с данными о границах, полученными с других наблюдательных платформ. Также было проведено сопоставление возможностей различных методов для определения облачного и безоблачного состояния небосвода, проанализирована их чувствительность к изменению разрешения профилей, полученных при радиозондировании атмосферы. В [7, 8, 26] показано, что результаты расчетов, полученные с помощью СЕ-метода,

отражают существование отдельных ОС и безоблачных прослоек, и это позволяет объективно оценить их суммарную толщину.

1. Данные и методы

В многочисленных работах, например в [8, 24, 25, 28, 29], отмечается, что при использовании радиозондовых данных для климатических исследований важное значение имеет качество и однородность используемых при вычислениях данных. Основными причинами возможной неоднородности данных радиозондирования являются недостаточное количество точек наблюдения и их неравномерное географическое распределение, смена наблюдательных приборов и датчиков, изменение методик, алгоритмов и программ обработки, множество пропущенных наблюдений, связанных с максимальной высотой полета зондов, и т.д. Они оказывают влияние на оценки температуры и влажности в атмосфере [8, 24, 25, 28, 29]. Данные по тропосфере являются более благополучными, по сравнению с данными по стратосфере, как в отношении полноты данных, так и относительно возникновения систематических ошибок, связанных с максимальной высотой полета зондов [24, 25].

Для расчетов был использован глобальный проконтролированный массив радиозондовых наблюдений КАРДС (CARDS, Comprehensive Aerological Reference Dataset) [25, 29] за период 1964–1998 гг. Среди станций глобальной радиозондовой сети были выбраны станции с достаточно полным количеством данных для формирования 795 временных рядов. Некоторые из них состоят из наблюдений двух или даже трех станций вследствие открытия, закрытия или изменения их местоположения [8].

Относительно исследований долгопериодных изменений характеристик облачности следует отметить, что значительная часть их проводилась за различные периоды и сроки наблюдения, различается масштабами пространственного обобщения и другими методическими особенностями, что усложняет процесс сравнения результатов [8, 12, 13, 30]. Ниже результаты приведены за период наблюдений 1964–1998 гг. по следующим соображениям.

- Данная работа является логической частью проведенных авторами исследований климатических изменений параметров ОС на основе данных радиозондирования атмосферы за указанный период наблюдений [8, 31].

- На глобальной аэрологической сети данных радиозондовых наблюдений в Южном полушарии в конце 50-х – начале 60-х годов недостаточно для климатических расчетов [24].

- По наземным наблюдениям наиболее значительные изменения в количестве облачности над территорией России происходили в 1970 и 1980 гг. [12, 30].

Как отмечалось выше, для определения границ и количества облачности по профилям температуры и влажности, полученным при радиозондировании атмосферы, был использован СЕ-метод. Его основная идея состоит в определении таких интервалов вертикального профиля, где на профили как температуры, так и влажности воздействуют облачные слои. Вследствие инерционности реакция датчиков температуры и влажности на их прохождение может практически не отражаться на абсолютных значениях измеряемых величин, но практически всегда проявляется в относительных изменениях (производных вдоль профиля) [7, 8].

Определение облачных слоев по СЕ-методу состоит из двух этапов. На первом этапе определяются границы ОС по вторым вертикальным производным температуры и влажности вдоль вертикальных профилей. Идея состоит в том, что особенности скоростей изменения температуры и влажности с высотой могут быть обусловлены изменениями этих параметров при пересечении радиозондом границ ОС. За критерий существования облачного слоя приняты условия

$$T''(h) \geq 0 \text{ и } R''(h) \leq 0 \text{ для } h_1 \leq h \leq h_2$$

при требовании изменения знака соответствующей второй производной на противоположный в граничных точках h_1 и h_2 . Это означает, что точки h_1 и h_2 являются точками перегиба профилей T и R и точками локальных экстремумов первых производных T' и R' (максимума R' и минимума T' в точке h_1 и, наоборот, минимума R' и максимума T' в точке h_2). Эти условия были найдены в результате сравнения профилей температуры и относительной влажности и их вторых производных с результатами наземных наблюдений за облаками [7, 8, 26].

Для получения непрерывных вторых производных по всему вертикальному профилю используется аппроксимация наблюдаемых значений температуры и влажности кубическими сплайнами с нулевыми граничными условиями для вторых производных [8, 32–34].

На втором этапе для каждого из выделенных слоев по значениям температуры и дефицита точки росы на уровне максимальной относительной влажности внутри такого слоя по кусочно-линейной аппроксимации диаграммы Арабей–Мошникова [8, 26] определяется степень покрытия облачностью небосвода по градациям 0–20, 20–60, 60–80, 80–100 %.

Для анализа пространственно-временной изменчивости повторяемости и суммарной толщины облачных слоев были построены географические распределения многолетних средних значений и среднеквадратических отклонений для этих параметров ОС с учетом градации количества облачности в атмосферном слое 0–10 км для января и июля и проведен их анализ: ниже 0–20 % называется малым, 20–60 % – рассеянным, 60–80 % – разорванным, 80–100 % – сплошным покрытием небосвода облаками. При рассмотрении ОС с фиксированным количеством облачности допускалось существование других ОС.

Результаты получены для января и июля на основе наблюдений в сроки 00 и 12 GMT. При расчете статистик были использованы только те зондирования, при которых имелись результаты измерений и для температуры, и для влажности до высоты 10 км от поверхности земли, и за месяц было проведено не менее 25 зондирований [8, 31, 35]. Так как во время зондирования облачность могла отсутствовать, то только те месяцы (январь и июль), которые содержат, по крайней мере, 10 зондирований с одним или более ОС, были включены во временные ряды. Они были созданы для градаций 0–20, 20–60, 60–80, 80–100, 0–100 % поверхности небосвода. Следующим ограничением было требование, чтобы временные ряды для месяцев (января, июля) имели данные, по крайней мере, для 18 лет из 35-летнего периода для каждой станции [8].

Чтобы проинтерполировать статистики облачности на 5×5 -градусную сетку, был использован метод взвешенной анизотропной интерполяции (ВАИ) [36]. Для большинства параметров атмосферы [36] этот метод дает почти такую же точность, как оптимальная интерполяция (ОИ) [37]. Но ВАИ имеет преимущество по сравнению с ОИ, т. к. для его использования не требуется знать статистической структуры интерполируемых величин. Ценой за простоту является то, что ВАИ-метод не дает оценки ошибки интерполяции [8].

2. Долгопериодные характеристики повторяемости ОС

Как было отмечено ранее, взаимодействие между радиацией и облачностью играет важную роль в атмосферной циркуляции и формировании климата. Интенсивность приходящей и уходящей радиации зависит от сезона, времени дня, а также от форм облаков, высоты облачности, ее балльности, вертикальной мощности, микро- и макроструктуры, оптических свойств [8, 12]. В частности, увеличение облачности верхнего яруса ведет к потеплению климата, в то время как увеличение количества облаков нижнего яруса – к охлаждающему эффекту [12]. Изменения в количестве облачности могут уменьшить или усилить глобальное потепление [12]. Например, суммарная ультрафиолетовая радиация убывает до 70–85 % при сплошном покрытии небосвода облаками нижнего яруса [38]. Исследования, проведенные на основе данных многолетних измерений (1981–1990 гг.) в метеорологической обсерватории Московского государственного университета им. Ломоносова показали увеличение приходящей ультрафиолетовой радиации при наличии облачности менее 20 % по сравнению с безоблачным небосводом [38]. Поэтому ниже более детально рассмотрен вопрос о повторяемости ОС с количеством облачности 0–20, 80–100, 0–100 % поверхности небосвода. Кроме того, следует отметить, что при вычислении статистик для ОС с рассеянным и разорванным покрытием небосвода облаками данных для вычислений было достаточно только для небольших регионов земного шара.

В табл. 1 приведены пределы региональных изменений средних значений и среднеквадратических отклонений повторяемости ОС с количеством облачности 0–20, 20–60, 60–80, 80–100, 0–100 % поверхности небосвода для атмосферного слоя 0–10 км над земным шаром для января и июля. Результаты получены на основе анализа построенных географических распределений статистических характеристик повторяемости ОС. Особенности их распределения для ОС с количеством облачности 0–100 % для территории земного шара показаны на рис. 1. Более детально, с учетом яруса облачности, статистические характеристики повторяемости ОС обсуждаются в [35].

Согласно данным табл. 1 и рис. 1а и 1б, осредненная повторяемость ОС с количеством облачности 0–100 % поверхности небосвода составляет 70–100 % случаев с данными о температуре и влажности до высоты 10 км в зависимости от региона

для территории земного шара. Для января и июля диапазоны изменений статистических характеристик повторяемости ОС над территорией земного шара различаются слабо (табл. 1).

Таблица 1

Пределы региональных изменений средних значений и среднеквадратических отклонений (σ) повторяемости и суммарной толщины ОС в атмосферном слое 0–10 км над уровнем подстилающей поверхности территории земного шара для различных градаций количества облачности в январе и июле

Градации количества облачности, % поверхности небосвода	Январь		Июль	
	Средние значения	σ	Средние значения	σ
0–20	9–98	2–28	54–99	1–34
20–60	7–52	6–22	6–56	3–22
60–80	4–42	4–17	2–53	3–15
80–100	13–96	4–39	11–89	7–38
0–100	77–100	0–25	70–100	0–32

Рис. 1 а и 1 б демонстрируют, что диапазоны изменений средней повторяемости ОС различаются слабо также при их рассмотрении с учетом сезона. Для зимнего сезона в Северном полушарии (СП) средняя повторяемость изменяется в пределах 80–100 % (январь, рис. 1 а), а для Южного полушария (ЮП) она изменяется в пределах 70–100 % (июль, рис. 1 б). Для летнего сезона средняя повторяемость изменяется в пределах 84–100 % для СП (июль, рис. 1 б) и 77–100 % – для ЮП (январь, рис. 1 а).

При рассмотрении результатов на рис. 1 а и 1 б отдельно для Северного и Южного полушарий можно отметить небольшие различия. Для СП осредненная повторяемость ОС с количеством облачности 0–100 % поверхности небосвода составляет 80–100 %, а для ЮП – 70–100 %.

Из рис. 1 а и 1 б видно, что в Северном полушарии наименьшая средняя повторяемость ОС (приблизительно 80–95 %) в январе и июле определена только в регионе 60–90° з. д. и 15–40° с. ш. Для остальной территории СП осредненная повторяемость ОС превышает 95 % для обоих месяцев. Анализ географических распределений для среднеквадратических отклонений повторяемости ОС показал, что в отмеченных выше регионах с наименьшей средней повторяемостью отмечены большие среднеквадратические

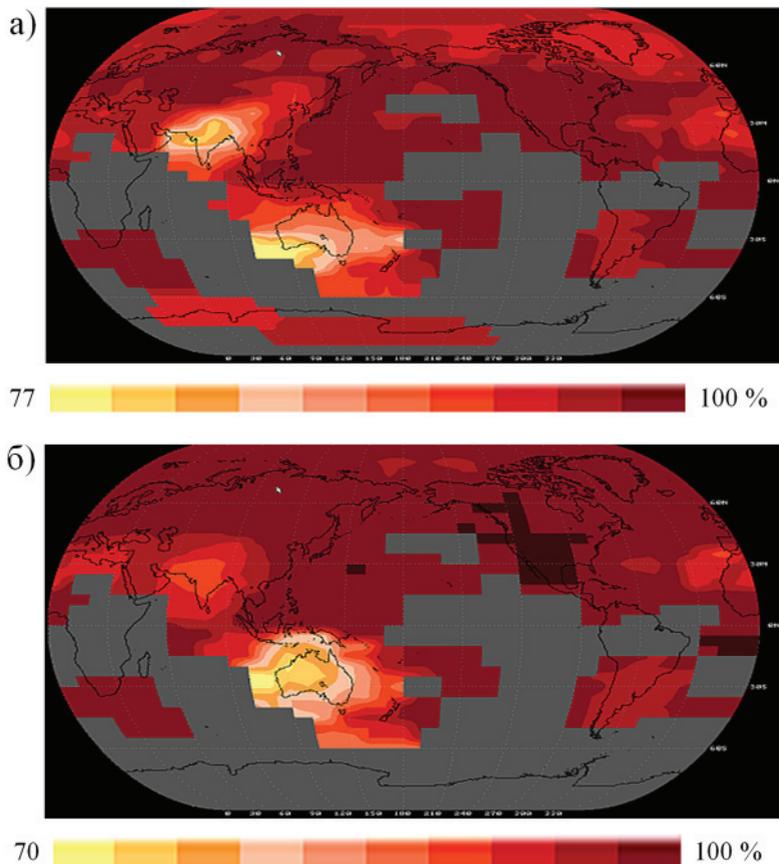


Рис. 1. Географические распределения средних значений повторяемости ОС с количеством облачности 0–100 % поверхности небосвода в атмосферном слое 0–10 км для января (а) и июля (б). КАРДС. 1964–1998 гг.

отклонения 12–25 %. Для остальной территории СП они не превышают 12 %.

В Южном полушарии наименьшая средняя повторяемость ОС (приблизительно 70–85 %) в январе и июле определена только в регионе 100–140° з.д. и 15–40° ю.ш. (см. рис. 1а и 1б). В этом регионе отмечены наибольшие среднеквадратические отклонения 16–32 %. Для остальной территории ЮП осредненная

повторяемость ОС превышает 85 % и среднеквадратические отклонения не превышают 16 % для обоих месяцев.

Из данных табл. 1 видно, что в январе и июле высокая осредненная повторяемость малооблачных и сплошных ОС. Для территории земного шара особенности ее распределения для малооблачных ОС показаны на рис. 2.

Для малооблачных слоев средняя повторяемость составляет 9–99 % случаев с данными о температуре и влажности до высоты 10 км в зависимости от региона для территории земного шара, а среднеквадратические отклонения изменяются в пределах 1–34 % (табл. 1).

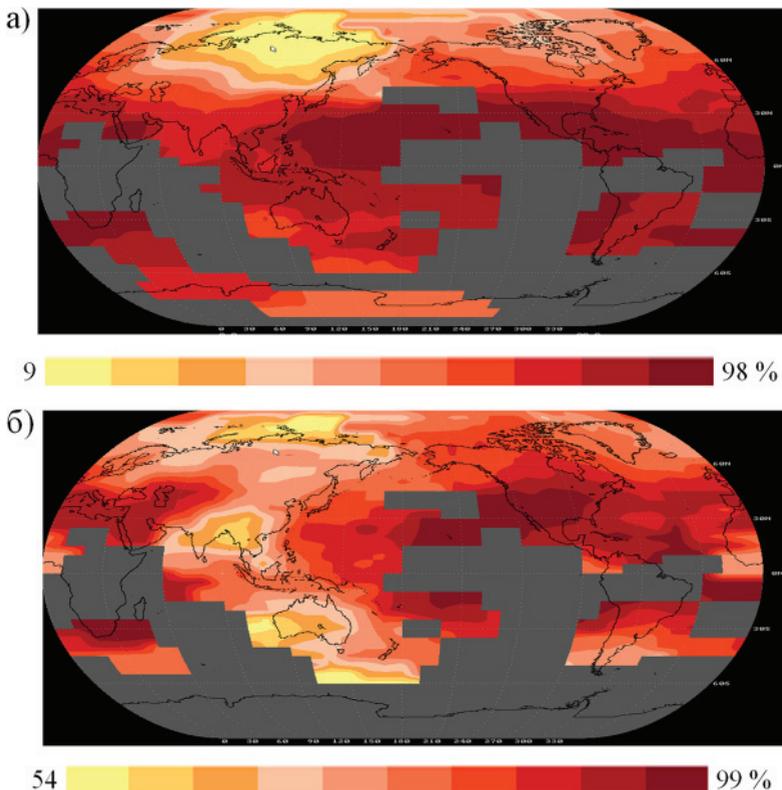


Рис. 2. Географические распределения средних значений повторяемости малооблачных слоев в атмосферном слое 0–10 км для января (а) и июля (б). КАРДС. 1964–1998 гг.

Для июля диапазон изменений осредненной повторяемости малооблачных слоев составляет 54–99 %, а для января – 9–98 %. Пределы изменений среднеквадратических отклонений для января и июля различаются слабо: они составляют 2–28 и 1–34 % соответственно (табл. 1).

В январе низкие значения средней повторяемости малооблачных слоев – 9–36 % – отмечены на большей территории РФ, особенно ее северо-восточной части. Высокая повторяемость – 62–98 % – малооблачных слоев отмечена в низких широтах (45° ю. ш. – 45° с. ш.).

При рассмотрении рис. 2*а* и 2*б* отдельно для СП и ЮП можно отметить небольшие различия. В январе для СП осредненная повторяемость малооблачных слоев составляет 9–98 %, а для ЮП – 54–98 %. В июле, как для СП, так и для ЮП, – 54–98 %.

Для сплошных ОС осредненная повторяемость составляет 11–96 % случаев с данными о температуре и влажности до высоты 10 км в зависимости от региона земного шара, а среднеквадратические отклонения – 4–39 % (табл. 1). Особенности распределения их средней повторяемости для территории земного шара показаны на рис. 3.

Табл. 1 показывает, что диапазоны изменений статистических характеристик повторяемости сплошных ОС для января и июля различаются слабо. Для средней повторяемости они составляют 13–96 и 11–89 %, для среднеквадратических отклонений – 4–39 и 7–38 % в январе и июле соответственно.

Анализ результатов на рис. 3*а* и 3*б* отдельно для Северного и Южного полушарий показал небольшие различия.

Для января (рис. 3*а*) в СП наибольшие значения средней повторяемости сплошных ОС – 80–96 % – определены в регионах, расположенных севернее 40° с.ш. В ЮП ее наибольшие значения – 55–80 % – зафиксированы в регионах, расположенных как в высоких широтах, так и низких широтах. Низкие значения повторяемости сплошных ОС – 13–46 % – видны на рис. 3*а* и 3*б* в широтах 45° ю. ш. – 45° с. ш.

Для июля (рис. 3*б*) в СП наибольшие значения средней повторяемости сплошных ОС – 73–89 % – определены над океанами. Над территорией РФ она изменяется в пределах 35–81 % с наибольшими значениями – 73–81 % – для северных территорий Камчатки и о. Сахалин.

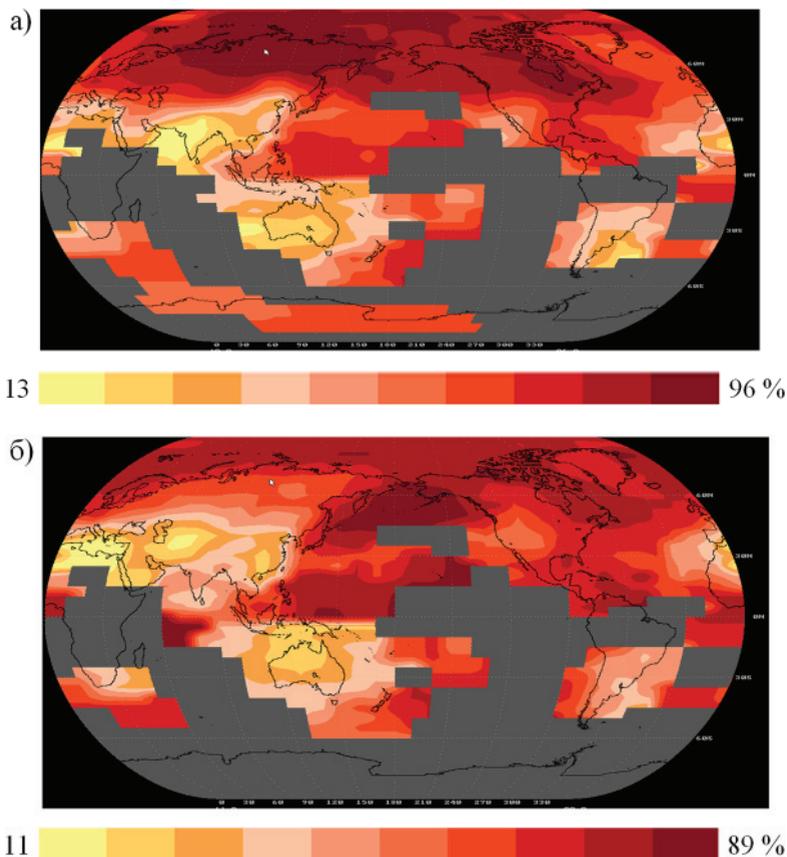


Рис. 3. Географические распределения средних значений повторяемости сплошных ОС в атмосферном слое 0–10 км для января (а) и июля (б). 1964–1998 гг.

Для июля (рис. 3 б) в ЮП ее наибольшие значения – 65–89 % – зафиксированы над океаном, в средних и низких широтах. Для регионов в высоких широтах недостаточно данных для расчетов. Низкие значения повторяемости сплошных ОС – 18–35 % – видны для территории 0–45° ю. ш. и 75–175° з. д.

В табл. 2 приведены пределы региональных изменений средних значений и среднеквадратических отклонений суммарной

толщины ОС с различным количеством облачности в атмосферном слое 0–10 км для января и июля. Результаты получены на основе анализа соответствующих построенных географических распределений. Особенности распределения средних значений суммарной толщины ОС с количеством облачности 0–20, 80–100, 0–100 % для территории земного шара показаны на рис. 4.

Таблица 2

Диапазон региональных изменений средних значений и среднеквадратических отклонений (σ) суммарной толщины ОС в атмосферном слое 0–10 км над уровнем подстилающей поверхности территории земного шара для различных градаций количества облачности для января и июля

Градации количества облачности, % поверхности небосвода	Январь		Июль	
	Средние значения	σ	Средние значения	σ
0–20	635–2499	564–1268	1041–2437	758–1203
20–60	377–1667	266–799	346–1414	283–910
60–80	809–1561	337–774	794–1627	371–853
80–100	475–1953	363–1889	406–1652	381–993
0–100	1388–2967	734–1251	1208–3092	601–1124

Осредненная суммарная толщина ОС с количеством облачности 0–100 % в слое 0–10 км изменяется в пределах 1200–3100 м, а среднеквадратические отклонения – 600–1250 м (табл. 2). Для января и июля различия диапазонов изменений ее статистических характеристик для территории земного шара различаются слабо (табл. 2, рис. 4а, 4б), разница составляет 100–180 м.

Для зимы в СП (январь, рис. 4а) средняя суммарная толщина изменяется в диапазоне 1400–2970 м, а в ЮП (июль, рис. 4б) – 1200–2900 м. Для лета в СП (июль, рис. 4б) она изменяется в диапазоне 1370–2970 м и в ЮП (январь, рис. 4а) – 1850–3100 м.

Таким образом, сезонные изменения для верхних пределов диапазонов изменений средней толщины ОС выражены слабо. Для зимы верхние пределы составляют 2900 и 2970 м в СП и ЮП, а для лета – 2970 и 3100 м в СП и ЮП соответственно, т. е. их различия не превышают 200 м.

Сезонные изменения для нижних пределов диапазонов изменений средней толщины ОС выражены в ЮП. Для зимы нижние пределы составляют 1400 и 1200 м в СП и ЮП, а для лета – 1370

и 1850 м в СП и ЮП соответственно, т. е. их различия в СП не превышают 30 м, а в ЮП они составляют 650 м.

Согласно данным табл. 2, осредненная суммарная толщина малооблачных и сплошных ОС изменяется в пределах 630–2500 и 400–1950 м, а соответствующие среднеквадратические отклонения – в диапазонах 560–1270 и 360–1890 м. Для пределов значений статистических характеристик для малооблачных и сплошных ОС видна разница в январе и июле.

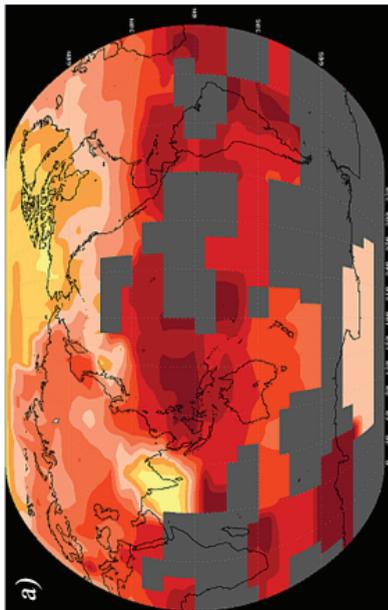
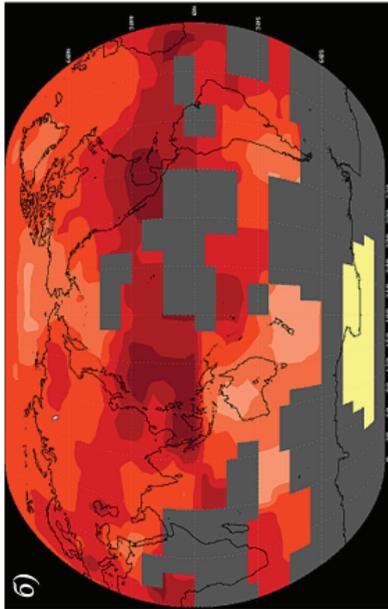
Интерес представляет сравнение результатов, изложенных выше и полученных другими авторами на основе данных самолетного зондирования.

При сравнении результатов расчетов повторяемости следует учитывать, что в среднем самолетное зондирование завышает повторяемость облаков и осадков на 5–10 %, а над некоторыми регионами – до 25 % [14].

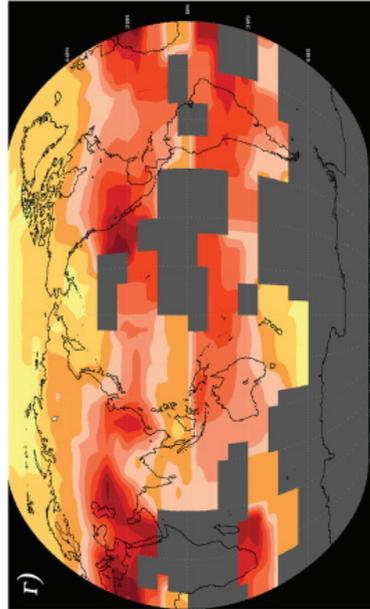
В соответствии с данными о вертикальной структуре облачности, полученными на базе массива сетевого самолетного зондирования на территории СССР за период 1957–1963 гг. [14], для облачной структуры характерны тонкие облачные и широкие безоблачные слои. Толщина ОС в 2–5 раз меньше толщины безоблачных слоев, что справедливо как для 6-километрового слоя, так и для километровых слоев атмосферы [7, 8].

В [14] также отмечалось, что при одних и тех же процессах облакообразования положение границ облаков, а следовательно, и толщина, могут быть разными в зависимости от начальных значений влажности и температуры, интенсивности турбулентного обмена, скорости и знака вертикальных движений. Толщина всех без исключения форм облаков отличается значительной изменчивостью. Среднеквадратические отклонения толщины близки к средним значениям соответствующих форм облаков. Данные табл. 2 качественно согласуются с вышеизложенными результатами.

Небольшие количественные различия в оценках толщины могут быть объяснены особенностями в методиках определения границ облачности и расчета, периодах наблюдений, периодичности и регулярности наблюдений [7, 8, 14], обобщением результатов на слой атмосферы 0–10 км над земным шаром. При сравнении суммарной толщины ОС следует также учитывать, что СЕ-метод детектирует влажные слои, из которых будут формироваться облака в течение ближайших нескольких часов (эти слои еще не



1208 3092 М



1388 2967 М

1041 2437 М

635 2499 М

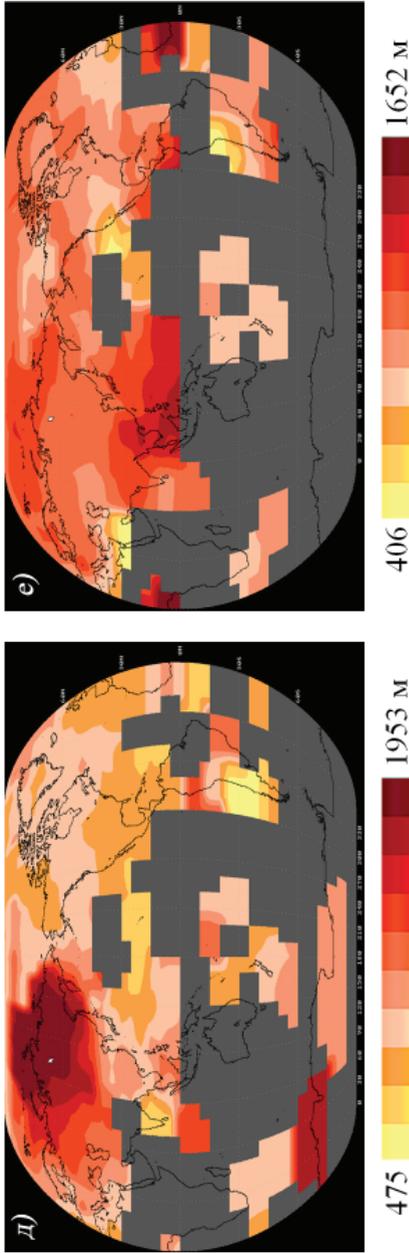


Рис. 4. Географические распределения средних значений суммарной толщины (да.м) ОС с количеством облачности 0–100 (а, б), 0–20 (в, г), 80–100 (д, е) % поверхности небосвода в атмосферном слое 0–10 км для января (а, в, д) и июля (б, г, е). КАРДС. 1964–1998 гг.

фиксируются при наземных наблюдениях за облаками в данный момент из-за малой концентрации облачных частиц, но будут детектированы после формирования обычным радаром); метод детектирует влажные слои, которые являются некоторой формой оставшихся облаков после их разложения (через несколько часов) и которые детектируются при самолетном зондировании с помощью прибора для определения изображения облачных частиц [7, 8].

Заключение

Получены многолетние статистические характеристики для повторяемости и суммарной толщины облачных слоев с различным количеством облачности в атмосферном слое 0–10 км за период 1964–1998 гг.

Показано, что осредненная повторяемость ОС с количеством облачности 0–100 % поверхности небосвода составляет 70–100 % случаев с данными о температуре и влажности до высоты 10 км в зависимости от региона земного шара.

В январе и июле диапазоны изменений статистических характеристик повторяемости и суммарной толщины ОС с количеством облачности 0–100 % поверхности небосвода различаются слабо для территории земного шара. Они проявляются при анализе повторяемости и суммарной толщины ОС с учетом количества облачности.

Диапазоны изменений средней повторяемости ОС различаются слабо также при их рассмотрении с учетом сезона.

Сезонные изменения для верхних пределов диапазонов изменений средней толщины ОС выражены слабо.

Полученные результаты о суммарной толщине ОС согласуются с результатами, полученными по данным сетевого самолетного зондирования [14]. Результаты были использованы авторами для оценок климатических изменений параметров вертикальной структуры облачности.

Изложенные результаты расширяют наши знания о пространственно-временной изменчивости повторяемости и суммарной толщины облачных слоев с различным количеством облачности. Они полезны для интерпретации результатов измерений параметров облачности другими методами с помощью аппаратуры, установленной на поверхности земли, самолетах и спутниках [18].

Исследования свойств ОС были поддержаны грантами РФФИ № 04-05-97207, 98-05-64492, 01-05-65285, 01-05-96287, 02-05-64088, 07-05-96402.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Зайцева Н.А., Костяной Г.Н.* Поле длинноволновой радиации в свободной атмосфере (справочные данные). М.: Гидрометеоздат, 1974. 147 с.
2. *Марчук Г.И., Кондратьев К.Я., Козодеров В.В., Хворостянов В.И.* Облака и климат. Л.: Гидрометеоздат, 1986. 512 с.
3. *Climate Change 2007. The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change // IPCC. U.K., Cambridge: Cambridge University Press, 2007. 996 p.*
4. *Zhang J., Li Z., Chen H., Cribb M.* Validation of radiosonde-based cloud layer detection method against a ground-based remote sensing method at multiple ARM sites // *J. Geophys. Res. Atmos.* 2013. V. 118, N 2. P. 846–858. DOI: 10.1029/2012JD018515
5. *Roebeling R., Baum B., Bennartz R., Hamann U., Heidinger A., Thoss A., Walther A.* Evaluating and improving cloud parameter retrievals // *Bull. Amer. Meteorol. Soc.* 2013. V. 94, N 4. P. ES41–ES44.
6. *Мазин И.П., Минервин В.Е.* Об упорядочении терминологии в физике облаков // *Метеорология и гидрология.* 1993. № 4. С. 5–14.
7. *Черных И.В., Алдухов О.А.* Об определении вертикального распределения облачных слоев по данным радиозондирования атмосферы // *Известия АН. Физика атмосферы и океана.* 2004. Т. 40, № 1. С. 45–59.
8. *Алдухов О.А., Черных И.В.* Методы анализа и интерпретации данных радиозондирования атмосферы. Т. 2. Восстановленные облачные слои. Обнинск: ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД», 2013. 152 с.
9. *Rossow W.B., Zhang Y., Wang J.* A statistical model of cloud vertical structure based on reconciling cloud layer amounts inferred from satellites and radiosonde humidity profiles // *J. Climate.* 2005. V. 18, N 17. P. 3587–3605.
10. *Guide to meteorological instruments and methods of observation // Switzerland. Geneva: WMO, 1983. Rep. WMO-N 6, 5-th ED. 320 p.*
11. *Hahn C.J. and Warren S.G.* A Gridded Climatology of Clouds Observations over Land (1971–96) and Ocean (1954–97) from Surface Worldwide. – Oak Ridge, TN, Carbon Dioxide Information Analysis Center, 2003. NDP–026E. 71 p.
12. *Chernokulsky F.V., Bulygina O., N., Mokhov I.I.* Recent variations of cloudiness over Russia from surface daytime observations // *Environ Res. Lett.* 2011. V. 6, N 3. 035202 doi:10.1088/1748-9326/6/3/035202
13. *Eastman R., Warren S.G.* A 39-yr survey of cloud changes from land stations worldwide 1971–2009: long-term trends, relation to aerosols, and expansion of the tropical belt // *J. Climate.* 2013. V. 26, N 4. P. 1286–1303.
14. *Дубровина Л.С.* Облака и осадки по данным самолетного зондирования. Л.: Гидрометеоздат, 1982. 216 с.
15. *Махвер З.М., Нудельман Л.А.* Авиационно-климатические характеристики Северного полушария. Т. 1. Облачность. М.: Гидрометеоздат, 1987. 278 с.

16. *Матвеев Ю.Л., Матвеев Л.Т., Солдатенко С.А.* Глобальное поле облачности. Л.: Гидрометеиздат, 1986. 278 с.

17. *Rossow W.* Clouds in weather and climate: The International Satellite Cloud Climatology Project at 30: what do we know and what do we still need to know? // *Bull. Amer. Meteorol. Soc.* 2014. V. 95, N 3. P. 441–443.

18. *Stubenrauch C.J., Rossow W.B., Kinne S., Ackerman S., Cesana G., Chepfer H., Girolamo L.D., Getzewich B., Guignard A., Heidinger A., Maddux B.C., Menzel W.P., Minnis P., Pearl C., Platnick S., Poulsen C., Riedi J., Sun-Mack S., Walther A., Winker D., Zeng S., Zhao G.* Assessment of Global Cloud Datasets from satellites: project and database initiated by the GEWEX radiation panel // *Bull. Amer. Meteorol. Soc.* 2013. V. 94, N 7. P. 1031–1049.

19. *Chan M.A., Comiso J.C.* Arctic cloud characteristics as derived from MODIS, CALIPSO, and CloudSat // *J. Climate.* 2013. V. 26, N 10. P. 3285–3306.

20. *Ferlay N., Thieuleux F., Cornet C. et al.* Toward new inferences about cloud structures from multidirectional measurements in the Oxygen A Band: Middle-of-cloud pressure and cloud geometrical thickness from POLDER-3/PARASOL // *J. Appl. Meteorol. Climatol.* 2010. V. 49, N 12. P. 2492–2507.

21. *Wang J., Rossow W.* Determination of cloud vertical structure from upper-air observations // *J. Applied Meteorol.* 1995. V. 34, N 10. P. 2243–2258.

22. *Wang J., Rossow W., Zhang J.* Cloud vertical structure and its variations from a 20-yr global rawinsonde dataset // *J. Climate.* 2000. V. 13, N 17. P. 3041–3056.

23. *Zhang J., Li Z., Chen H., Cribb M.* Validation of radiosonde-based cloud layer detection method against a ground-based remote sensing method at multiple ARM sites // *J. Geophys. Res. Atmos.* 2013. V. 118, N 2. P. 846–858.

24. *Стерин А.М.* Анализ линейных трендов в рядах температуры свободной атмосферы за 1958–1997 гг. // *Метеорология и гидрология.* 1999. № 5. С. 52–68.

25. *Алдухов О.А., Черных И.В.* Методы анализа и интерпретации данных радиозондирования атмосферы. Т. 1. Контроль качества и обработка данных. Обнинск: ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД», 2013. 306 с.

26. *Chernykh I.V., Eskridge R.E.* Determination of cloud amount and level from radiosonde soundings // *J. Appl. Meteorol.* 1996. V. 35, N 8. P. 1362–1369.

27. *Naud C.M., Muller J.P., Clothiaux E.E.* Comparison between active sensor and radiosonde cloud boundaries over the ARM Southern Great Plains site // *J. Geophys. Res.* 2003. V. 108, N D4. P. 3-1–3-12.

28. *Стерин А.М.* О чувствительности оценок трендов температуры тропосферы и нижней стратосферы по радиозондовым данным. Часть 1: Выбор массива данных, периода рядов и техники их анализа // *Метеорология и гидрология.* 2004. № 5. С. 21–36.

29. *Eskridge R.E., Alduchov O.A., Chernykh I.V., Zhai P., Polansky A.C., Doty S.R.* A comprehensive aerological reference dataset (CARDS): rough and systematic errors // *Bull. Amer. Meteorol. Soc.* 1995. V. 76, N 10. P. 1759–1775.

30. *Хлебникова Е.И., Салль И.А.* Особенности климатических изменений облачно-го покрова над территорией России // *Метеорология и гидрология.* 2009. № 7. С. 5–13.

31. *Chernykh I.V., Alduchov O.A., Eskridge R.E.* Trends in low and high cloud boundaries and errors in height determination of cloud boundaries // *Bull. Amer. Meteorol. Soc.* 2001. V. 82, N 9. P. 1941–1947.

32. *Гордин В.А.* Математические задачи гидродинамического прогноза погоды. Вычислительные аспекты. Л.: Гидрометеиздат, 1987. 264 с.
33. *Стечкин С.Б., Субботин Ю.Н.* Сплайны в вычислительной математике. М.: Наука, 1976. 248 с.
34. *Bartels R.H., Beatty J.C., Barsky B.A.* An Introduction to Splines for use in Computer Graphics and Geometric Modeling. Los Altos: Morgan Kaufman Publishers, 1987. 476 p.
35. *Черных И.В., Алдухов О.А.* Долгопериодные оценки характеристик вертикального распределения облачных слоев по данным радиозондирования атмосферы // Метеорология и гидрология. 2016. № 4. С. 5–17.
36. *Костюков В.В.* Объективный анализ и согласование метеорологических полей. М.: Гидрометеиздат, 1982. 192 с.
37. *Гандин Л.С., Каган Р.Л.* Статистические методы интерпретации метеорологических данных. Л.: Гидрометеиздат, 1976. 359 с.
38. *Чубарова Н.Е.* Ультрафиолетовая радиация в условиях разорванной облачности по данным многолетних наземных наблюдений // Известия АН. Физика атмосферы и океана. 1998. Т. 34, № 1. С. 145–150.

УДК 531.578.46

ПРИМЕРЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ В ИССЛЕДОВАНИЯХ ИЗМЕНЧИВОСТИ СНЕГОЗАПАСОВ

*Л. М. Китаев¹, Н. Л. Фролова²,
В. А. Аблеева³, Ж. А. Асаинова³*

¹ *Институт географии РАН lkitaev@mail.ru,*

² *Географический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова,*

³ *Приокско-Террасный государственный биосферный заповедник*

Введение

Наиболее распространенные на сегодня в условиях суши элементы криосферы – лед и снег. Лед занимает около 10 % поверхности суши, снежный покров в максимальных зимних запасах – до 50 % суши Северного полушария. Являясь продуктом климатических процессов, криосфера, с другой стороны, оказывает влияние на глобальный и региональный климат за счет, в частности, резкого внутригодового изменения альbedo поверхности, во многом определяет сезонную изменчивость физических свойств почвы и ход гидрологических процессов. В статье приведен обзор наших последних результатов использования гидрометеорологической информации в исследованиях изменчивости снежного покрова последних десятилетий – в данном случае на примере Восточно-Европейской равнины. В частности, речь идет о методических подходах при оценке величины снегозапасов спутниковых данных, о специфике определения региональной и локальной изменчивости снегонакопления и возможности выявления ее причин и последствий.

Точность оценки снегозапасов

в ходе дистанционного зондирования поверхности суши

Актуальность использования для мониторинга состояния окружающей среды результатов дистанционного зондирования посредством измерений пассивного микроволнового излучения земной поверхности связана прежде всего с высокой в ходе спутниковых измерений степенью пространственно-временного разрешения. Тем не менее алгоритмы восстановления снегозапасов

по спутниковым данным требуют дополнительных уточнений, для более корректного учета характера растительности, мощности снежного покрова, насыщенности снежной толщи водой и льдом. Для конца февраля нами проведена оценка точности восстановленных по модели Чанга [1] спутниковых данных SSM/I в узлах регулярной сетки $1 \times 1^\circ$ (<http://reverb.echo.nasa.gov/reverb>) путем верификации с данными снегосъемок 115 метеорологических станций (в данном случае имеющих ряды значений на конец февраля). Сравнение значений метеостанций и соответствующих ячеек сетки спутниковых данных показали, что расхождение между восстановленными и фактическими данными составляет 33–35 % в центре и на юге Восточно-Европейской равнины и 53 % в бассейне Белого и Балтийского морей, что заметно превышает ошибку в 25 %, заявленную авторами алгоритма модельных расчетов.

Результаты наблюдений метеорологических станций на открытых и лесных маршрутах в бассейнах Белого и Баренцева морей показывают, что средние по территории максимальные фактические снегозапасы залесенных территорий стабильно в многолетнем ходе превышают максимальные снегозапасы открытых пространств со средним соотношением 1,3 (рис. 1А). Для сравнения рассмотрено соотношение восстановленных снегозапасов – для ячеек подспутниковой сетки, совпадающих с расположением метеорологических станций. Многолетний ход восстановленных снегозапасов открытых и залесенных территорий практически идентичен (рис. 1Б) и более чем в два раза занижен относительно фактических значений (рис. 1А). Следовательно, коэффициенты модели восстановления снегозапасов по данным микроволнового излучения требуют существенной доработки для областей с лесной растительностью.

Роль залесенности в совокупности с высотой снежного покрова в искажении величины восстановленных снегозапасов проиллюстрирована на рис. 2. Расхождение величины восстановленных и фактических снегозапасов максимально на севере Восточно-Европейской равнины (бассейны Белого и Баренцева морей), где низкие фоновые температуры воздуха максимально снижают потенциально возможные искажения микроволнового излучения влажным снегом и ледяными прослойками (рис. 2А). Для существенно менее залесенных водосборов нижней Волги и Дона характерны значительно меньшие расхождения данных,

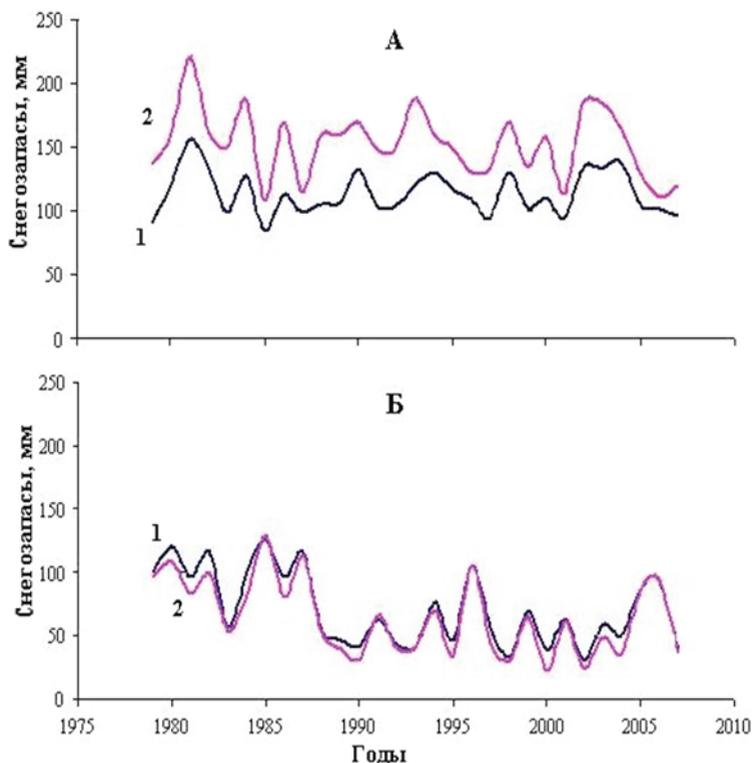


Рис. 1. Многолетний ход фактических (А) и восстановленных (Б) снегозапасов севера Восточно-Европейской равнины:
1 – открытые пространства, 2 – лесные массивы

несмотря на достаточно высокие фоновые температуры воздуха, связанные с этим оттепели и, следовательно, наличие влаги и ледяных прослоек в снежной толще. Таким образом, можно сделать вывод о том, что лесная растительность в совокупности с мощным снежным покровом на севере Восточно-Европейской равнины обеспечивает максимальные для Восточно-Европейской равнины погрешности восстановленных снегозапасов в сравнении с более теплыми зимой регионами центра и юга, где погрешности связаны с последствиями оттепелей – повышенным содержанием в снежной толще воды и ледяных прослоек.

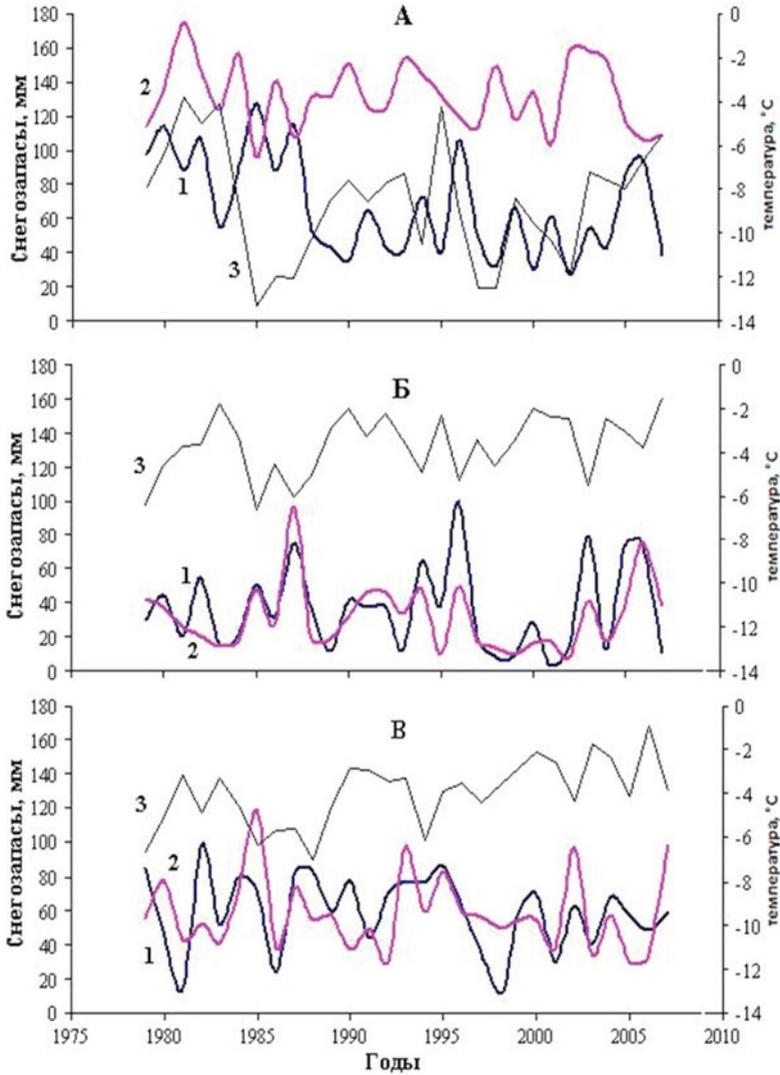


Рис. 2. Многолетний ход характеристик севера Восточно-Европейской равнины (А), водосборов р. Волга (Б) и р. Дон (В):
 1 – восстановленные снегозапасы; 2 – фактические снегозапасы;
 3 – температура воздуха

Изменчивость снеготазпасов как фактор изменений речного стока

Существенное в пределах Восточно-Европейской равнины многолетнее повышение приземной температуры воздуха холодного периода при небольших изменениях суммарных осадков (<http://voeikovmgo.ru/download/2014/od/od2.pdf>) приводит к оттепелям, увеличивающим меженные зимние расходы речных вод и к уменьшению объемов и максимальных расходов весеннего половодья в связи с быстрым оттаиванием почвы во время снеготаяния. В результате, водность рек в холодный сезон увеличилась с 1978 г. на 50–100 % в сравнении с предшествующим многолетним периодом, а уровень подземных вод к началу 1990-х годов поднялся на 50–130 см [2, 3]. Означенные изменения в значительной мере связаны с многолетними особенностями формирования снежного покрова, который в средних и высоких широтах является связующим звеном изменений климата и изменений водного баланса. В связи с этим нами проведена детализация региональных изменений характеристик снежного покрова Восточно-Европейской равнины на примере бассейна Волги (верхнее и нижнее течение соответственно выше и ниже Казани, бассейн Камы) для уточнения причин изменений характера речного стока в условиях изменений климата последних десятилетий.

Возможность оценки тенденций в изменчивости характеристик снежного покрова и климата связана с наличием в открытом доступе результатов наблюдений за снежным покровом, приземной температурой воздуха и осадками (база данных ВНИИГМИ, www.meteo.ru). Исследованы снеготазпасы на конец февраля, средняя приземная температура воздуха и суммарные осадки с начала ноября по конец февраля, для чего использованы данные 115 метеорологических станций при наличии здесь наблюдений снеготазпасов в конце февраля и суточных пропусков измерений приземной температуры воздуха и осадков не более пяти в месяц. Данные пересчитаны в аномалии и интерполированы в узлы регулярной сетки. Ошибка для пространственных оценок величины максимальных снеготазпасов может быть принята не более чем в 10 мм [4], ориентировочно 7–15 мм за год для осадков [5] и $-0,007...-0,003$ °С – для приземной температуры января [6] без учета в данном случае орографии ввиду относительно небольших перепадов высот. Наибольшие их значения отмечены в верхнем течении Волги (247 мм), наименьшие – в

ее нижнем течении (191 мм), что соответствует различиям в ходе средних за холодный период (ноябрь–март) приземных температур воздуха и суммарных осадков.

Значимые многолетние тенденции изменчивости характерны только для аномалий приземной температуры воздуха, коэффициенты линейных трендов составляют для среднего течения Волги 0,139 °C за 10 лет, для нижнего течения Волги – 0,160 °C за 10 лет, для бассейна Камы – 0,034 °C за 10 лет. Тенденции изменений аномалий снегозапасов и осадков в данном случае незначимы. Различия среднемноголетних дат максимумов снегозапасов также соответствуют в целом особенностям регионального температурного фона и хода осадков: в более холодных условиях верхнего течения Волги и бассейна Камы, способствующих длительному снегонакоплению, – 25 и 20 марта, в более теплых условиях нижнего течения Волги – 9 марта. Заметные многолетние изменения максимумов снегозапасов не выявлены, коэффициенты линейных трендов повсеместно незначимы: соответственно 2,6; 1,2 и 1,0 дней/10 лет.

Синхронность многолетних изменений аномалий климатических характеристик разных частей бассейна Волги прослеживается в основном для приземной температуры воздуха (рис. 3) – коэффициенты корреляции температурного хода разных районов в этом случае составляют 0,54–0,64. Синхронность хода суммарных осадков и снегозапасов малы – коэффициенты корреляции соответственно 0,30–0,32 и 0,20–0,39. Следует, однако, учитывать, что при рассмотрении осадков могут сказываться инструментальные погрешности в процессе наблюдений [7, 8], в случае снегозапасов – особенности метелевого перераспределения снега и неоднородность снегонакопления, связанная с различиями растительности и испарения с поверхности снежной толщи [9, 10].

Многолетние изменения продолжительности периода со снежным покровом несущественны – значения коэффициентов линейного тренда незначимы, за исключением отрицательного коэффициента для нижнего течения Волги (-4,34 дней/10 лет). По-видимому, стабильность снежного периода севера исследуемой территории связана с многолетним увеличением осадков при низких фоновых температурах зимнего периода; в южной части региона, при более теплых условиях зимы, вклад многолетнего роста температуры воздуха в изменчивость снегозапасов увеличивается – период со снежным покровом становится короче.

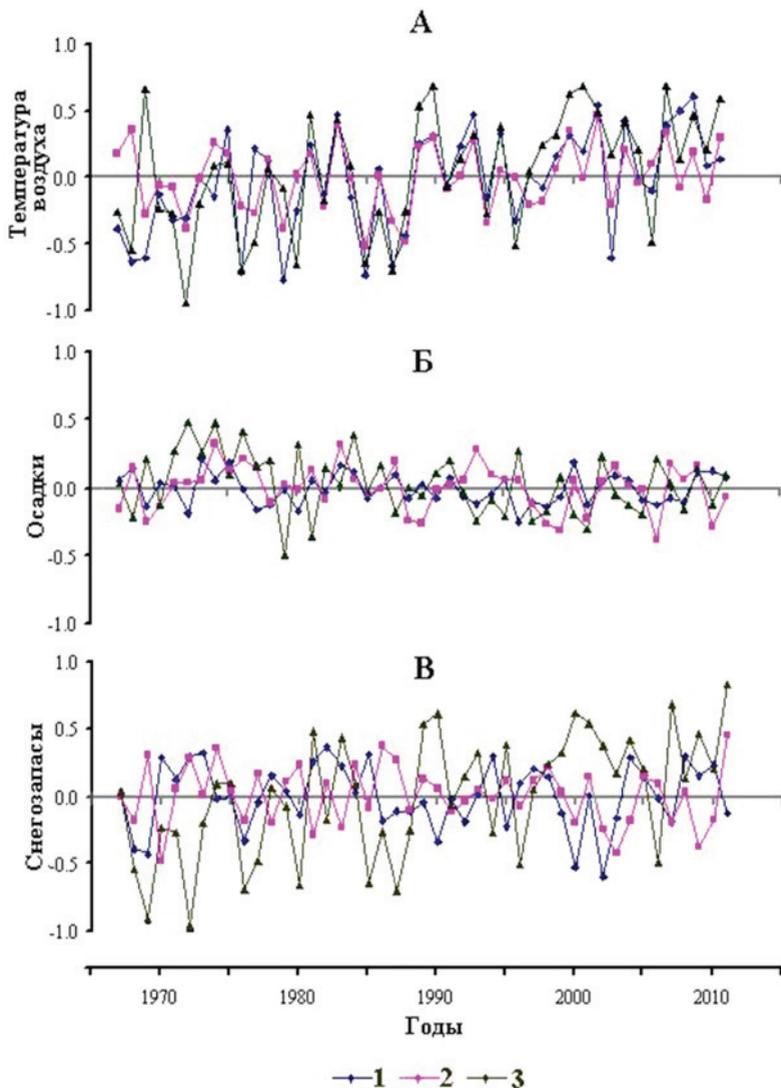


Рис. 3. Многолетний ход и линейные тренды аномалий приземной температуры воздуха (А), суммы осадков (Б) и снегозапасов (В) верхнего течения Волги (1), бассейна Камы (2) и нижнего течения Волги (3)

Исследована важная для гидрологического режима региона продолжительность периода убывания снеготаяния – время от даты максимума снеготаяния до даты полного исчезновения снежного покрова. Продолжительность этого периода в верхнем течении Волги и в бассейне Камы составляет 37 и 43 дня, в нижнем течении Волги –19 дней, соответственно 19, 22 и 12 % от общей продолжительности снежного периода. Регрессионная зависимость многолетних изменений продолжительности периода убывания снеготаяния от изменчивости их максимальных значений, от приземной температуры воздуха и от суммарных осадков достаточно высока для всего бассейна Волги при общих коэффициентах регрессии 0,7–0,8. Основным вкладом в процесс убывания снега соответственно регрессионным бета-коэффициентам оказывают прежде всего осадки (0,467–0,762), затем приземная температура воздуха (-0,252...-0,456), вклад же максимальных снеготаяний в регрессию незначим.

В последние десятилетия отмечается перераспределение внутрigoдового хода речного стока Восточно-Европейской равнины: при снижении объема весеннего половодья меженный сток увеличился с 1978 г. на 50–100 % в сравнении с предшествующим многолетним периодом, а уровень подземных вод поднялся на 50–130 см [2, 3, 11].

Для исследуемой территории, где максимальные снеготаяния в многолетнем аспекте меняются мало, а продолжительность периода со снежным покровом неизменна на севере и уменьшается на юге, увеличение объема стока и повышение уровня грунтовых вод в меженный период могут быть связаны с устойчивым многолетним повышением приземной температуры воздуха (рис. 3), усиливающимся снеготаянием во время оттепелей с образованием склонового стока и пополнением грунтовых вод. В результате при увеличении меженного стока и объема подземной составляющей водного баланса зимой весенний сток имеет тенденцию к снижению (рис. 4).

Локальная изменчивость снеготаяния и метеорологического режима

Важной составляющей исследований снежного покрова являются натурные исследования локальной структуры распределения снежного покрова, необходимые для последующих уточнений региональных обобщений, в частности посредством учета структуры растительного покрова при осреднении снеготаяния. Так, в частности, соотношение снеготаяния на открытых и закрытых (лесных)

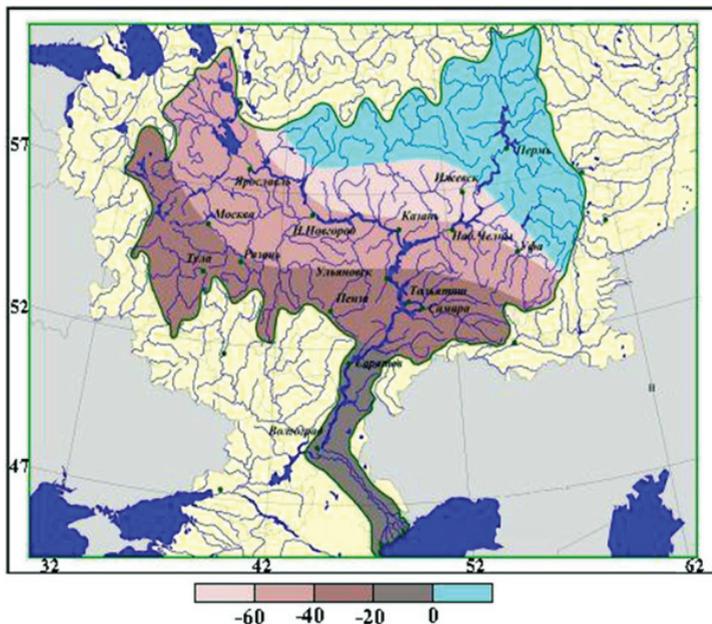


Рис. 4. Изменение максимальных расходов воды (%) за 1970–2005 гг. по сравнению с периодом 1935–1969 гг. [11]

участках, по данным метеорологических станций водосбора Белого и Баренцева морей, составляет в среднем 0,74 (рис. 1), что, несомненно, влияет на точность оценок характера снегонакопления.

В ходе исследований нами типизирована локальная изменчивость снеготпасов в климатических условиях последних 30 лет на примере сосняка, лиственного массива и открытого пространства в пределах Приокско-Террасного заповедника. Особенностью данных работ является проведение в пределах каждого экспериментального участка наблюдений в соответствии со стандартными методическими подходами метеостанций гидрометеорологической сети – в данном случае при исследованиях приземной температуры воздуха и осадков, а также при организации снегомерных маршрутов наблюдений на каждом характерном участке. В результате в ходе наблюдений получен набор стандартных показателей, пригодных для уточнения региональных обобщений метеорологических характеристик.

Для периода 1988–2014 гг. оценен характер распределения снегозапасов: наибольший максимум в 105 мм отмечен в лиственном массиве; соотношение снегозапасов составляет в среднем 0,78 для сосняка и лиственного массива и 0,76 – для открытого участка и лиственного массива. Причина – перехват снега кронами хвойных деревьев с последующим его испарением, метелевый перенос и интенсивное испарение с поверхности снега на открытых пространствах. Заметных многолетних тенденций в изменениях приземной температуры воздуха, осадков и снегозапасов не обнаружено, коэффициенты линейных трендов всех характеристик незначимы.

Исследована динамика снегозапасов в периоды нарастания их до максимума и в период последующего убывания до полного разрушения устойчивого снежного покрова в каждом из характерных участков. Интенсивность убывания снегозапасов за счет быстрого повышения температуры воздуха весной повсеместно значительно превышает интенсивность нарастания снегозапасов. Наименьшая интенсивность изменений снегозапасов характерна для сосняка (в среднем 6,2 мм за период нарастания и -12,7 мм – за период убывания): в период нарастания снегозапасов кроны хвойных деревьев задерживают твердые осадки, снижая скорость снегонакопления; в период убывания снегозапасов, в том числе в период весеннего снеготаяния, кроны хвойных деревьев создают тень и защиту от ветра, замедляя таяние снега и испарение с него.

Расчет множественной регрессии показал высокую зависимость интенсивности изменений снегозапасов от изменчивости прежде всего осадков и лишь во вторую очередь от изменений приземной температуры воздуха. Многолетних тенденций в ходе величины снегозапасов, интенсивности снегонакопления (как в период нарастания, так и в период убывания) не обнаружено, коэффициенты линейных трендов незначимы.

Результаты

Показаны примеры использования гидрометеорологической информации в исследованиях изменчивости снегозапасов в условиях меняющегося климата последних десятилетий, необходимость постоянного совершенствования баз данных и методических подходов в связи с появлением новых технологий в исследованиях. В частности, оценена точность спутниковой информации при определении снегозапасов посредством учета таких особенностей ландшафта, как характер растительности, мощность снежного покрова и фоновый

температурный режим. Сопряженное использование различных информационных блоков – в данном случае блока с метеорологическими данными и блока с гидрологическими данными – позволило провести междисциплинарные оценки изменчивости условий зимне-весеннего периода. Наличие стандартных методов сбора и накопления информации определило возможность исследования метеорологических и криосферных процессов на локальном пространственном уровне, что в перспективе позволит уточнять региональные оценки изменчивости состояния окружающей среды.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Chang A., Rango A.* Algorithm Theoretical Basis Document for the AMSR/E Snow Water Equivalent Algorithm. Version 3.1. Greenbelt, MD, USA: NASA Goddard Space Flight Center, 2000.
2. *Георгиевский В.Ю.* Изменение стока рек России и водного баланса Каспийского моря под влиянием хозяйственной деятельности и глобального потепления: Автореф. дис. д-ра геогр. наук. СПб: СПбГУ, 2005.
3. *Шикломанов И.А., Георгиевский В.Ю.* Изменение стока рек России при глобальном потеплении климата // Труды VI Всероссийского гидрологического съезда. Москва, 2007. М: Метеоагентство Росгидромета, 2007. С. 159–163.
4. *Кислов А.В., Китаев Л.М., Константинов И.С.* Статистическая структура крупномасштабных особенностей поля снежного покрова // Метеорология и гидрология. 2001. № 8. С. 98–104.
5. *Жильцова Е.Л., Анисимов О.А.* О точности воспроизведения температуры и осадков на территории России глобальными климатическими архивами // Метеорология и гидрология. 2009. № 9. С. 66–74.
6. *Груза Г.В., Ранькова Э.Я., Клеценко Л.К., Смирнов В.Д.* О пространственном осреднении в задачах мониторинга климата // Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем. 2013. Том XXV. С. 42–71.
7. *Богданова Э.Г., Ильин Б.М., Драгомиллова И.В.* Опыт применения усовершенствованной методики корректировки суточных сумм осадков в различных климатических условиях // Труды ГГИ. 2003. Вып. 551. С. 23–50.
8. *Голубев В.С.* Изучение точности учета атмосферных осадков // Труды ГГИ. 1969. Вып. 176. С. 149–163.
9. *Китаев Л.М., Титкова Т.Б.* Локальная изменчивость снеготпасов в условиях современных изменений климата // Динамика многолетних процессов в экосистемах Центрально-Лесного заповедника / Под ред. А.С. Желтухина. Великие Луки: ООО «Великолукская городская типография», 2012. С. 33–40.
10. *Мишон В.М.* Теоретические и методические основы оценки ресурсов поверхностных вод в зонах недостаточного и неустойчивого увлажнения европейской части России: Автореф. дис. д-ра геогр. наук. Воронеж: Воронежский государственный университет, 2007.
11. *Алексеевский Н.И., Фролова Н.Л., Антонова М.М., Игонина М.И.* Оценка влияния изменений климата на водный режим и сток рек бассейна Волги // Вода: химия и экология. 2013. № 4. С. 3–12.

УДК [551.465.62+551.465.43](261.1)

ВЛИЯНИЕ АРКТИКИ НА ФОРМИРОВАНИЕ ТЕРМОХАЛИННЫХ АНОМАЛИЙ В СЕВЕРНОЙ АТЛАНТИКЕ

*А. Е. Вязилова^{1, 2 *}, А. А. Балакин^{1 **}, А. В. Смирнов^{1, 2 ***}*

¹ ФГБУ «ААНИИ», ² ФГБУ «Гидрометцентр России»,
^{*} vae@aari.ru, ^{**} balakin@aari.ru, ^{***} avsmir@aari.ru

Введение

Арктический регион находится под влиянием атмосферных переносов тепла и влаги из низких широт и поступления теплой и соленой воды из прилегающих областей океана. В свою очередь, Арктика влияет на глобальный климат через вынос пресной воды и морских льдов в Северную Атлантику (СА) [3, 4, 5].

Поток пресной воды из Арктики проходит через пролив Фрама и далее распространяется Восточно-Гренландским течением [6]. Распресненная полярная вода поступает также через проливы Канадского Арктического архипелага (КАА) в залив Баффина. Пройдя процесс трансформации в заливе Баффина, полярная вода экспортируется через Дэвисов пролив.

На объем, распределение пресной воды и морских льдов в Арктическом бассейне и пути их выноса из Арктики влияют несколько факторов. В первую очередь, это сокращение морского ледяного покрова, наблюдаемое в настоящее время в Арктике, которое сопровождается перераспределением содержания пресной воды в верхнем слое и морского льда [7]. Предполагается, что на перераспределение пресной воды влияют атлантические воды, поступающие в Арктику [8, 9]. Увеличенный приток теплых и соленых вод вызывает поднятие верхней границы слоя атлантических вод, тем самым уменьшая слой пресной воды вдоль Евразийского побережья.

Смещение запаса пресных вод связано также с усилением круговорота Бофорта [10, 11], сопровождающимся аккумулярованием распресненной воды в круговороте.

Результаты исследований [12] подтверждают увеличение запаса пресной воды в верхних слоях Северного Ледовитого океана

за период с 90-х гг. до 2006–2008 гг. Считается, что эти процессы являются результатом преобладания циклонической циркуляции атмосферы в Арктике в 1990–2000-е гг. [10], которая усиливает перенос пресных вод, поступивших с речным стоком с Евразии, на восток.

В Северной Атлантике наблюдались три периода опреснения поверхностных вод: в 1970-х, 1980-х и 1990-х гг. Большие объемы морского льда наблюдались в Гренландском море в конце 1960-х гг., затем поступившие с Восточно-Гренландским течением в Лабрадорское море – в начале 1970-х гг. Великая соленостная аномалия (ВСА) 1980-х гг., по мнению авторов работы [13], сформировалась в Лабрадорском море в результате суровых зим в начале 1980-х гг. и экспорта пресных вод из Арктики через проливы КАА.

Воздействие распресненных вод Восточно-Гренландского и Западно-Гренландского течений на глубинные бассейны до сих пор недостаточно изучено. Некоторые исследования предполагают, что экспорт пресных вод из Арктики практически не оказывает влияния на глубинную конвекцию в Лабрадорском море [14]. Другие исследования подтверждают, что поступающие потоки пресной воды в Лабрадорское море уменьшают формирование глубинных вод [15].

Экспорт пресных вод через Дэвисов пролив оказывает слабое воздействие на формирование лабрадорской водной массы [14]. Только аномалии солености, поступающие через пролив Фрама, влияют на глубокую конвекцию, в то время как соленостные аномалии, прошедшие через проливы КАА, выносятся Лабрадорским течением по периферии Лабрадорского моря [16].

Данные и методы анализа

Для исследования использованы данные океанографических наблюдений за период с 1940 по 2013 г., собранные в базе данных (БД) по Северо-Европейскому бассейну (СЕБ) [1]. В базу вошли данные о температуре, солености и основных гидрохимических параметрах. Примененные процедуры контроля качества позволили исключить сомнительные данные. Для анализа использовались только профили, полученные с помощью батиметрии или зондирования.

В работе были использованы материалы «Климатологического атласа Северо-Европейского бассейна и северной части Северной Атлантики» [2], созданного совместными усилиями ФГБУ «ААНИИ», Геофизического института Бергена, Норвегия, и Национальным океанографическим центром данных, США. Климатологический атлас включает декадные, периодические, ежегодные, а также ежемесячные климатологические поля на стандартных горизонтах по температуре, солёности и плотности для региона от 50 до 82° с. ш. и от 40° з. д. до 70° в. д. Данные интерполировались в узлы регулярной сетки (0,25×0,25°) с помощью программного пакета DIVA [17]. Также Атлас содержит временные диаграммы для перечисленных параметров (включая кислород) для 12 ключевых областей СЕБ. Для данной работы Атлас был расширен до 80° з. д.

Средние за десятилетия климатические распределения аномалий температуры и солёности в верхнем и глубинном слоях были рассмотрены для изучения влияния притока пресных вод из Арктики на формирование термохалинных аномалий и конвективных процессов в СЕБ и Северо-Западной Атлантике (СЗ СА).

Прохождение потоков распреснённых вод идентифицировалось по аномалиям солёности на вертикальных разрезах в западной части пролива Фрама (79,5° с. ш.) и северной части залива Баффина (76° с. ш.). Разрезы были построены по осредненным за десятилетия данным Климатологического атласа [2].

Роль летних потеплений в Арктике в формировании аномалий солёности в Северном Ледовитом океане

На графиках временного хода летних аномалий температур воздуха (июнь–август) для Арктики и Северной Атлантики выделяется потепление в 1950-х гг. до начала 1960-х гг. (рис. 1), которое наиболее ярко выражено в регионе СЗ СА. В морской Арктике также наблюдалась повышенная летняя температура воздуха в 1950-е гг. и в начале 1960-х гг., сменившаяся понижением и последующим быстрым ростом летних температур с начала 90-х гг. (рис. 1а). Для СЕБ и СЗ СА характерно повышение летних температур с середины 1990-х гг. по настоящее время, что хорошо заметно на графике аномалий по данным реанализа NCEP/NCAR (рис. 1б, 1в).

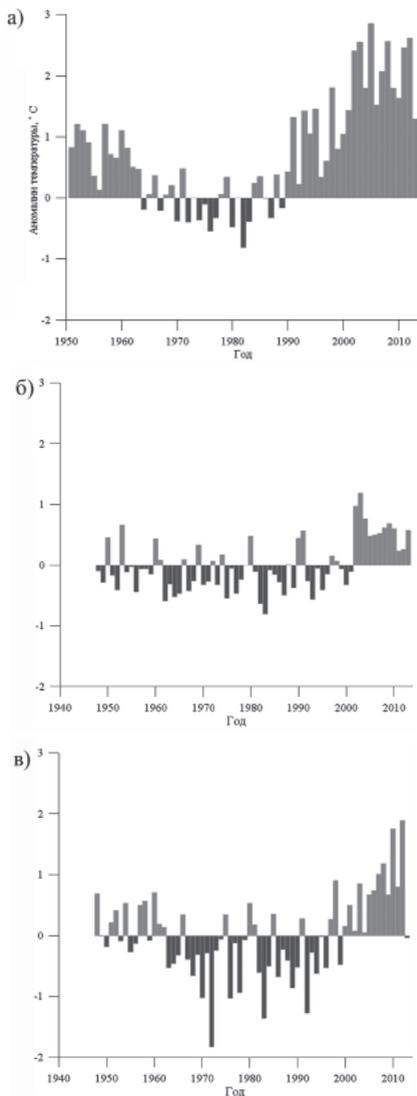


Рис. 1. Летние аномалии температуры воздуха (июнь–август):
а) в морской Арктике по данным метеостанций;
б) в СЕБ, 60° – 82° с. ш., 40° з. д.– 20° в. д. по данным реанализа NCEP/NCAR; в) в СЗ СА, 56° – 82° с. ш., 40° з. д.– 80° з. д. по данным реанализа NCEP/NCAR.

Большие положительные аномалии температуры воздуха в Арктике сопровождались усиленным таянием снега и льда и увеличением стока с окружающих материков [18, 19], что способствовало увеличению поступления пресной воды в арктические моря, Арктический бассейн, проливы КАА и пролив Фрама.

За летними потеплениями следуют отрицательные аномалии солености в Северной Атлантике. Наиболее известная из них, названная ВСА [20], наблюдалась в 1970-х гг. Другие ВСА были отмечены в 1980-х [13] и 1990-х гг. [21].

Распределение аномалий солености в проливе Фрама и северной части залива Баффина

Dickson et al. (1988) [20] считали понижение солености в Лабрадорском море в начале 1970-х гг. следствием усиления притока арктических вод с Восточно-Гренландским течением через пролив Фрама в 1960-х гг., на что позднее указывалось в работе Houghton, Visbeck (2002) [22]. Однако причина увеличения стока распресненной воды из Арктического бассейна в этих работах не названа. Из нашего анализа следует, что основная причина увеличения распреснения в Северной Атлантике в 1970-е гг. – это летнее потепление в Арктике в 1950-е гг. и в начале 1960-х гг.

На рис. 2 представлено распределение аномалий солености на разрезах в заливе Баффина (по 76° с. ш.) и в западной части пролива Фрама (по $79,5^\circ$ с. ш.) в разные десятилетия из Атласа [2]. Отрицательная аномалия солености 1960-х гг., проявившаяся как в проливе Фрама, так и в заливе Баффина, является предвестником ВСА, наблюдавшейся в акватории СА в 1970-х гг. [20].

Основным источником для ВСА 1990-х гг. был вынос морских льдов и пресной воды через проливы КАА [21], что подтверждается отрицательной аномалией солености в 1990-х гг. на разрезе в северной части залива Баффина, в то время как в проливе Фрама наблюдались положительные аномалии солености. Для периода с 2001 по 2012 г. в заливе Баффина видна обширная отрицательная аномалия солености, проявляющаяся, но в меньшей степени, и в проливе Фрама. Такая согласованность в формировании аномалий похожа на 1960-е гг., что может быть предвестником новой ВСА в СА.

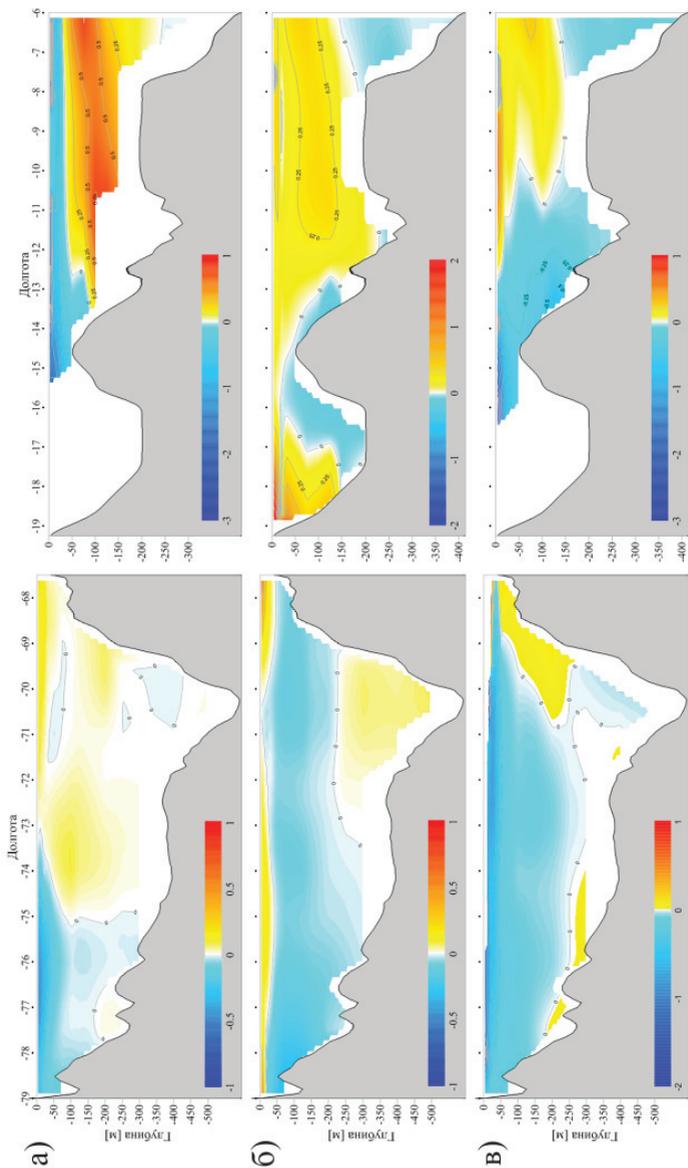


Рис. 2. Распределение аномалий солёности на разрезах в северной части залива Баффина (левая колонка), западной части пролива Фрама (правая колонка): а) 1961–1970 гг., б) 2001–2012 гг.

Влияние выноса пресных вод из Арктики на формирование термохалинных аномалий в Северной Атлантике

Изменения поверхностной солености в регионах глубокой конвекции являются следствием вариаций пресноводного потока через пролив Фрама и проливы КАА. На рисунке 3 представлено декадное климатологическое распределение аномалий температуры и солености в СА на горизонте 50 м.

В 1968–1970-х годах произошел вынос большого объема морских льдов и пресной воды через пролив Фрама [23], на рис. 3 отрицательные аномалии солености прослеживаются в проливе Фрама на горизонте 50 м в 1960-х гг. В конце 1960-х гг. экспорт пресной воды достиг Лабрадорского моря.

Для 1970-х и 1980-х гг. характерны отрицательные аномалии солености в целом для акватории СА, т. н. ВСА 1970-х и 1980-х гг.

Увеличенный экспорт пресной воды через проливы КАА в течение 1980-х гг. до середины 1990-х гг. был основным источником ВСА 1990-х гг. [11], что на рис. 3 подтверждается сильными отрицательными аномалиями солености в заливе Баффина в 1990-е годы.

С 2001 по 2013 г. в северной части залива Баффина наблюдается общий отрицательный соленостный фон, а в Восточно-Гренландском течении – отрицательные аномалии солености. Для всего бассейна в этот период характерна повышенная соленость на горизонте 50 м, что связано с влиянием Северо-Атлантического течения и потеплением температуры воздуха в последние десятилетия.

Во временной изменчивости аномалий температуры в Гренландском море (рис. 4) выделяются период отрицательных аномалий температуры на всех уровнях с 1960-х до конца 1980-х гг. и увеличение температуры в последующие годы. Вынос морского льда через пролив Фрама в 1968–1970 и 1980–1982 гг., затем поступившего в Северо-Европейский бассейн, привел к устойчивому формированию глубинной конвекции [16]. В последние десятилетия формирование глубинных вод в Гренландском море не происходит вследствие сильного потепления верхних слоев океана (рис. 3, 4).

Пресные воды, экспортируемые через пролив Фрама, в основном остаются в Восточно-Гренландском течении и поступают в субполярную Атлантику, ослабляя конвекцию в Лабрадорском море [16]. В начале 1970-х гг. в верхнем слое сильные

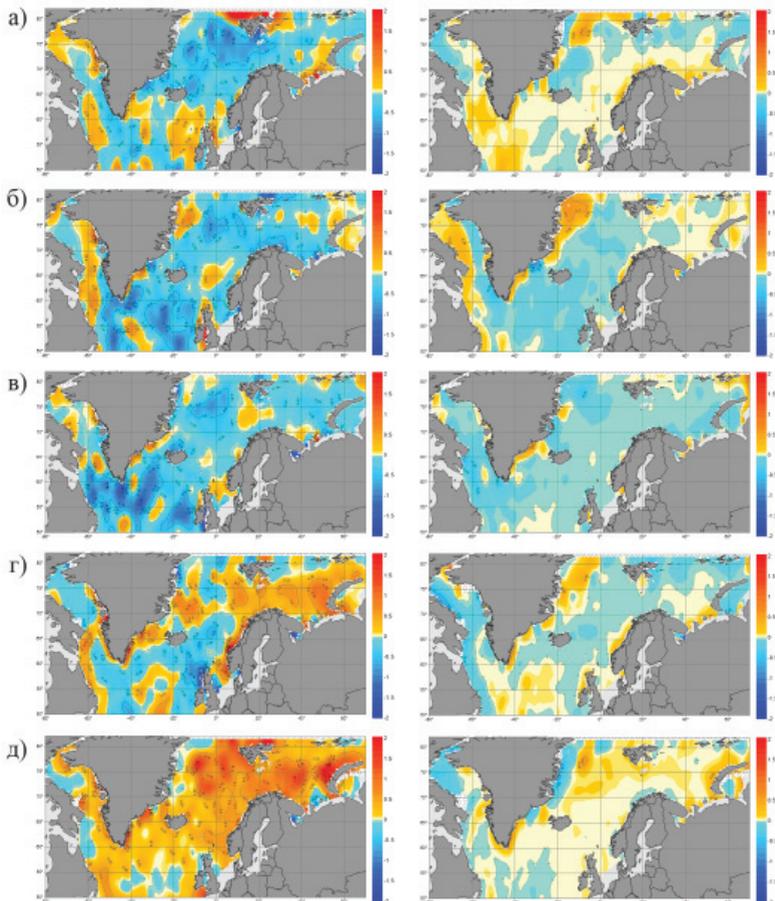


Рис. 3. Климатические поля аномалий температуры (левая колонка) и солёности (правая колонка) по декадам на горизонте 50 м:
а) 1961–1970 гг., б) 1971–1980 гг., в) 1981–1990 гг.,
г) 1991–2000 гг., д) 2001–2013 гг.

отрицательные аномалии солёности и температуры отражают поступление пресных вод, которые достигли Лабрадорского моря с Восточно-Гренландским течением, остановив конвекцию на период с 1961 по 1971 г. [24] и ослабив ее до середины 1980-х гг. [25]. Ослабление конвекции в 1970-х и 1980-х гг. связано с великими солёностными аномалиями тех же годов.

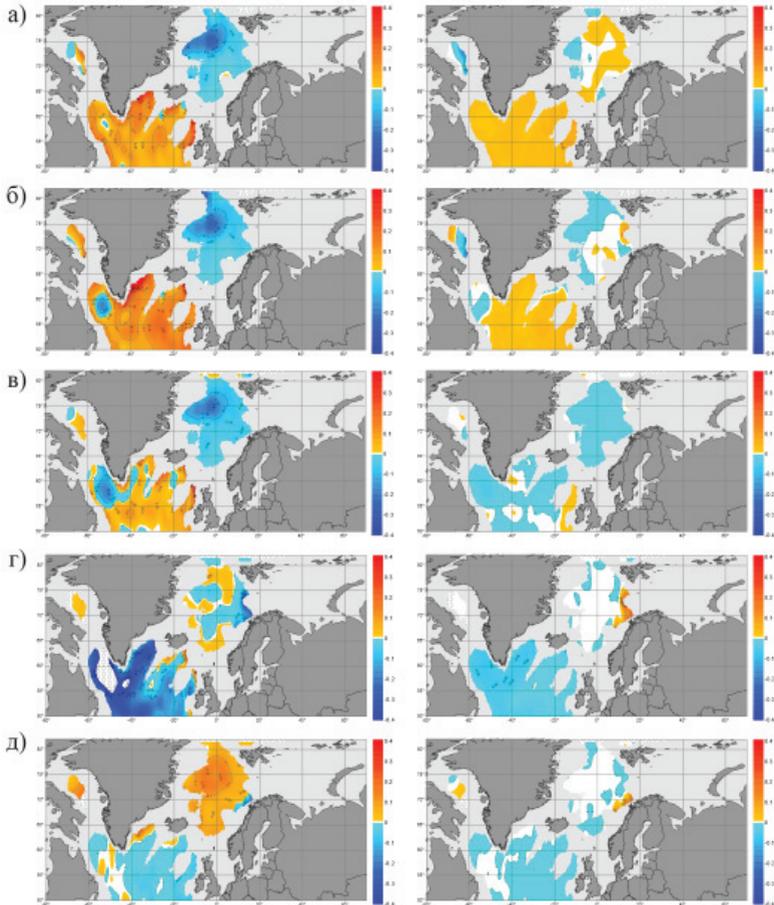


Рис. 4. Климатические поля аномалий температуры (левая колонка) и солёности (правая колонка) по декадам на горизонте 1750 м:
 а) 1961–1970 гг., б) 1971–1980 гг., в) 1981–1990 гг.,
 г) 1991–2000 гг., д) 2001–2013 гг.

На рис. 4 наиболее значительные отрицательные аномалии температуры в 1990-е гг. соответствуют образованию экстремально холодной и плотной лабродорской водной массы [25]. Конвекция в тот период достигала глубин 2300 м [5]. С середины 1990-х гг. конвекция в Лабродорском море была неглубокой, а в некоторые года практически отсутствовала.

Повышенный приток пресных вод в верхние слои Лабрадорского моря приводит к ослаблению конвекции, а влияние притока пресных вод на конвекцию в Гренландском море отсутствует в связи с тем, что формирование глубинных вод и так в настоящее время не происходит вследствие сильного потепления верхних слоев океана.

Выводы

Увеличение притока атлантических вод в Арктику в 1990–2000-е гг. привело к смещению запаса пресных вод в Канадский бассейн и уменьшению содержания распресненных вод над областями распространения атлантической воды в Арктическом бассейне.

Летние потепления в Арктике увеличивают поступление пресной воды в Арктический бассейн и затем в Северную Атлантику через пролив Фрама и проливы Канадского Арктического архипелага.

В Северо-Европейском бассейне и северо-западной части Северной Атлантики отмечаются периоды распреснения верхнего слоя в начале 1960-х и в 2000-е гг., связанные с усилением летнего таяния и притока воды из Арктики.

В последнее десятилетие большая часть потоков пресных вод проходит через проливы Канадского Арктического архипелага.

В настоящее время наблюдается общее повышение солености поверхностного слоя в рассматриваемом районе Северной Атлантики за счет увеличения притока из низких широт.

Вынос пресной воды и морских льдов приводит к ослаблению конвекции в годы значительного экспорта из Арктики с дальнейшим охлаждением и опреснением вод практически во всех слоях (с 1960-х до конца 1980-х гг. в Гренландском море, с 1970 по 2000 г. в Лабрадорском море).

В настоящее время притоки пресной воды ослабили конвекцию в Лабрадорском море, а в Гренландском море конвекция не наблюдается вследствие сильного потепления верхних слоев океана.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект №14-37-00053) в Гидрометцентре России (и МФТИ, Московский физико-технический институт (государственный университет)).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Кораблев А.А., Пнюшков А.В., Смирнов А.В.* Создание океанографической базы данных для мониторинга климата в Северо-Европейском бассейне Арктики // Труды ААНИИ. 2007. Т. 447. С. 85–108.
2. *Korablev A., Smirnov A., Baranova O.K.* 2014. Climatological Atlas of the Nordic Seas and Northern North Atlantic // D. Seidov, A. R. Parsons, Eds. 2014. NOAA Atlas NESDIS 77. 116 p.
3. *Алексеев Г.В., Иванов В.В., Кораблев А.А.* Межгодовая изменчивость глубокой конвекции в Гренландском море // Океанология. 1995. Т. 35, № 1. С. 45–52.
4. *Алексеев Г.В.* Исследования изменений климата Арктики в XX столетии // Труды ААНИИ. 2003. Т. 446. С. 6–21.
5. *Dickson R., Lazier J., Meincke J., Rhines P., Swift J.* Long-term coordinated changes in the convective activity of the North Atlantic // J. Prog. Oceanog. 1996. V. 38. P. 241–295.
6. *Kwok R., Cunningham G.F., Pang S.S.* Fram Strait sea ice outflow // J. Geophys. Res. 2004. V. 109. NC1.doi:10.1029/2003JC001785.
7. *Kwok R., Rothrock D.A.* Decline in Arctic sea ice thickness from submarine and ICESat records: 1958–2008 // Geophys. Res. Lett. 2009. V. 36, N 15. doi:10.1029/2009GL039035.
8. *Hakkinen S., Proshutinsky A.* Freshwater content variability in the Arctic Ocean // J. Geophys. Res. 2004. V. 109. C03051. doi:10.1029/2003JC001940.
9. *Алексеев Г.В., Иванов Н.Е., Пнюшков А.В., Балакин А.А.* Изменения климата в морской Арктике в начале XXI века // Проблемы Арктики и Антарктики. 2010. № 3 (86). С. 22–34.
10. *Proshutinsky A., Krishfield R., Timmermans M.-L., Toole J., Carmack E., McLaughlin F., Williams W.J., Zimmermann S., Itoh M., Shimada K.* Beaufort Gyre freshwater reservoir: State and variability from observations // J. Geophys. Res. 2009. V. 114. C00A10. doi:10.1029/2008JC005104.
11. *Jahn A., Tremblay B., Mysak L.A., Newton R.* Effect of the large-scale atmospheric circulation on the variability of the Arctic Ocean freshwater export // Climate Dynamics. 2010. V. 34. P. 201–222.
12. *Rabe B., Karcher M., Schauer U., Toole J.M., Krishfield R.A., Pisarev S., Kauker F., Gerdes R., Kikuchi T.* An assessment of Arctic Ocean freshwater content changes from the 1990s to the 2006–2008 period // Deep-Sea Res. I. 2011. V. 58. P. 173–185.
13. *Belkin I., Levitus S., Antonov J., Malmberg S.-A.* «Great Salinity Anomalies» in the North Atlantic // Progress in Oceanography. 1998. V. 41. P. 1–68.
14. *Myers P.G.* Impact of freshwater from the Canadian Arctic Archipelago on Labrador Sea Water formation // Geophys. Res. Lett. 2005. V. 32. L06605.
15. *Lazier J.* Oceanographic conditions at Ocean Weather Ship BRAVO, 1964–1974 // Atmosphere–Ocean. 1980. V. 18. P. 227–238.
16. *Gerdes R., Karcher M., Köberle C., Fieg K.* Simulating the Long-Term Variability of Liquid Freshwater Export from the Arctic Ocean // Arctic–Subarctic Ocean Fluxes. Defining the Role of the Northern Seas in Climate. Editors: Dickson R.R., Meincke J., Rhines P. 2008: Springer Netherlands, 2008. P. 405–425. doi: 10.1007/978-1-4020-6774-7-18.
17. *Troupin C. et al.* Generation of analysis and consistent error fields using the Data Interpolating Variational Analysis (DIVA) // Ocean Model. 2012. V. 52–53. P. 90–101.

18. *Alekseev G.V., Bulatov L.V., Zakharov V.F.* Fresh water freezing/melting cycle in the Arctic Ocean // Proceedings of the NATO Advanced Research Workshop on The Freshwater Budget of the Arctic Ocean. Series 2. Environment Security. E.L. Lewis et al., Eds. Kluwer Academic Press. 2000. V. 70. P. 589–608.

19. *Shiklomanov I.A., Shiklomanov A.I., Lammers R.B., Peterson B.J., Vorosmarty C.J.* The dynamics of river water inflow to the Arctic Ocean // Proceedings of the NATO Advanced Research Workshop on The Freshwater Budget of the Arctic Ocean. Series 2. Environment Security. E.L. Lewis et al., Eds. Kluwer Academic Press. 2000. V. 70. P. 281–296.

20. *Dickson R.R., Meincke J., Malmberg S.-A., Lee A.J.* The «Great Salinity Anomaly» in the northern North Atlantic 1968–1982 // Progress in Oceanography. 1988. V. 20. Pergamon. P. 103–151.

21. *Belkin I.* Propagation of the «Great Salinity Anomaly» of the 1990s around the northern North Atlantic // Geophys. Res. Lett. 2004. V. 31, N 8. doi: 10.1029/2003GL019334.

22. *Houghton R., Visbeck M.* Quasi-decadal Salinity Fluctuations in the Labrador Sea // J. Phys. Oceanography. 2002. V. 32. P. 687–701.

23. *Zhang R., Vallis G.K.* Impact of Great Salinity Anomalies on the Low-Frequency Variability of the North Atlantic Climate // J. Climate. 2006. V. 19. P. 470–482.

24. *Gelderloos R., Straneo F., Katsman C.* Mechanisms behind the Temporary Shut-down of Deep Convection in the Labrador Sea: Lessons from the Great Salinity Anomaly Years 1968–71 // J. Climate. 2012. V. 25. P. 6743–6755.

25. *Curry R.G., McCartney M.S., Joyce T.M.* Oceanic transport of subpolar climate signals to mid-depth subtropical waters // Nature. 1998. V. 391. P. 575–577.

УДК 551.557(470+571)

ОСОБЕННОСТИ РЕЖИМА ВЕТРА В СВОБОДНОЙ АТМОСФЕРЕ НАД ТЕРРИТОРИЕЙ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ В 2015 ГОДУ

А. С. Лавров, А. В. Хохлова, А. М. Стерин

*ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский институт
гидрометеорологической информации – Мировой центр данных»*

Введение

Ветровой режим является одной из важнейших метеорологических характеристик атмосферы. Ветер определяет погодноклиматические условия и их изменения, а также перенос количества движения, тепла и влаги. Климатические характеристики скорости и направления ветра используются в прогностических схемах и в прикладных целях: для ветроэнергетических оценок, для проектирования объектов, для баллистических расчетов при проектировании и эксплуатации всех видов летательных аппаратов, при моделировании и прогнозе распространения загрязнений. Следует отметить, что исследованиям режима ветра в свободной атмосфере обычно уделяется гораздо меньше внимания, чем другим метеоэлементам [1], хотя в последнее время интерес к точному описанию ветра в свободной атмосфере возрос, так как оно важно для решения перечисленных выше прикладных задач, а также для объяснения изменений в приземном ветре [2, 3].

Разработка системы мониторинга ветрового режима в свободной атмосфере является одной из задач, решаемых в ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД». В рамках решения этой задачи выполнен цикл работ, позволяющих определить особенности ветрового режима в свободной атмосфере в течение анализируемого года. В настоящей статье описаны используемые подходы и приведены некоторые результаты анализа режима ветра в свободной атмосфере над территорией РФ в 2015 году.

Данные и их обработка

Анализ особенностей режима ветра выполняется на основе срочных данных радиозондовых наблюдений около 100 аэрологических станций РФ (рис. 1), содержащихся в регулярно

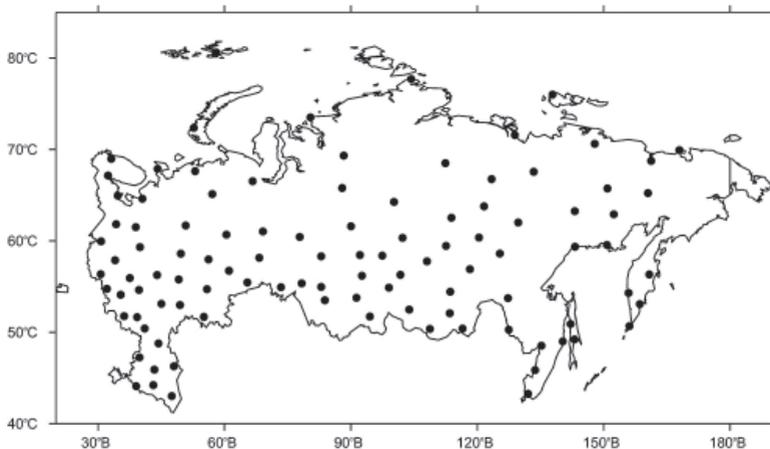


Рис. 1. Станции, использовавшиеся в анализе

пополняем аэрологическом массиве АЭРОСТАС [4–6]. Перед включением в архив данные наблюдений прошли комплексный контроль качества [7, 8]. Для анализа режима ветра по каждой из станций рассчитывались среднемесячные скорость и компоненты скорости ветра, средние за 30-летний период 1985–2014 гг. скорость и компоненты скорости ветра, а также аномалии скорости ветра [9, 10]. Оценки среднемесячной скорости и аномалий скорости ветра были получены на стандартных изобарических поверхностях для каждой станции отдельно для сроков 00 и 12 GMT. Далее оценки взвешенно усреднялись в пределах месяца. Также на основе взвешенного вертикального обобщения были получены оценки скорости и аномалий скорости для двух слоев атмосферы: 850–300 гПа (тропосфера) и 100–50 гПа (нижняя стратосфера). Все использованные в расчетах станции имеют не менее 20 лет наблюдений за расчетный период.

Среднемесячные оценки скорости и аномалий скорости также усреднялись по сезонам: зима (декабрь 2014 г. – февраль 2015 г.), весна (март–май), лето (июнь–август), осень (сентябрь–ноябрь) – и по году в целом (январь–декабрь). Для анализа конкретного временного интервала – месяца, сезона или года – использовались только станции, число наблюдений на которых за соответствующий период составляет не менее 50 % от максимально возможного за этот период.

Режим ветра в тропосфере над территорией РФ в 2015 году

На рис. 2 показано распределение средних сезонных скоростей и направлений ветра над территорией РФ в 2015 г. для отдельных сезонов. Рис. 3 по структуре аналогичен рис. 2, но демонстрирует климатологию скорости и направления ветра за 30-летний период 1985–2014 гг. для каждого из сезонов. На рис. 4 показаны аномалии скорости ветра в 2015 г. по сравнению с 30-летним периодом 1985–2015 годов.

В течение всех сезонов большие скорости ветра преобладают над европейской частью России и в Западной Сибири. Здесь же на протяжении всего года преобладает западное направление ветра. Максимальные средние скорости ветра наблюдаются на юге Западной Сибири во всех сезонах, за исключением лета. По сравнению с 30-летними средними область наибольшей скорости ветра зимой 2014/15 г. смещена на запад, а весной – на юго-восток. Летом в среднем скорость ветра уменьшается в направлении с севера на юг, но в 2015 г. максимальные средние скорости ветра пришлось на европейскую часть России. Зимой скорость ветра максимальна по сравнению с остальными сезонами (до 20 м/с), летом – минимальна (до 15,5 м/с). Наименьшие средние скорости ветра наблюдаются в Восточной и Северо-Восточной Сибири, в области Восточно-Сибирского антициклона. Здесь же во все сезоны, кроме летнего, нет сильно выраженного западного направления ветра. Летом наименьшая скорость наблюдается в Забайкальском крае и Амурской области.

Зимой и летом на большей части РФ наблюдаются положительные аномалии по сравнению с 30-летними средними скоростями ветра. Положительные аномалии заключены между 50 и 70° с.ш. В пределах этой полосы отрицательные аномалии наблюдаются в Забайкальском крае, Амурской области и на юге Хабаровского края для обоих сезонов, над Алтаем и Саянами – зимой и на севере Уральских гор – летом. Наибольшие аномалии наблюдаются над европейской частью России летом (до 4 м/с). Весной и осенью над большей частью РФ преобладают отрицательные аномалии. При этом весной наименьшими аномалиями характеризуется область Восточно-Сибирского моря, а осенью – север Западной Сибири (до -3 м/с в обоих случаях). Весной положительные аномалии наблюдаются только на западе России, юге

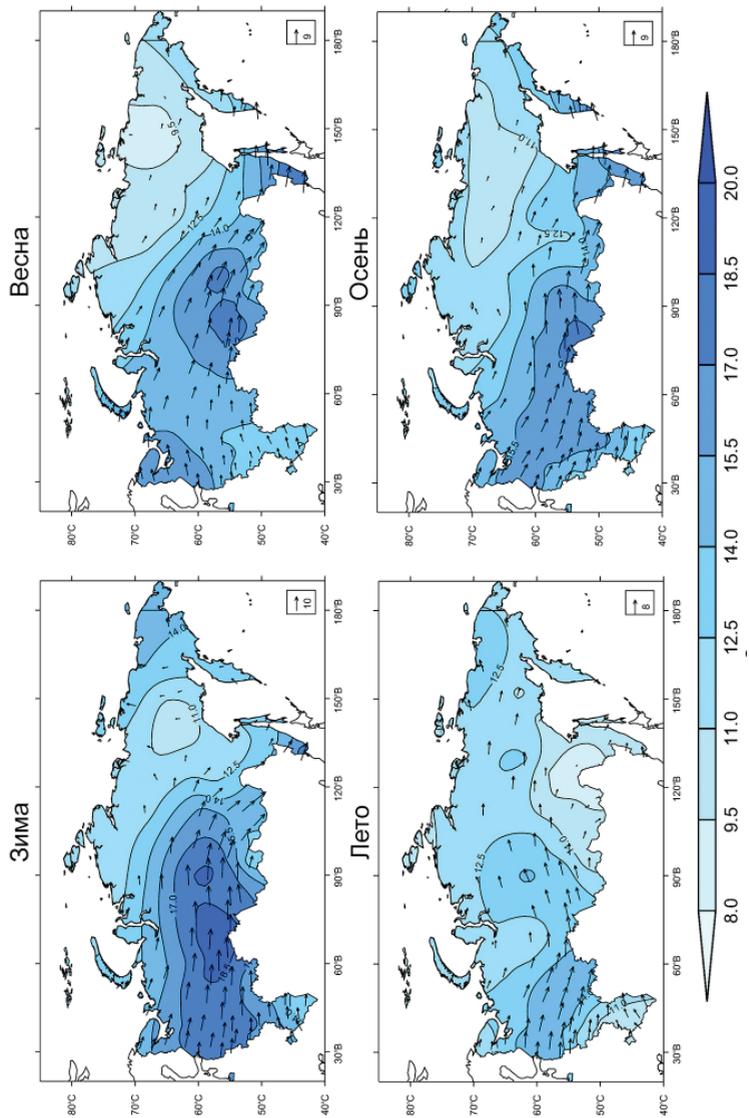


Рис. 2. Средняя скорость и направление ветра в тропосфере в 2015 г.

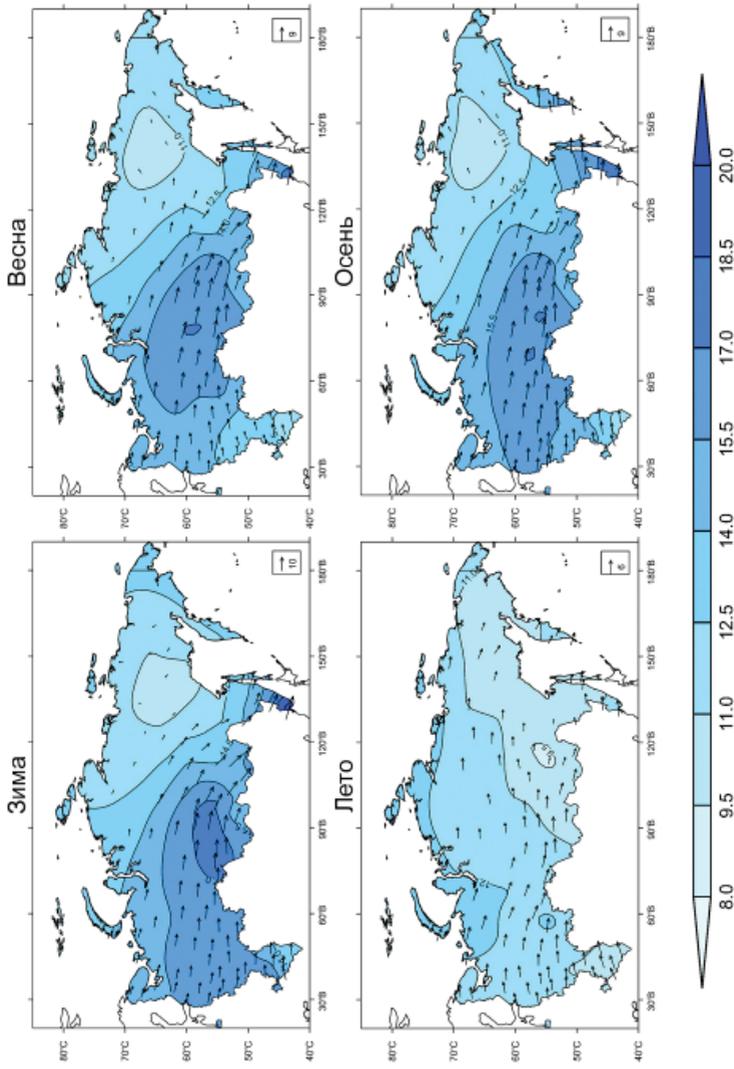


Рис. 3. Средняя скорость и направление ветра в тропосфере за период 1985–2014 гг.

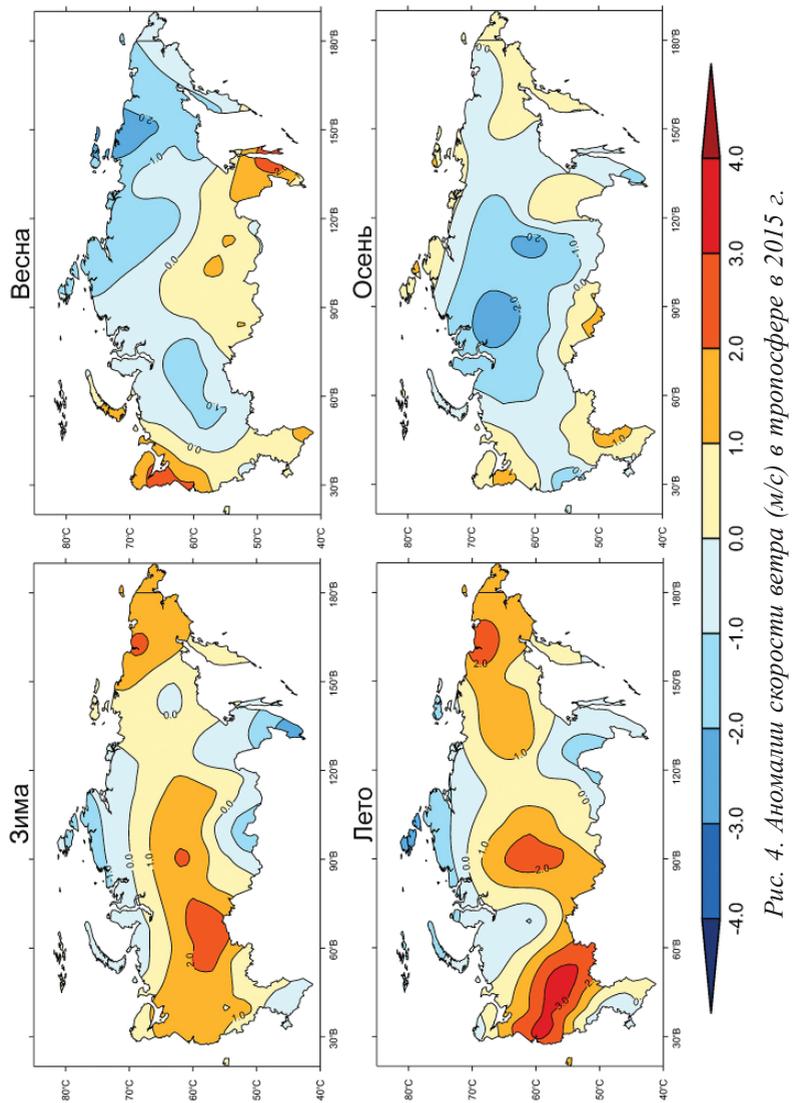


Рис. 4. Аномалии скорости ветра (м/с) в тропосфере в 2015 г.

Восточной Сибири и на юге Дальнего Востока. Положительные аномалии осенью наблюдаются на северо-западе и юге европейской части России, на юго-западе Западной Сибири, на Камчатке и Чукотке и в прибрежном районе моря Лаптевых.

Режим ветра в нижней стратосфере над территорией РФ в 2015 году

На рис. 5 показано распределение средних сезонных скоростей и направлений ветра над территорией РФ в 2015 г. для отдельных сезонов. Рис. 6 по структуре аналогичен рис. 5, но демонстрирует климатологию скорости и направления ветра за 30-летний период 1985–2014 гг. для каждого из сезонов. На рис. 7 показаны аномалии скорости ветра в 2015 г. по сравнению с 30-летним периодом 1985–2015 годов.

Зимой, так же как и в тропосфере, наблюдается наибольшая среди всех сезонов скорость ветра (до 30 м/с). По сравнению с 30-летними средними область наибольшей скорости ветра сместились на северо-запад. Они наблюдаются на севере европейской части России и в Западной Сибири, а также в прибрежном районе Восточно-Сибирского моря. Направление ветра зимой в основном западное, но на Дальнем Востоке изменяется на юго-западное. Весной наибольшие скорости ветра достигаются на юге Забайкалья. Минимальные скорости наблюдаются в центре Восточной Сибири и на западе Центрального федерального округа. В Западной Сибири наблюдается северо-западное направление ветра, а на Дальнем Востоке сохраняется юго-западное направление. Летом наблюдаются наименьшие среди всех сезонов скорости ветра (до 10,5 м/с). Над европейской частью России сохраняется западное направление ветра, а над азиатской частью ярко выраженного направления ветра нет. Связано это с летним изменением направления ветра с западного на восточное выше в стратосфере. Осенью скорость ветра возрастает в направлении с севера на юг.

На протяжении всего года над территорией РФ преобладают положительные аномалии по сравнению с периодом 1985–2014 гг. Особенно большие аномалии наблюдаются зимой и весной (до 6 м/с). Зимой максимальные аномалии приходятся на север европейской части России и Западную Сибирь, а так же на прибрежный район Восточно-Сибирского моря. Отрицательные аномалии наблюдаются на Камчатке, юге Дальнего Востока,

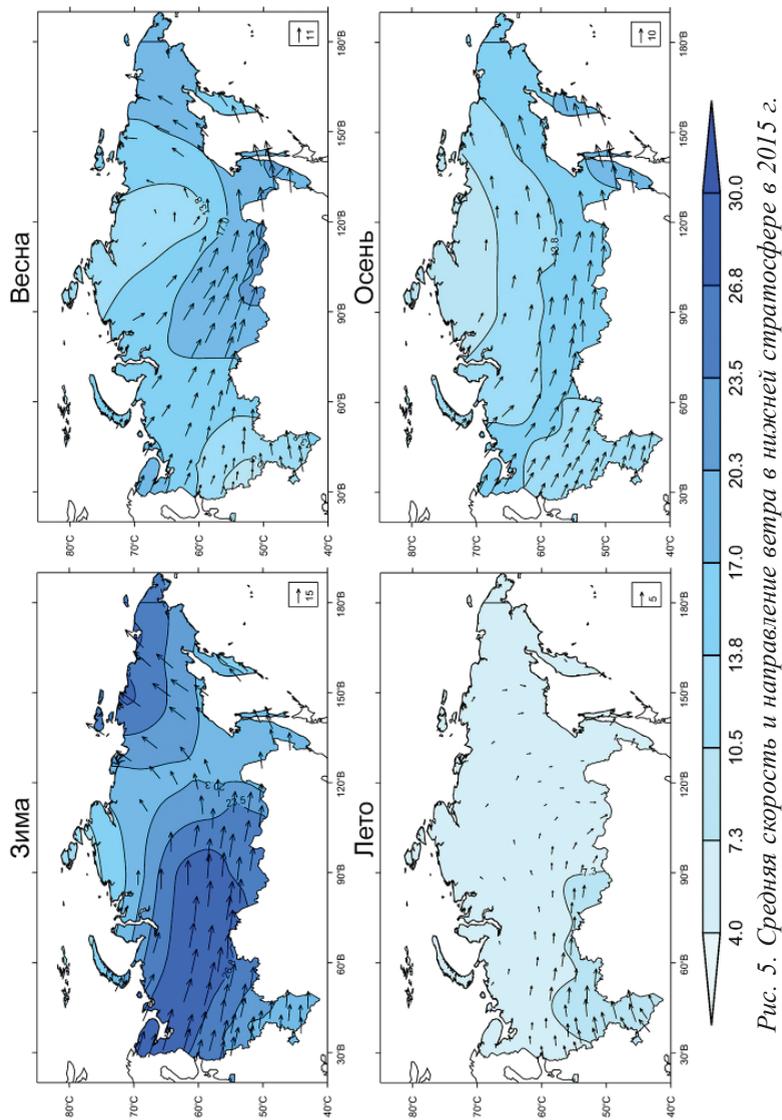


Рис. 5. Средняя скорость и направление ветра в нижней стратосфере в 2015 г.

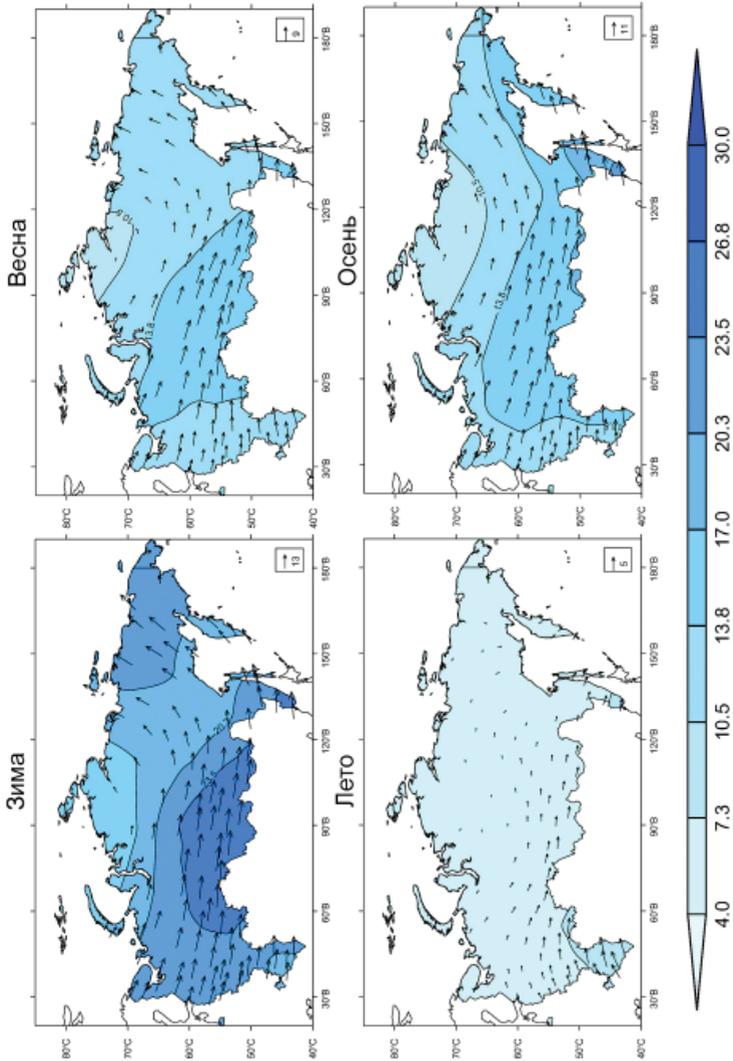
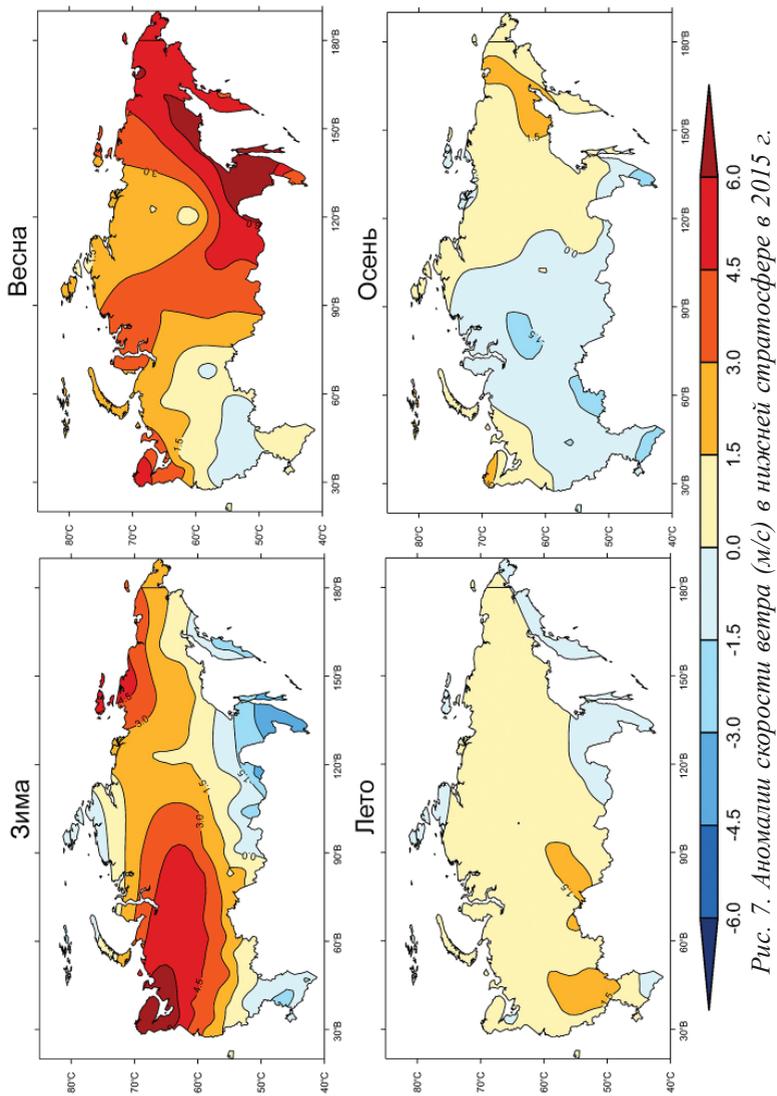


Рис. 6. Средняя скорость и направление ветра в нижней стратосфере за период 1985–2014 гг.



Кавказе и на мысе Челюскин. В Приморском крае наблюдаются самые большие отрицательные аномалии среди всех сезонов (до $-4,5$ м/с). Весной максимальные аномалии наблюдаются на Дальнем Востоке, в Карелии и на Кольском полуострове. Небольшие отрицательные аномалии наблюдаются в Центральном и Приволжском федеральных округах. Летом пространственное распределение аномалий аналогично зимнему распределению, только большая часть значений аномалий лежит в пределах от $-1,5$ м/с до $1,5$ м/с. Осень является единственным сезоном с большим количеством отрицательных аномалий. Отрицательные аномалии наблюдаются в Западной Сибири, на западе Восточной Сибири и на европейской части России, за исключением ее северо-запада.

Заключение

2015 г. характеризуется большей скоростью ветра по сравнению с 30-летними средними скоростями за период 1985–2014 гг. Отрицательные аномалии скорости ветра над значительной частью территории РФ наблюдаются только весной и осенью в тропосфере и осенью в нижней стратосфере. Очень большими положительными аномалиями характеризуются зима и весна в нижней стратосфере (до 6 м/с) и лето в тропосфере, особенно над европейской частью России (до 4 м/с). В течение года, как в тропосфере, так и в нижней стратосфере, зимой наблюдаются наибольшие скорости, а летом – наименьшие. При этом в тропосфере максимальная скорость изменяется от $15,5$ до 20 м/с, а в нижней стратосфере от $10,5$ до 30 м/с.

Над европейской частью России и в Западной Сибири в обоих слоях на протяжении почти всего года преобладает западное направление ветра, исключением является весна в нижней стратосфере, когда в Западной Сибири ветер приобретает северо-западное направление. В Восточной Сибири западное направление сохраняется только летом в тропосфере и осенью в нижней стратосфере. В остальных случаях ветер либо не имеет ярко выраженного направления (зима, весна и осень в тропосфере и лето в нижней стратосфере), либо направление меняется на юго-западное (зима и весна в нижней стратосфере).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. IPCC, 2013: *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. P. 226.
2. Allen R.J., Sherwood S.C. Warming maximum in the tropical upper troposphere deduced from thermal winds // *Nature Geoscience*, 2008. 1. С. 399–403.
3. Vautard, R., J. Cattiaux, P. Yiou, J. N. The paut, P. Ciais. Northern Hemisphere atmospheric stalling partly attributed to an increase in surface roughness. // *Nature Geoscience*, 2010. 3. P. 756–761.
4. Казначеева В.Д., Коротков А.П., Нагорная Т.С., Руденкова Т.В. Организация информационной базы данных аэрологических наблюдений (ГМБД «АЭРОЛОГИЯ») // Труды ВНИИГМИ-МЦД. Обнинск. 1980. Вып. 81. С. 3–42.
5. Казначеева В.Д., Руденкова Т.В. Организация текущих аэрологических данных на магнитных лентах ЕС // Труды ВНИИГМИ-МЦД. Обнинск. 1985. Вып. 115. С. 91–108.
6. Руденкова Т.В. Формат архивации текущих аэрологических данных, поступающих по каналам связи для ПЭВМ // Труды ВНИИГМИ-МЦД. Обнинск. 2010. Вып. 174. С. 41–63.
7. Алдухов О.А. Комплексный контроль аэрологических данных ПГЭП уровня II // *Метеорология и гидрология*. 1983. № 12. С. 94–102.
8. Алдухов О.А., Черных И.В. Методы анализа и интерпретации данных радиозондирования атмосферы. Т. 1. Контроль качества и обработка данных. Обнинск: ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД», 2013. 306 с.
9. Богаткин О.Г. *Авиационные прогнозы погоды*. СПб.: БХВ-Петербург, 2010. 288 с.
10. Гутерман И.Г. *Распределение ветра над Северным полушарием*. 1965: Гидрометеорологическое издательство. 249 с.

УДК 551.509.9: 338.462

О НЕКОТОРЫХ АСПЕКТАХ ОЦЕНКИ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ПОЛЕЗНОСТИ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ

А. А. Фокичева¹, А. Г. Тимофеева²** , Е. П. Истомин¹****

*¹ ФГБОУ ВО «Российский государственный
гидрометеорологический университет»,*

*² ФГБОУ ДПО «Институт повышения квалификации руководящих
работников и специалистов Росгидромета»*

** fokicheva@rshu.ru, ** ipkrector@mecom.ru, *** biom@rshu.ru*

Применение гидрометеорологической информации в экономической деятельности делает необходимым оценку экономической полезности ее использования. Экономическая полезность гидрометеорологической информации определяется двумя условиями: качеством информации и способностью потребителя эффективно использовать информационный гидрометеорологический ресурс. Количественными показателями экономической полезности использования гидрометеорологической информации в хозяйственной деятельности являются экономический эффект и экономическая эффективность, при этом трактовка понятий должна согласовываться с определениями этих терминов, используемыми в экономике [1]. В общем, под экономическим эффектом понимается экономический результат или прирост между первоначальным и полученным итогом в результате внедрения интенсивных технологий, организационно-экономических мероприятий и т. п. Экономический эффект является абсолютным показателем и измеряется разностью между денежным доходом от деятельности и денежными расходами на ее осуществление. Сравнение экономических субъектов между собой по результатам деятельности осуществляется на основе относительного показателя «экономическая эффективность», характеризующего отношение полученного результата к затратам, обусловившим этот результат.

Применительно к исследуемой проблеме получение экономического результата достигается за счет использования специфического информационного ресурса – метеорологической информации. Спрос на метеорологическую информацию является

производным спросом, поскольку данная информация необходима для принятия решений на других рынках, т.е. экономические субъекты выступают потребителями на рынке гидрометеорологической информации и услуг. При осуществлении экономической деятельности используется информация о текущей погоде, режимно-справочная (климатическая) информация, а также прогнозы погоды различной заблаговременности. Определять экономический эффект необходимо для каждой из перечисленных групп, при этом методы расчета экономического эффекта будут различаться. Далее будем рассматривать использование прогностической информации о состоянии гидрометеорологической среды и особенности определения ее экономической полезности в соответствии с методом Л.А. Хандожко. Метод оценки экономического эффекта и экономической эффективности метеорологических прогнозов Л.А. Хандожко рекомендован к использованию Центральной методической комиссией Росгидромета и подробно изложен в работах [2, 3]. В данном методе под экономическим эффектом от использования оперативных методических прогнозов понимаются сэкономленные потребителем материальные ценности (получаемые за счет преимущества использования методических прогнозов относительно стандартных) за вычетом затрат на разработку прогностической информации в Гидрометслужбе.

Особенности интерпретации экономического эффекта связаны с производством гидрометеорологической информации на бюджетные средства и возможностью восприятия ее как частного и общественного блага. Экономическим результатом при использовании метеорологических прогнозов выступают сэкономленные материальные ценности, экономия достигается в сфере материального производства. Однако при разработке метеорологических прогнозов используются данные государственной наблюдательной сети Росгидромета, содержание которой требует значительных затрат со стороны государственного бюджета, поэтому затраты относятся к области деятельности поставщика гидрометеорологической информации. Это позволяет определить экономический эффект от использования оперативных методических прогнозов как народохозяйственный экономический эффект.

Оценка экономического эффекта использования прогностической информации предполагает описание зависимости хозяйственной деятельности от погодных условий в виде функции

полезности. Функция полезности отражает экономические последствия погодохозяйственных решений, учитывающих влияние гидрометеорологических условий на хозяйственную деятельность и принимаемых с учетом ожидаемой погоды. Потребители метеорологической информации могут рассматривать погодные условия как фактор, способствующий получению дохода, а также как фактор, вызывающий дополнительные издержки. Для большинства экономических субъектов наиболее существенными оказываются издержки, связанные с ожиданием и реализацией неблагоприятной погоды – потери по метеорологическим причинам. В этом случае все многообразие погодных условий рассматривается как благоприятные условия, не создающие помех для осуществления экономической деятельности, и неблагоприятные условия, влекущие дополнительные затраты. Пороговые значения метеорологических характеристик для восприятия погодных условий как благоприятных или неблагоприятных определяются потребителем на основании специфики производственной деятельности.

При количественном описании погодозависимости данное представление позволяет использовать модификацию функции полезности – матрицу потерь. Издержки потребителя будут определяться соответствием фактической и ожидаемой погоды. Ожидание неблагоприятной погоды требует применения мер защиты установленной стоимости, и при реализации неблагоприятной погоды это позволяет полностью или частично избежать потерь по метеорологическим причинам. При реализации благоприятной погоды применение мер защиты рассматривается как необоснованные издержки, что также должно учитываться при определении экономического результата от использования прогнозов. Ожидание благоприятной погоды не подразумевает применения защитных мероприятий, поэтому в случае реализации неблагоприятной погоды потребитель несет максимально возможные потери. Их величина будет зависеть от специфики производственной деятельности, масштабов производственного объекта, интенсивности и продолжительности воздействующего метеорологического фактора. При реализации благоприятной погоды потери по метеорологическим причинам отсутствуют.

Построение матрицы потерь предполагает детальный анализ погодозависимости по видам производственной деятельности предприятия, влияющим метеорологическим условиям, и

дальнейшее обобщение полученных результатов в виде многофазовой матрицы потерь потребителя, в которой экономические результаты хозяйственной деятельности ранжированы в зависимости от вида, интенсивности и продолжительности воздействующих метеорологических факторов.

Разработка матрицы потерь относится к области совместной деятельности поставщика и потребителя гидрометеорологической информации. Однако в настоящее время получение сведений об экономических последствиях ожидания и реализации неблагоприятной погоды представляет значительные сложности, зачастую связанные с необоснованным применением к ним понятия «коммерческая тайна». Федеральный закон № 98-ФЗ от 29.07.2004 «О коммерческой тайне» определяет порядок получения информацией статуса коммерческой тайны, предполагающий в том числе наличие учета информации. На сегодняшний день обособление метеорологических затрат в учетной информации хозяйствующих субъектов имеет определенные сложности, связанные с отсутствием единой терминологии понятия метеорологических затрат как объекта бухгалтерского учета, а также с отсутствием закрепленного на законодательном уровне подробного порядка учета метеорологических затрат [4]. Таким образом, информация о потерях по метеорологическим причинам не должна относиться к коммерческой тайне, но в то же время необходима разработка методик оценки метеорологических затрат по видам производственной деятельности. К сожалению, часть экономических субъектов вообще не информированы о выгоде вовлечения метеорологической информации в процессы принятия управленческих решений, поскольку во многих отраслях экономики отсутствует нормативная база, регулирующая использование гидрометеорологической информации в хозяйственной деятельности [5]. В настоящее время влияние гидрометеорологических факторов на экономическую деятельность не находит отражение и в макроэкономических показателях, Росстатом не ведется статистика ущербов по метеорологическим причинам. Изменить ситуацию может признание метеорологических затрат, включающих как средства на приобретение гидрометеорологической информации, так и потери по метеорологическим причинам, как расходов или убытков при определении налогооблагаемой базы по налогу на прибыль [4], поскольку в Налоговом кодексе Российской Федерации расходами в целях исчисления налога на

прибыль признаются обоснованные и документально подтвержденные затраты, а в установленных случаях и убытки, осуществленные (понесенные) налогоплательщиком.

Установлено, что использование информации об ожидаемом состоянии атмосферы позволяет потребителям подстраивать хозяйственную деятельность к неблагоприятным проявлениям гидрометеорологической среды и тем самым снижать потери от неблагоприятных условий погоды. Современная теория принятия решений предполагает присутствие случайного фактора (неопределенности относительно будущих событий), т. е. при выборе погодохозяйственного решения необходимо учитывать существование неопределенности в реализации текстов прогнозов. Максимизация ожидаемой (возможной) полезности требует вероятностного описания реализации текста прогноза, основанного на представлении прогнозируемых и фактически осуществившихся значений метеорологических величин в виде матриц сопряженности, определяющих степень адекватности прогноза и фактической погоды.

Возможны ситуации правильного прогноза условий погоды, когда прогнозируемая интенсивность воздействующего метеорологического фактора соответствует фактически наблюдавшейся, ситуации ошибочного прогноза опасных условий погоды, когда прогнозируемая интенсивность воздействующего метеорологического фактора больше фактически наблюдавшейся, и ошибочного прогноза благоприятных условий погоды, когда прогнозируемая интенсивность воздействующего метеорологического фактора меньше фактически наблюдавшейся. Экономические последствия каждой ситуации различны и оцениваются на основании матрицы потерь потребителя. Кроме того, при построении матриц сопряженности необходимо учитывать соответствие прогноза и фактической погоды не только по критерию «интенсивность», но и по критерию «продолжительность», поскольку продолжительность неблагоприятных условий погоды оказывает влияние на экономические результаты производственной деятельности. Отметим также, что на достоверность прогноза оказывает влияние и заблаговременность его составления, но в дальнейшем будем полагать, что заблаговременность прогноза достаточна для полноценной реализации мер защиты.

Представление прогнозируемых и фактически осуществившихся значений метеорологических величин в виде матриц сопряженности учитывает требования потребителя к пороговым

значениям влияющего метеорологического фактора и имеет ограниченный пространственно-временной охват, поскольку она должна характеризовать особенности синоптических процессов, используемые методы прогнозирования, а также обеспечивать статистическую значимость результатов.

Экономический результат использования гидрометеорологической информации устанавливается за определенный период на основе оценки потерь потребителя как последствий использования прогнозов погоды. Байесовский подход к оценке потерь позволяет учитывать условную вероятность реализации текстов прогнозов (вероятность, с которой можно ожидать условие погоды, если об этом условии имеется предварительная информация в виде прогноза). На основании данных матрицы потерь потребителя и матрицы сопряженности метеорологических прогнозов рассчитываются средние систематические потери потребителя, т.е. потери потребителя при условии, что можно выбрать ориентацию на любую иную погоду, получив данный текст прогноза. Оценка средних систематических потерь позволяет потребителю учитывать неопределенность осуществления прогнозов погоды и выбирать погодохозяйственное решение, обеспечивающее минимум средних потерь при данном тексте прогноза, т.е. определяет возможности оптимального использования прогнозов. Это, в свою очередь, ведет к увеличению экономического эффекта от использования метеорологических прогнозов при прочих равных условиях. Таким образом, разработка матрицы систематических потерь на основе экономической и метеорологической информации дает возможность представить на рынок новый информационный продукт, содержащий *impact*-компоненту.

Оценка экономического эффекта требует сведений и о стоимости разработки информации в Гидрометслужбе. Выше отмечалось, что затраты на разработку гидрометеорологической информации осуществляются из федерального бюджета, но в то же время имеет место дефицит государственного финансирования. Восприятие гидрометеорологической информации как частного блага и необходимость привлечения дополнительных денежных средств определяют существование проблемы ценообразования на гидрометеорологическую продукцию. В общем случае определение цены информационного продукта осуществляется на основе ожидаемой рентабельности продукта и конъюнктуры рынка, т.е. оптимальная

цена должна полностью возмещать издержки производства и сбыта продукции и обеспечивать получение определенной прибыли. При этом цена является не только фактором, определяющим прибыль, но и условием реализации продукции [6]. При расчете базовых цен на информационную продукцию Росгидромета могут быть использованы традиционные для экономической теории методы: ценообразование на основе издержек, ценообразование на основе спроса и ценообразование на основе цен конкурентов. Отметим, что в настоящее время цены, указанные в прейскурантах организаций Росгидромета на предоставление гидрометеорологической информации, не отражают издержки производства информации. Кроме того, трудность производства и относительная простота тиражирования гидрометеорологической информации (затраты на производство значительно превышают затраты дублирования) создают проблемы с определением прав собственности в рамках сферы информационной гидрометеорологической деятельности.

Метод оценки экономического эффекта и экономической эффективности метеорологических прогнозов Л.А. Хандожко отвечает необходимости совершенствования системы использования прогнозов, имеет адресную направленность и позволяет с учетом необходимых уточнений оценить результативность использования метеорологической информации на микроуровне. Институциональные изменения, происходящие в экономике, ограничивают возможности применения коэффициента-дефлятора и требуют разработки и автоматизации методик оценки потерь по метеорологическим причинам как элементов матрицы потерь конкретного потребителя. В то же время обладание базами данных корреляции прогнозируемой и фактической погоды по времени и пространству и информации о возможных экономических последствиях управленческих решений, обусловленных влиянием погоды на соответствующей территории, создает предпосылки для разработки географической информационной системы (ГИС) с возможностью поддержки принятия решений и управления гидрометеорологическими рисками. Кроме того, обработка больших массивов архивных данных, имеющихся в Росгидромете, позволяет осуществлять прогноз параметрических оценок гидрометеорологических рисков [7].

Повышению экономической полезности метеорологической информации будет способствовать и подготовка профессиональных

кадров в области экономики специализированного гидрометеорологического обеспечения (СГМО), а также создание образовательных программ для представителей бизнеса, формирующих концепцию неразрывности экономической деятельности и гидрометеорологических условий и раскрывающих экономическую целесообразность использования метеорологических информационных ресурсов в производственном процессе [8].

В заключение отметим, что в конкурентных условиях, когда потребитель имеет возможность выбирать поставщика гидрометеорологической информации, наличие методической и производственной базы (банки данных, содержащих сведения о прогнозируемых и фактических значениях метеорологических величин и явлений погоды, распределенных во времени и пространстве; сведения об экономических последствиях влияния погоды; методы принятия оптимальных решений; программные пакеты для обработки информации; квалифицированные специалисты в области экономической метеорологии) позволит формировать новые гидрометеорологические продукты и сохранить Росгидромету лидирующее положение на рынке гидрометеорологической информации и услуг.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Лопатников Л.И.* Экономико-математический словарь: Словарь современной экономической науки. 5-е изд., перераб. и доп. М.: Дело, 2003. 520 с.
2. *Хандошко Л.А.* Экономическая метеорология. СПб.: Гидрометеоздат, 2005. 490 с.
3. *Хандошко Л.А.* Метод оценки экономического эффекта и экономической эффективности метеорологических прогнозов // Метеоспектр. № 2. 2006. С. 27–40.
4. *Фокичева А.А., Ранцева Е.М.* Учет метеорологических затрат в составе себестоимости услуг автотранспортного предприятия // Информационные технологии и системы: управление, экономика, транспорт, право. 2014. № 2 (13). С. 65–72.
5. *Истомин Е.П., Фокичева А.А.* О некоторых вопросах управления территорией с учетом нестабильности климатической системы // Информационные технологии и системы: управление, экономика, транспорт, право. 2014. № 3. С. 60–63.
6. *Пособие по маркетингу метеорологической информации и услуг.* М., 1995. 95 с.
7. *Истомин Е.П., Соколов А.Г., Фокичева А.А.* О некоторых вопросах управления гидрометеорологическими рисками // Материалы 9-й Международной научно-практической конференции «Анализ, прогноз и управление природными рисками в современном мире, ГЕОРИСК-2015». М.: РУДН, 2015. Т. 2. С. 170–176.
8. *Тимофеева А.Г., Фокичева А.А., Истомин Е.П., Подгайский Э.В.* Роль образовательных организаций в повышении эффективности специализированного гидрометеорологического обеспечения // Метеоспектр. № 4. 2015. С. 133–136.

УДК 551.553: 551.510

О РЕЖИМЕ ПЛАНЕТАРНОЙ ВЫСОТНОЙ ФРОНТАЛЬНОЙ ЗОНЫ НА ФОНЕ НАСТОЯЩИХ КЛИМАТИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ

С. В. Морозова

*Саратовский государственный университет им. Н. Г. Чернышевского,
swetwl@yandex.ru*

Климатические изменения, происходящие в земной климатической системе (ЗКС) в эпоху регулярных инструментальных метеорологических наблюдений, наилучшим образом проявляются в изменениях температуры воздуха. Автором по данным сайта (<http://www.cru.uea.ac.uk/cru/data/temperature/#>) построена кривая временного хода аномалий средней полушарной температуры (рис.), где хорошо видны промежутки, в которые средняя глобальная температура воздуха имеет одинаковую тенденцию изменения. Эти промежутки названы автором естественными климатическими периодами состояния ЗКС. За последние 120 лет по ходу средней полушарной температуры воздуха автором выделены следующие естественные климатические периоды (рис.): первая волна глобального потепления, наблюдавшаяся с конца XIX века до 40-х годов XX века; период стабилизации, имевший место в 50–60-е годы прошлого века; вторая волна глобального потепления, начавшаяся с середины 70-х годов XX века и продолжающаяся по настоящее время с существенным замедлением темпа.

Современное состояние земной климатической системы характеризуется потеплением, которое началось в конце XIX века, наиболее ярко проявилось с середины 70-х годов прошлого века и продолжается в настоящее время с довольно существенным замедлением темпа. Рост приповерхностной температуры воздуха не может не затрагивать звенья земной климатической системы. Особенно чувствительной к росту температур оказалась криосфера, изменения также происходят в гидросфере и биосфере. Оказывается интересным посмотреть, влияет ли рост температур на состояние самой атмосферы, а именно на ее динамическую составляющую – общую циркуляцию. Для исследования такого

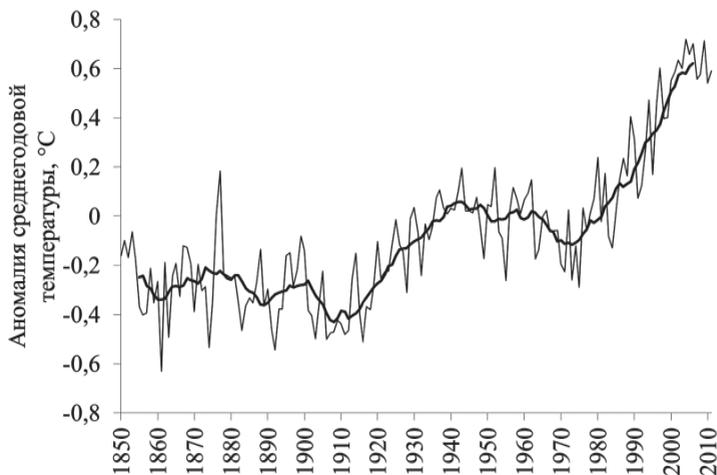


Рис. Одиннадцатилетнее скользящее среднее аномалий средней годовой температуры воздуха (°С) по Северному полушарию по данным сайта <http://www.cru.uea.ac.uk/cru/data/temperature/#>

влияния рассматривался глобальный объект циркуляции – планетарная высотная фронтальная зона (ПВФЗ). Роль ПВФЗ в глобальных климатических процессах заключается в том, что она отделяет околополярные холодные области с отрицательными аномалиями среднеполушарной температуры от более южных районов с положительными аномалиями [1].

Известно, что для ПВФЗ характерно квазипостоянство площади, ограниченной осевой изогипсой для соответствующих месяцев и сезонов года [2, 3]. Так, если осевая изогипса в масштабах полушария сместится к югу, то возрастет площадь, ограничиваемая ею, следовательно расширится область отрицательных аномалий температур. При уменьшении площади ПВФЗ области положительных аномалий температур продвигаются к северу. Такие миграции могут отразиться на глобальной температуре.

По данным о средних многолетних значениях площади ПВФЗ, опубликованным в Справочной монографии, вышедшей в Обнинске в 2013 г. [4], рассчитаны средние многолетние площади ПВФЗ в два естественных климатических периода состояния ЗКС – период стабилизации (1949–1974 гг.) и вторую волну глобального потепления (1975–2010 гг.). По данным за

весь исследуемый ряд лет средняя площадь ПВФЗ составила 57,01 млн км², однако ее изменения происходили в довольно широких пределах от наименьшей – 50,045 млн км² – в 1951 году до наибольшей – 62,378 млн км² – в 1978 году. За весь исследуемый период изменчивость среднегодовых площадей по σ составила 2,83 при дисперсии 8,01. Для каждого из выбранных периодов (стабилизация и вторая волна глобального потепления) рассчитаны средние площади, стандартные отклонения σ и коэффициенты вариации c_v (табл. 1).

Таблица 1

Динамика площадей планетарной высотной фронтальной зоны

Период	Значение площади ПВФЗ (млн км ²)	σ	c_v
1) 1949–1974 гг. (стабилизация)	56,97	3,65	0,06
2) 1975–2010 гг. (вторая волна глобального потепления)	57,77	1,68	0,03

По данным табл. 1 следует, что наиболее сильная изменчивость площадей ПВФЗ проявилась в период стабилизации (1949–1974 гг.). Данный вывод согласуется с положением теории климата о более спокойном характере циркуляции в теплые эпохи по сравнению с холодными. Значение критерия Фишера получилось равным 4,72, в то время как его критическое значение для наших чисел степеней свободы и уровня значимости $\alpha = 0,05$ равно 1,98. Таким образом, гипотеза о равенстве дисперсий площадей ПВФЗ в эти периоды отвергается, и различие изменчивости может считаться статистически значимым.

Обратим внимание на тот факт, что от первого периода ко второму (от периода стабилизации к периоду потепления) произошло увеличение площади ПВФЗ на 1,5 %. Важно отметить, что замеченный рост средней площади ПВФЗ, предполагающий продвижение ПВФЗ в более южные широты и расширение зоны отрицательных аномалий температур, имеет место при переходе от более холодного периода к более теплomu, что представляется не совсем логичным. Вспоминая сезонное смещение ПВФЗ, отметим, что от зимы к лету она продвигается в более северные широты, и площадь ее сокращается. Таким образом, выявленное климатическое смещение ПВФЗ интересно и противоположно ее сезонному смещению.

Оценим статистическую значимость изменений площади, для чего в каждом периоде рассчитаем 95 %-ные доверительные интервалы для математических ожиданий с помощью критерия Стьюдента. Границы доверительных интервалов приведены в табл. 2.

Таблица 2

Оценка статистической значимости изменения площади ПФФЗ

Период (млн км ²)	Доверительные интервалы
1) 1949–1974 гг. (стабилизация)	[49,61–62,32]
2) 1975–2010 гг. (вторая волна глобального потепления)	[54,99–60,53]

Так как доверительные интервалы перекрываются, то гипотеза о равенстве математических ожиданий площадей не может быть отвергнута на уровне значимости $\alpha = 0,05$. Таким образом, изменение площадей на полтора процента статистически не значимо и вряд ли может существенно влиять на процессы в земной климатической системе и приводить к каким-либо заметным изменениям в ней. Однако отрицать роль циркуляции атмосферы и ее структурных элементов в глобальных климатических процессах и делать однозначный вывод об отсутствии влияния динамического фактора на глобальный климат не стоит, так как результаты применения статистических методов к природным процессам имеют известную долю условности [5, 6]. Нельзя также исключать, что малые возмущения какого-либо компонента ЗКС могут в результате резонанса вызвать заметные изменения в ней.

Рассмотрим, проявляется ли обнаруженная тенденция изменения площади ПФФЗ в месячном разрешении. Для этого рассчитаем значения площадей ПФФЗ для каждого месяца в исследуемые естественные климатические периоды состояния ЗКС (табл. 3).

Согласно таблице 3, замеченная тенденция роста площадей от периода стабилизации ко второй волне глобального потепления обнаруживается практически во все месяцы года, за исключением февраля, апреля и июня. Во все остальные месяцы площадь ПФФЗ увеличилась, наиболее сильно – в августе, октябре и декабре (на 18, 14 и 10 % соответственно). В другие месяцы увеличение не такое сильное – на 3–6 %. В связи с этим можно заключить, что такой глобальный объект циркуляции, как планетарная высотная фронтальная зона реагирует на изменения, происходящие в земной климатической системе. Таким образом, выявленное

климатическое смещение ПВФЗ противоположно сезонному и проявляется в целом за год и в большинстве месяцев года.

Таблица 3

Значения площади ПВФЗ (млн км²) в различные естественные климатические периоды состояния ЗКС

Месяц	Значения площади ПВФЗ (млн км ²)	
	Стабилизация (1949–1974 гг.)	Вторая волна глобального потепления (1975–2010 гг.)
Январь	62,44	64,19
Февраль	69,46	66,61
Март	61,44	64,47
Апрель	63,43	56,43
Май	61,24	63,93
Июнь	56,61	50,59
Июль	56,15	59,58
Август	41,91	51,22
Сентябрь	41,42	42,63
Октябрь	47,58	55,14
Ноябрь	53,03	55,39
Декабрь	56,67	63,02

Рассчитаем доверительные интервалы изменения площадей для каждого месяца подобно тому, как это выполнялось для среднегодовых значений (табл. 4)

Таблица 4

Оценка статистической значимости изменения площади ПВФЗ

Месяц	Границы доверительных интервалов (млн км ²)	
	1949–1974 гг. (стабилизация)	1975–2013 гг. (вторая волна глобального потепления)
Январь	[41,56; 83,20]	[50,52; 77,86]
Февраль	[48,34; 90,59]	[46,77; 86,45]
Март	[52,42; 70,46]	[59,87; 69,07]
Апрель	[53,76; 73,53]	[39,78; 73,08]
Май	[48,89; 73,59]	[59,06; 68,89]
Июнь	[48,14; 65,08]	[33,12; 68,06]
Июль	[49,45; 62,84]	[52,88; 66,28]
Август	[37,47; 46,35]	[32,25; 70,19]
Сентябрь	[38,08; 44,76]	[38,85; 46,41]
Октябрь	[43,57; 51,61]	[45,08; 65,20]
Ноябрь	[46,14; 59,91]	[50,99; 59,79]
Декабрь	[46,47; 66,88]	[53,83; 72,21]

Из анализа табл. 4 заключаем, что и для каждого месяца изменения площадей от одного естественного климатического периода к другому также незначимы.

Интересно оценить, при каких значениях площадей ПВФЗ при существующих значениях дисперсий изменения окажутся значимыми. Для этого решалась обратная задача, условием которой было отсутствие перекрытия интервалов при крайних возможных положениях математического ожидания на числовой прямой. Оценив соответствующее значение и используя формулу для площади шарового сегмента

$$S = 2\pi R^2 (1 - \sin \varphi_{c.n.}),$$

где R – радиус Земли, найдем среднюю широту осевой изогипсы ПВФЗ для Северного полушария $\varphi_{c.n.}$.

Оказалось, что для достижения статистической значимости изменений на уровне 0,05 область локализации ПВФЗ должна опуститься до значений 30–35° широты. В настоящее время ПВФЗ расположена в области пятидесятих широт Северного полушария. Таким образом, для достижения статистической значимости изменений площади планетарная высотная фронтальная зона должна сместиться на 15–20° к югу. Соответственно на столько же окажутся смещенными траектории циклонов, что приведет к изменению положения аридных и гумидных областей. Подобные изменения, по-видимому, имели место в прошлом. Климатические реконструкции, выполненные по геологическим источникам и историческим материалам, показывают, что достаточно влажные условия в засушливом тропическом поясе наблюдались при разрушении четвертичного оледенения и начале эпохи голоцена. Траектории циклонов и, следовательно, область локализации ПВФЗ располагались гораздо южнее, что способствовало хорошему увлажнению этих ныне аридных областей [7–10]. Очевидно, что на исследуемом достаточно малом временном промежутке (порядка 60 лет) о таких масштабных изменениях не может быть и речи. Однако подмеченный факт увеличения площади ПВФЗ на фоне роста глобальной температуры имеет место.

Так как на фоне второй волны глобального потепления наблюдается довольно сильное замедление темпа роста средней глобальной температуры, то оказывается интересным исследовать динамику площади планетарной высотной фронтальной зоны при наметившейся тенденции к похолоданию. Так как по ходу

среднеполушарной температуры воздуха определить момент замедления темпов потепления не представляется возможным, то автор посчитал целесообразным промежуток, соответствующий второй волне глобального потепления, разделить еще на два более мелких, основываясь на характере изменения циркуляции. В связи с этим выделены начало второй волны глобального потепления – с 1975 по 1995 г. – и развитие второй волны – с 1996 по 2010 г. Границей между этими двумя интервалами взят 1996 год. Выбор автором именно таких границ интервалов основан на материалах, помещенных в Оценочном докладе [11], согласно которым имеет место увеличение повторяемости процессов формы E и C и уменьшение повторяемости процессов формы W с середины 90-х годов прошлого века. Такое резкое изменение преобладающих форм циркуляции указывает на активные перестроечные процессы в атмосфере. Кроме того, Н.К. Кононовой [12] получено, что с 1995 года наблюдается наибольшая суммарная продолжительность элементарных циркуляционных механизмов. Таким образом, границы выделенных автором исследования периодов внутри второй волны глобального потепления также подкрепляются особенностями проявления атмосферной циркуляции.

Рассматривая динамику площадей внутри второй волны глобального потепления (табл. 5), можно заметить, что в большинстве месяцев при переходе от первой фазы потепления к его развитию (второй фазе) происходит уменьшение средних площадей ПВФЗ, которое наиболее велико в июне (на 23 %), в феврале (на 20 %), апреле (на 18 %) и январе (на 15 %). В июле уменьшение не такое сильное. Не изменились площади ПВФЗ в марте, сентябре и ноябре. Однако наряду с этим наблюдаем и рост площадей, который наиболее велик в августе (на 24 %), октябре (на 14 %), декабре (на 9 %). Таким образом, на фоне второй волны глобального потепления при переходе от его начала к его развитию с замедлением темпа в большинстве месяцев года наблюдаем уменьшение площадей. В целом изменение площадей происходит более хаотично, чем при переходе от одного естественного климатического периода к другому. Коэффициенты вариации указывают на большую изменчивость площадей в первую фазу потепления, чем во вторую. Согласно критерию Фишера, изменчивость площадей внутри второй волны глобального потепления различается статистически значимо в большинстве месяцев года.

Изменчивость площадей от периода к периоду статистически не значима только в мае, июле, ноябре и декабре.

Таблица 5

**Динамика площадей ПВФЗ внутри второй волны
глобального потепления**

Месяц	Период, гг.					
	1975–1995 (начало второй волны глобального потепления)			1996–2010 (развитие потепления)		
	S	σ	c_v	S	σ	c_v
Январь	68,51	7,43	0,11	58,15	4,30	0,07
Февраль	72,72	11,97	0,16	58,06	2,91	0,05
Март	64,24	1,97	0,03	64,78)	3,51	0,05
Апрель	61,12	10,51	0,17	49,86	2,69	0,05
Май	63,26	2,49	0,04	64,87	3,15	0,05
Июнь	55,77	10,22	0,18	43,33	4,80	0,11
Июль	60,03	3,71	0,06	58,98	4,28	0,07
Август	45,63	11,71	0,23	59,04	2,99	0,05
Сентябрь	42,69	2,75	0,06	42,54	1,24	0,03
Октябрь	52,19	5,74	0,11	59,26	3,22	0,05
Ноябрь	55,26	2,41	0,04	55,57	2,87	0,05
Декабрь	60,64	5,30	0,09	66,35	3,67	0,06

Представленные материалы позволяют сделать вывод о том, что глобальный объект циркуляции – планетарная высотная фронтальная зона – реагирует на изменения, происходящие в земной климатической системе, причем при росте приповерхностной температуры ее площадь увеличивается, способствуя продвижению области отрицательных аномалий температур к югу, а при наметившейся тенденции к похолоданию площадь ПВФЗ начинает уменьшаться. Таким образом, обнаружена реакция планетарной высотной фронтальной зоны на изменения, происходящие в земной климатической системе, проявляющаяся в своеобразной динамике, которая противоположна сезонной.

Вполне возможно, что выявленная особенность динамики ПВФЗ выступает одним из естественных факторов, сдерживающих рост температур и препятствующих прохождению земной климатической системой точку бифуркации (невозврата), и изменение площади ПВФЗ относительно естественных климатических периодов состояния ЗКС способствует сохранению хрупкого эколого-климатического равновесия. Обнаруженная особенность

изменения планетарной высотной фронтальной зоны может указать один из подходов к динамическому объяснению изменения температурного поля и способам его прогноза.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Усманов Р.Ф.* О причинах формирования планетарной фронтальной зоны и субтропической полосы высокого давления // *Метеорология и гидрология*. 1953. № 3. С. 41–45.
2. *Байдал М.Х., Ханжина Д.Г.* Многолетняя изменчивость макроциркуляционных факторов климата. М.: Московское отделение Гидрометиздата, 1986. С. 40–52.
3. *Кантер Ц.А.* О некоторых свойствах полей геопотенциала // *Вопросы климата и погоды Нижнего Поволжья*. 1965. Вып. 1. С. 29–39.
4. *Неушкин А.И., Сидоренков Н.С., Санина А.Т., Иванова Т.Б., Бережная Т.В., Панкратенко Н.В., Макарова М.Е.* Мониторинг общей циркуляции атмосферы. Северное полушарие. Обнинск: ВНИИГМИ-МЦД, 2013. 200 с.
5. *Сикан А.В.* Методы статистической обработки гидрометеорологической информации. СПб.: РГГМУ, 2007. 280 с.
6. *Малинин В.Н.* Статистические методы анализа гидрометеорологической информации. СПб.: РГГМУ, 2007. 407 с.
7. *Будыко М.И.* Изменение климата. Л.: Гидрометеоиздат, 1974. 280 с.
8. *Будыко М.И.* Климат в прошлом и будущем. Л.: Гидрометеоиздат, 1980. 351 с.
9. *Монин А.С., Шшиков Ю.А.* История климата. Л.: Гидрометеоиздат, 1979. 407 с.
10. *Ясаманов Н.А.* Древние климаты Земли. Л.: Гидрометеоиздат, 1985. 295 с.
11. *Оценочный доклад* об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. Т. I. Изменения климата. М. 2008. 228 с.
12. *Кононова Н.К.* Классификация циркуляционных механизмов Северного полушария по Б.Л. Дзердзеевскому. М. 2009. 372 с.

УДК 551.501.7:551.587

СТАТИСТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТРОПОСФЕРНЫХ СТРУЙНЫХ ТЕЧЕНИЙ НАД ТЕРРИТОРИЕЙ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ ПО РАДИОЗОНДОВЫМ НАБЛЮДЕНИЯМ

А. В. Никишин¹, А. В. Хохлова²

*Всероссийский научно-исследовательский институт
гидрометеорологической информации – Мировой центр данных
¹ alexey1944@yandex.ru, ² anna_x@meteo.ru*

Введение

Струйным течением (СТ) называется сильный ветер в свободной атмосфере. Принято считать, что струйное течение существует, если на высотах более 5 км наблюдается ветер со скоростью более 30 м/с или 100 км/ч. Обычно струйное течение представляет собой узкую зону сильных ветров [2, 3, 5]. Максимум повторяемости и наибольшая интенсивность отмечаются в период с октября по март. Внетропические струйные течения отличаются большой подвижностью, а их интенсивность непрерывно изменяется. Преобладающим направлением струйных течений является западное. Внетропические струйные течения чаще всего имеют ширину 700–1300 км, а толщину 6–10 км. Ось, как правило, располагается под тропопаузой.

Тропосферным струйным течениям как компоненту общей циркуляции атмосферы постоянно уделяется значительное внимание. В ряде работ, выполненных в последнее время [8–10 и др.], исследуются сезонные перемещения струйных течений и их связь с другими крупномасштабными синоптическими характеристиками атмосферы. Следует отметить, что в подавляющем большинстве работ исследования выполнены на основе реанализов, которые представляют собой композицию модельных данных и данных наблюдений с различных платформ. При анализе данных аэрологических наблюдений приходится сталкиваться с такими проблемами, как длительные пропуски, ошибки, неоднородность данных. Вместе с тем в данных наблюдений могут содержаться

такие особенности, которые сглажены или не отражены в модельных данных и данных реанализа.

В настоящей работе выполнено исследование некоторых климатических характеристик струйных течений в тропосфере над территорией Российской Федерации, входящих в состав базы данных по струйным течениям, созданной авторами на основе многолетних радиозондовых наблюдений.

Данные и обработка

Специализированная база данных климатических характеристик струйных течений создана на основе многолетних данных аэрологических наблюдений, накапливаемых в ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД» в массиве АЭРОСТАС [4, 6]. В массиве собраны глобальные данные аэрологических измерений с 1978 г. для российских станций и с 1984 г. для зарубежных. Содержанием массива являются значения давления, геопотенциальной высоты, температуры воздуха, дефицита точки росы, скорости и направления скорости ветра на уровне земли, на стандартных изобарических поверхностях и на особых точках. При формировании массива данные проходят процедуру комплексного контроля [1].

На основе данных российских станций за период 1985–2014 гг. из массива АЭРОСТАС сформирована специализированная база данных со средними за каждый месяц каждого года характеристиками струйных течений [7]. Струйное течение на уровне высоты в пределах от 5 до 20 км идентифицировалось при наличии скорости ветра не менее 28 м/с (примерно 100 км/ч), вертикальные и горизонтальные сдвиги ветра при этом не анализировались. Содержанием специализированной базы данных являются следующие средние характеристики: повторяемость струйных течений, геопотенциальная высота и давление на уровне максимального ветра, толщина струйного течения, максимальная за месяц скорость ветра и ее направление, средняя по слою скорость и среднее в слое направление скорости, рассчитанное через средние по слою компоненты скорости ветра, повторяемость направлений на уровне максимального ветра по румбам (т.е. роза ветров).

Повторяемость струйных течений определялась как отношение количества случаев наличия струйного течения к общему количеству зондирований за данный месяц. Средняя скорость в слое определялась как среднее за месяц значение осредненных

по слою скоростей ветра. Среднее направление в слое определялось через средние в слое компоненты скорости ветра. Перечень полей специализированной базы данных по струйным течениям приведен в таблице.

База данных включает характеристики струйных течений, рассчитанные по данным 102 аэрологических станций Российской Федерации. Станции с большим количеством пропусков в базу не включены.

Т а б л и ц а

Состав базы данных по статистическим характеристикам струйных течений

Наименование поля	Физическая переменная	Единицы измерения
IND	Синоптический индекс станции	
LAT	Широта станции	Градусы широты, умноженные на 100
LON	Долгота станции	Градусы долготы, умноженные на 100
YYS	Год	
MMS	Месяц	
PM	Среднее за месяц давление на уровне максимального ветра	гПа
HM	Средняя за месяц геопотенциальная высота на уровне максимального ветра	гпм
DHM	Средняя за месяц толщина слоя струйного течения	гпм
VM	Средняя за месяц средняя по слою скорость струйного течения	м/с ⁻¹
DVMean	Среднее в слое направление скорости струйного течения, рассчитанное через средние зональную и меридиональную компоненты скорости ветра в слое	Градусы
VMaxM	Максимальная скорость ветра (одно значение за месяц)	м/с ⁻¹
DVMaxM	Направление максимальной скорости ветра	Градусы
Rep	Повторяемость (количество случаев наблюдений струйного течения по отношению к количеству зондирований в данном месяце)	%
Rwnn	Повторяемость северного направления СТ	% от количества случаев наблюдения СТ

О к о н ч а н и е т а б л .

Наименование поля	Физическая переменная	Единицы измерения
Rwne	Повторяемость северо-восточного направления СТ	% от количества случаев наблюдения СТ
Rwee	Повторяемость восточного направления СТ	% от количества случаев наблюдения СТ
Rwse	Повторяемость юго-восточного направления СТ	% от количества случаев наблюдения СТ
Rwss	Повторяемость южного направления СТ	% от количества случаев наблюдения СТ
Rwsw	Повторяемость юго-западного направления СТ	% от количества случаев наблюдения СТ
Rwww	Повторяемость западного направления СТ	% от количества случаев наблюдения СТ
Rwnw	Повторяемость северо-западного направления СТ	% от количества случаев наблюдения СТ

Сезонные особенности струйных течений

Разработанная база данных дает возможность сделать оценки многолетних статистических характеристик в атмосфере над территорией РФ, а также исследовать особенности их временного хода для разных регионов. В целом, полученные статистические характеристики отражают известные закономерности годового хода: усиление в осенне-зимний период и ослабление в летний сезон, а также тот факт, что наиболее сильные ветры имеют место над северо-западным побережьем Тихого океана. В связи с большим объемом материалов, требующих анализа, в статье представлены только некоторые предварительные результаты.

На рис. 1 показан многолетний годовой ход повторяемости и средней по слою и максимальной скорости струйных течений по данным двух станций, расположенных в разных регионах: Москва (Долгопрудный) и Владивосток. Станция Владивосток выбрана по причине наиболее сильных ветров, в том числе струйных течений в атмосфере над восточной частью Сибири. Средняя и максимальная скорости ветра, так же как и повторяемость, существенно выше по данным станции Владивосток. Средние значения скорости ветра в слое имеют слабо выраженный годовой ход, в то время как годовой ход максимальной скорости ветра и повторяемости хорошо выражен.

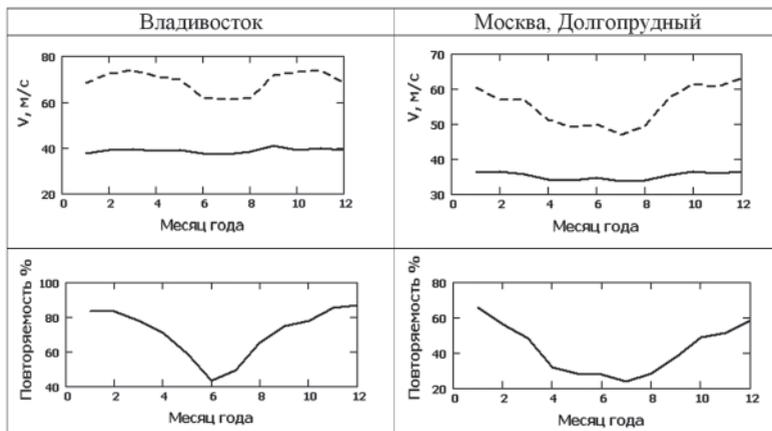


Рис. 1. Годовой ход средней по слою (сплошная линия) и максимальной (пунктир) скорости ветра в струйном течении (вверху) и повторяемости струйного течения (внизу) по данным станций Владивосток и Москва, Долгопрудный.

На рис. 2–4 представлено географическое распределение повторяемости, средней скорости в слое и максимальной скорости ветра для четырех центральных месяцев сезонов (январь, апрель, июль и октябрь). На рисунках можно видеть внутригодовое изменение этих характеристик.

Зимой над территорией России максимальная повторяемость имеет место в широтном поясе $40\text{--}50^\circ$ с.ш. в Приморском крае, где она составляет $80\text{--}90\%$. Севернее 70° с.ш. струйные течения практически отсутствуют. В остальных регионах повторяемость составляет от 40 до 60% .

Максимальные средние скорости ветра в слое имеют место в широтном поясе $60\text{--}70^\circ$ с.ш. в Республике Саха (Якутия), где достигают значений около 40 м/с. В остальных регионах значения варьируются от 30 до 36 м/с.

Максимальное значение скорости ветра 68 м/с было зафиксировано над территорией Приморского края.

Весной максимальная повторяемость $60\text{--}70\%$ имеет место в широтном поясе $40\text{--}50^\circ$ с.ш. над территорией Приморского края. Над территориями Омской, Томской и Новосибирской областей повторяемость составляет в среднем около 60% , в остальных регионах – от 20 до 40% .

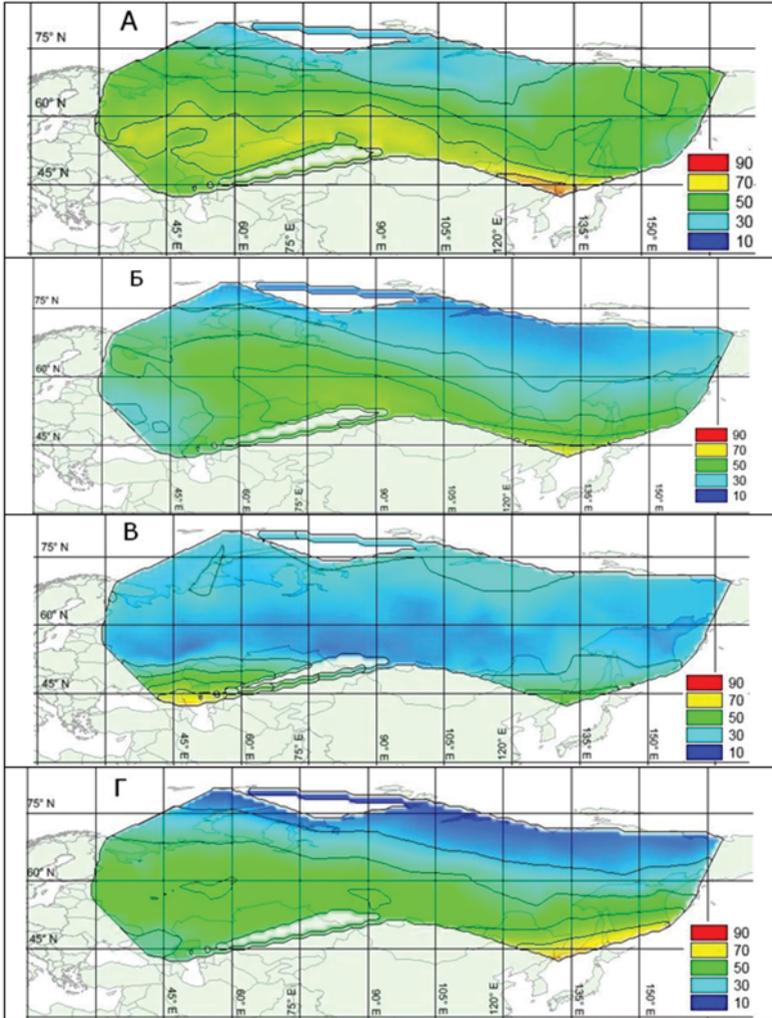


Рис. 2. Повторяемость струйных течений в % от количества зондирований для четырех центральных месяцев сезона.
 Сверху вниз: А – январь, Б – апрель, В – июль, Г – октябрь

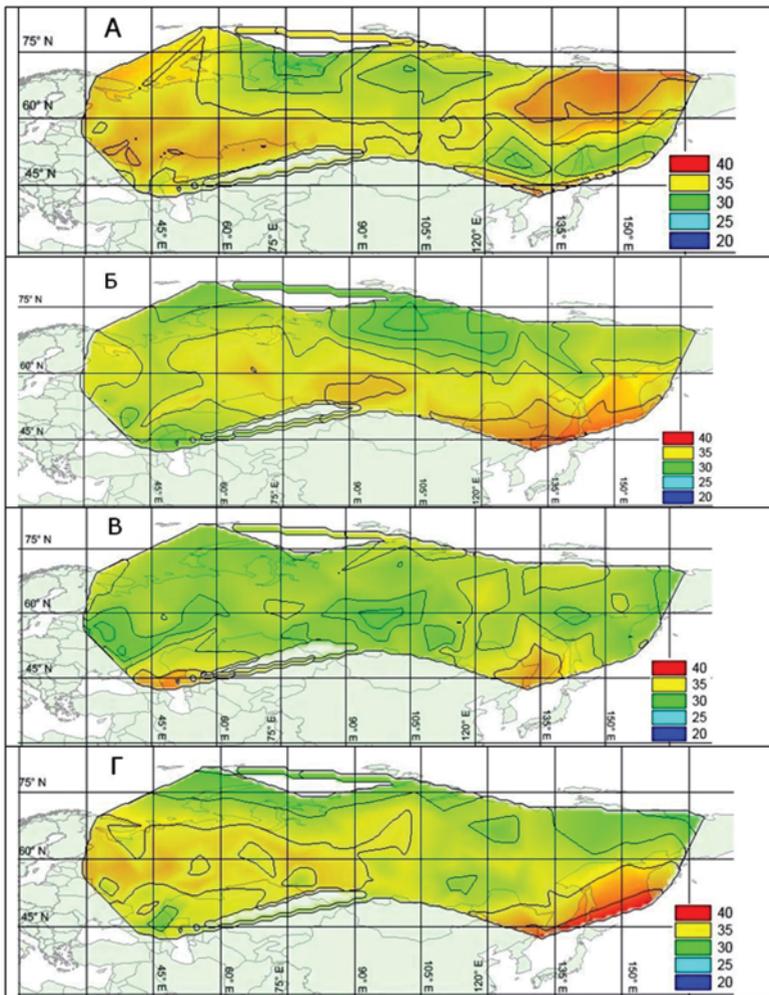


Рис. 3. Многолетняя средняя скорость ветра в слое, занятом струйным течением, в м/с.
Сверху вниз: А – январь, Б – апрель, В – июль, Г – октябрь

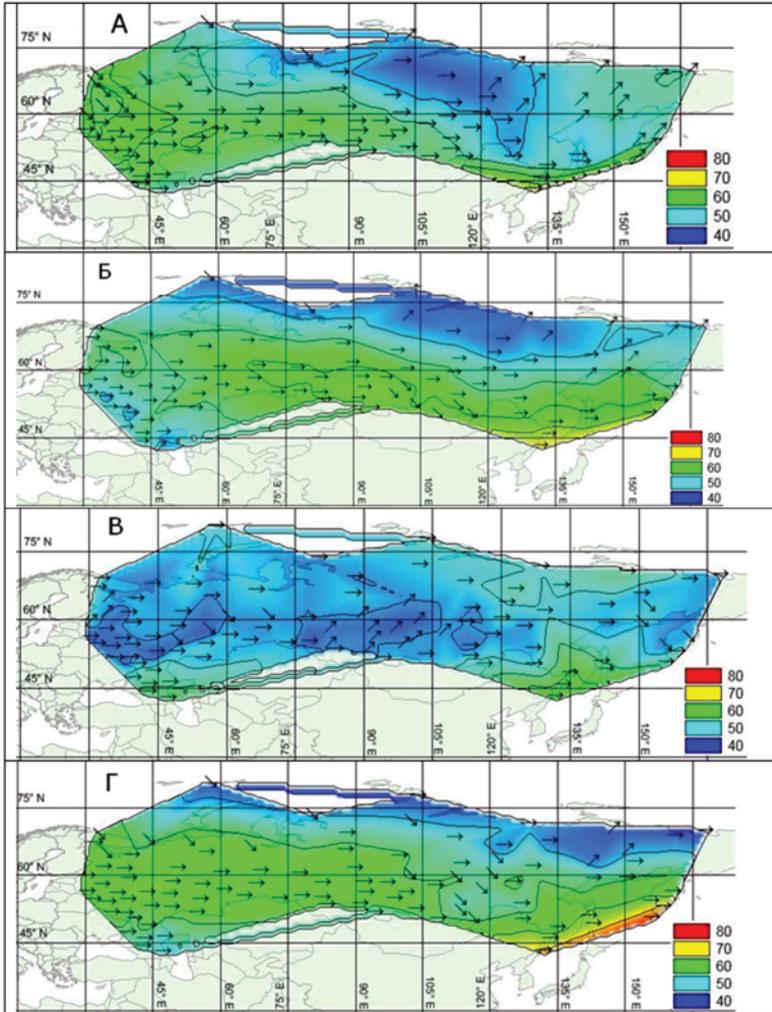


Рис. 4. Максимальная скорость струйного течения в м/с. Сверху вниз: А – январь, Б – апрель, В – июль, Г – октябрь

Средняя в слое скорость ветра в поясе 40–50° с. ш. в регионах Приморского края и Сахалинской области составляет 36–38 м/с, в регионах Красноярского края и Новосибирской области – до 36 м/с. В том же Красноярском крае севернее (в поясе 70–75° с. ш.) средняя скорость минимальна и составляет около 30 м/с. В остальных регионах значения средней в слое скорости ветра составляют от 30 до 35 м/с.

Максимальные скорости ветра имеют место над территорией Приморского края и Сахалинской области, где доходят до значений 70 м/с.

Летом повторяемость струйных течений существенно уменьшается, при этом максимальная повторяемость наблюдается в поясе широт 40–47° с. ш. над территориями Республики Дагестан и Ставропольского края, где составляет 75 %. Над остальной территорией России повторяемость составляет 20–30 %.

Средняя скорость ветра в слое над всей территорией России примерно одинаковая и составляет 30–35 м/с. Максимальное значение средней скорости составляет 37 м/с и наблюдается над территориями Приморского края, Республики Дагестан и Ставропольского края. Над этими же территориями зафиксированы максимальные значения скорости ветра, достигающие 61 м/с.

Осенью повторяемость струйных течений увеличивается и достигает максимума 77 % над территориями Приморского края и Сахалинской области. Севернее повторяемость постепенно снижается с 70 до 10 %.

Наибольшие средние скорости ветра также имеют место в регионах Приморского края и Сахалинской области, где составляют 38–40 м/с. Над остальной территорией России максимальная в слое скорость ветра составляет 30–37 м/с.

Наибольшие максимальные скорости ветра имеют место над территориями Сахалинской области и Приморского края, и их значения достигают 78 м/с.

Отметим, что представленные результаты имеют предварительный характер и приведены для иллюстрации созданной базы данных.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Алдухов О.А., Черных И.В.* Методы анализа и интерпретации данных радиозондирования атмосферы. Т. 1. Контроль качества и обработка данных. Обнинск: ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД», 2013. 306 с.
2. *Богаткин О.Г.* Авиационные прогнозы погоды. Санкт-Петербург: «БХВ-Петербург», 2010. 288 с.
3. *Иоффе М.М., Приходько М.П.* Справочник авиационного метеоролога. М.: Воениздат, 1977. 304 с.
4. *Казначеева В.Д., Руденкова Т.В.* Организация текущих аэрологических данных на магнитных лентах ЕС // Труды ВНИИГМИ-МЦД. Обнинск. 1985. Вып. 115. С. 91–108.
5. *Погосян Х.П.* Общая циркуляция атмосферы. Л.: Гидрометеониздат, 1972. 394 с.
6. *Руденкова Т.В.* Формат архивации текущих аэрологических данных, поступающих по каналам связи для ПЭВМ // Труды ВНИИГМИ-МЦД. Обнинск. 2010. Вып. 174. С. 41–63.
7. *Хохлова А.В., Никишин А.В.* База данных «Статистические характеристики тропосферных струйных течений над территорией РФ». Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2015621675. 2015.
8. *Rikus L.* A simple climatology of westerly jet streams in global reanalysis datasets part 1: mid-latitude upper tropospheric jets // *Climate Dynamics*. March 2015. DOI 10.1007/s00382-015-2560-y.
9. *Manney G.L., Hegglin M.I., Daffer W.H., Santee M.L., Ray E.A., Pawson S., Schwartz M.J., Boone C.D., Froidevaux L., Livesey N.J., Read W.G., Walker K.A.* Jet characterization in the upper troposphere/lower stratosphere (UTLS): applications to climatology and transport studies // *Atmos. Chem. Phys.* 2011. V. 11. P. 6115–6137.
10. *Manney G.L., Hegglin M.I., Daffer W., Schwartz M.J., Santee M.L., Pawson S.* Climatology of Upper Tropospheric–Lower Stratospheric (UTLS) Jets and Tropopause in MERRA // *J. of Clim.* 2014. V. 27. P. 3248–3271.

УДК 551.510.4

ОСНОВНЫЕ ТЕНДЕНЦИИ ИЗМЕНЧИВОСТИ ПАРНИКОВЫХ ГАЗОВ ПО ИЗМЕРЕНИЯМ НА СТАНЦИЯХ ОБНИНСК И ИССЫК-КУЛЬ

*Р. М. Акименко¹, В. Н. Арефьев¹, К. Н. Вишератин¹,
Л. Б. Упэнек¹, М. Д. Орозалиев², В. П. Синяков²,
Л. И. Сорокина²*

¹ ФГБУ «НПО «Тайфун», kvisher@rpatyphoon.ru,

² Кыргызский государственный национальный университет, Кыргызстан

Введение

Начиная с 70-х годов прошлого века в Институте экспериментальной метеорологии ФГБУ «НПО «Тайфун» разрабатываются и усовершенствуются аппаратура и методика измерений в приземном слое и во всей толще атмосферы содержания парниковых газов, основанные на использовании спектроскопического метода. В 1980 г. на станции Иссык-Куль в Киргизии (42,62° с.ш., 76,99° в.д.) была установлена аппаратура и совместно с Киргизским национальным государственным университетом были начаты регулярные наземные спектроскопические измерения общего содержания H₂O и средней во всей толще атмосферы концентрации CO₂ [1]. С 1998 года была развернута аппаратура и начались измерения концентрации CO₂ и CH₄ в пробах приземного воздуха в Обнинске (55,10° с.ш., 36,90° в.д.) [2]. Мониторинг состава атмосферы на станциях Обнинск и Иссык-Куль позволяет проводить сопоставление временной изменчивости и особенностей вариаций парниковых газов для местности, удаленной от источников антропогенных загрязнений и города, влияющего на тепловой, влажностный и радиационный режимы и имеющего собственные источники загрязнения атмосферного воздуха.

На станции Иссык-Куль измерения общего содержания в атмосфере H₂O и CO₂ проводятся спектроскопическим методом по записи спектра солнечного излучения, прошедшего через атмосферу. Погрешность единичного измерения CO₂ составляет ±6 млн⁻¹. Погрешность определения общего содержания водяного пара – менее 1 %. На станции Обнинск измерения концентрации CO₂ и CH₄

проводятся в пробах приземного воздуха также спектроскопическим методом. В состав аппаратного комплекса входят Фурье-спектрометр Bruker IFS-113V, оптическая многоходовая кювета и технологическая система для напуска и откачки воздуха и контроля температуры и давления. С 2014 года измерения на станции Обнинск проводятся с помощью спектрального комплекса МР-32, позволяющего определять концентрации парниковых газов как в приземном слое, так и во всей толще атмосферы. В 2015 г. была проведена перекалибровка прибора МР-32. Погрешность единичного измерения концентрации CO_2 не превышает ± 2 млн⁻¹. Погрешность измерений концентрации CH_4 составляет ± 30 млрд⁻¹. Более подробное описание методик и аппаратуры содержится в [2] и приведенных в ней ссылках.

Углекислый газ

На рис. 1 приведены результаты измерений средней во всей толще атмосферы концентрации CO_2 (Иссык-Куль) и результаты измерений приземной концентрации CO_2 (Обнинск).

Основная тенденция в многолетних вариациях углекислого газа – сезонная изменчивость и значительный положительный тренд, составляющий для Иссык-Куля $1,59 \pm 0,08$ млн⁻¹ в год, а для Обнинска – $2,0 \pm 0,2$ млн⁻¹ в год. По данным сети ВМО [3], скорость роста глобальной концентрации углекислого газа за

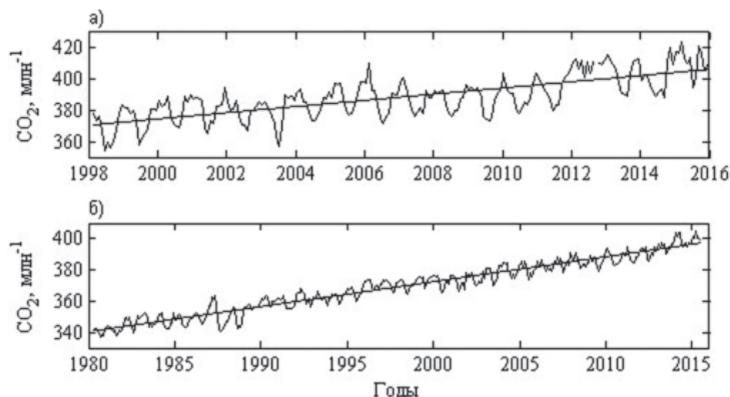


Рис. 1. Результаты измерений: а) приземные концентрации CO_2 на станции Обнинск (02.1998–12.2015); б) средняя во всей толще атмосферы концентрация CO_2 на станции Иссык-Куль (05.1980–06.2015). Прямые линии – линейный тренд

последнее десятилетие составляет примерно 2 млн^{-1} в год. Тренды для отдельных месяцев и сезонов могут отличаться, причем для данных станции Иссык-Куль характерна зависимость от сезона с максимальными трендами зимой, в то время как для Обнинска наблюдается дополнительный максимум весной, что, по имеющимся оценкам, связано с наблюдаемыми в это время инверсионными слоями температуры и накоплением углекислого газа в нижнем слое атмосферы. По данным станции Обнинск особенно заметен (в сравнении с периодом с 2006 по 2010 г.) рост CO_2 в период после 2010 года. Максимальные значения углекислого газа в зимний период в последние два года превысили 410 млн^{-1} .

Для анализа спектральной структуры вариаций углекислого газа были использованы Фурье-преобразование и вейвлетное преобразование (рис. 2). Более подробно алгоритмы и методы спектрального анализа изложены в [4]. Оценки значимости на рисунках приведены для всего спектра, включая годовую гармонику. Амплитуды годовой гармоники примерно в три раза превышают амплитуды более длиннопериодных колебаний. При исключении годовой гармоники (отбеливании) значимыми становятся также колебания с периодами, большими 40 месяцев (рис. 2а), и колебания в области 40–150 месяцев (рис. 2в).

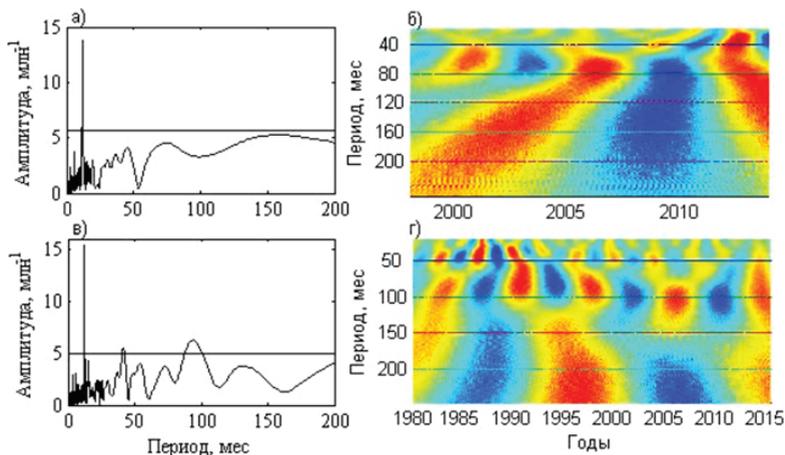


Рис. 2. Фурье-анализ (а) и вейвлетный анализ (б) рядов CO_2 на станции Обнинск и на станции Иссык-Куль (в, г). Горизонтальные линии на рис. 2а и 2в соответствуют достоверности вероятности 95 %.

Для данных станции Иссык-Куль наиболее стабильные по частоте и амплитуде колебания расположены в районе 40–50 мес. и 80–100 мес. Длиннопериодное колебание в области 200–250 мес. имело максимум в 1996–1997 гг. и минимумы в 1987–1988 и 2007–2008 гг. Для данных станции Обнинск наибольшие амплитуды имеют колебания с периодами в области 46–80 мес., для разрешения структуры колебаний с большими периодами длина ряда пока недостаточна.

Метан

Результаты измерений приземных концентраций метана в Обнинске показаны на рис. 3. Величина линейного тренда по среднемесячным данным за период измерений с 1998 по 2013 г. была отрицательна – $(-1,7 \pm 0,9)$ млрд⁻¹ в год, однако начиная с 2007 года амплитуда межгодовых колебаний, а также среднегодовые значения концентрации метана, по данным измерений в Обнинске, увеличивались. В 2014–2015 гг. наблюдался заметный рост метана, что привело к изменению знака тренда в целом за 1998–2015 гг. на положительный – $(0,2 \pm 0,7)$ млрд⁻¹ в год. Рост концентрации метана в последние годы наблюдался и на других европейских станциях. Например, по предварительным данным на станции Хохенпайсенберг (47,80° с. ш., 11,02° в. д.) концентрация

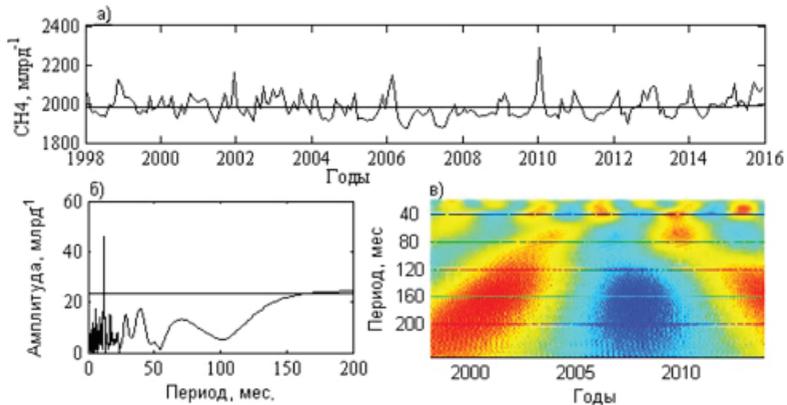


Рис. 3. Результаты измерений: а) приземные концентрации CH_4 на станции Обнинск (02.1998–12.2015). Прямая линия – линейный тренд. б) и в) результаты Фурье-анализа и вейвлетного анализа соответственно. Горизонтальная линия на рис. 3б соответствует доверительной вероятности 95 %.

метана в конце 2014 года (ноябрь–декабрь) составила примерно 2000 млрд^{-1} в сравнении с 1930 млрд^{-1} в 2013 году [5].

На рис. 3 б показан амплитудный спектр метана в области 5–200 месяцев. Амплитуда годовой гармоника составляет около 47 млрд^{-1} . После исключения годовой гармоника в области короткопериодных колебаний значимыми становятся полугодовая гармоника и гармоника с периодом около 9 месяцев. В длинно-периодной части спектра значимыми на уровне 95 % становятся колебания с периодами около 27, 40 и 150 месяцев. По результатам вейвлетного анализа выделяются достаточно стабильные по амплитуде вариации метана с периодами около 40–50 месяцев. Колебания с периодами более 130 мес. имеют значительную амплитуду, однако длина ряда пока недостаточна, чтобы делать предположения о природе возникновения этих колебаний.

На станции Иссък-Куль в 2005 году были начаты измерения средней во всей толще атмосферы концентрации метана. Концентрация метана по данным станции Иссък-Куль ниже, чем на станции Обнинск и находятся в пределах $1750\text{--}1930 \text{ млрд}^{-1}$. В течение всего периода измерений средняя во всей толще атмосферы концентрация метана на станции Иссък-Куль постоянно росла, линейный тренд по данным за 2005–2015 гг. составляет $(5,6 \pm 4,2) \text{ млрд}^{-1}$ в год, т. е. примерно в 2 раза больше, чем за этот же период на станции Обнинск.

Водяной пар

Водяной пар играет важную роль в различных процессах в атмосфере и является основным парниковым газом. Результаты измерений общего содержания водяного пара на станции Иссък-Куль показаны на рис. 4.

Общее содержание водяного пара на рис. 4 приведено в единицах измерения г/см^2 , что соответствует высоте осадочного слоя воды в столбе атмосферы с площадью основания 1 см^2 . Содержание водяного пара в атмосфере варьирует в широких пределах в течение дня и сезона. Наряду со значительной амплитудой годовых колебаний наблюдаются более медленные вариации. Максимальные среднемесячные значения наблюдались летом 1982, 1989 и 2000 гг. Минимальные концентрации водяного пара приходятся на зимние месяцы и составляют $0,3\text{--}0,6 \text{ г/см}^2$, а максимальные – на летние и составляют $2,5\text{--}3,0 \text{ г/см}^2$. Величина линейного тренда содержания водяного пара по среднемесячным

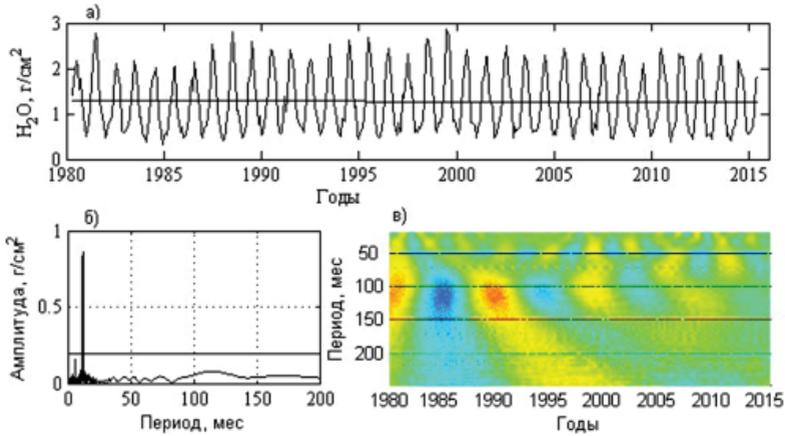


Рис. 4. Результаты измерений: а) общее содержание водяного пара на станции Иссык-Куль (05.1980–06.2015). Прямая линия – линейный тренд; б) и в) – результаты Фурье-анализа и вейвлет-анализа соответственно. Горизонтальная линия на рис. 4б соответствует доверительной вероятности 95 %.

данным за период измерений с 1980 по 2015 г. (рис. 4а) незначима и составляет $0,0009 \pm 0,0030$ $г/см^2$ в год.

Наблюдаемое потепление влияет на процессы осадкообразования и испарения, и соответствующий рост температуры должен приводить к росту содержания водяного пара [6]. Однако из рис. 4а визуально можно определить, что начиная с 1999–2000 гг. наблюдается небольшое уменьшение содержания водяного пара как для максимальных (летних), так и для минимальных (зимних) значений (величина отрицательного тренда составляет $-0,005 \pm 0,010$ $г/см^2$ в год). Причины такого поведения не ясны.

Для спектральной структуры колебаний водяного пара характерна большая амплитуда годовой гармонике (около $0,86$ $г/см^2$), полугодовая гармоника – с амплитудой $0,18$ $г/см^2$ и многочисленные гармоника – с амплитудами менее $0,1$ $г/см^2$ (рис. 4б). После исключения годовой гармонике значимыми на уровне 95 % становятся колебания с периодом 6 и 115 месяцев. Из вейвлетограммы следует, что максимумы колебаний водяного пара в области квазидесятилетних вариаций (8–13 лет) проявляются вблизи 1980, 1990 и 1999 гг., т. е. в периоды максимумов солнечной активности. Следует отметить также, что амплитуда квазидесятилетних колебаний водяного

пара в период 2009–2012 гг. уменьшилась, что, возможно, связано с невысокой активностью солнца в этом 11-летнем цикле.

Основные выводы

Средняя по высоте концентрация углекислого газа (станция Иссък-Куль) и концентрация приземной двуокиси углерода (станция Обнинск) существенно выросли в 2014 году. Значение положительного тренда составило для Иссък-Куля $1,59 \text{ млн}^{-1}$ в год, а для Обнинска – $2,0 \text{ млн}^{-1}$ в год. Для длиннопериодных вариаций CO_2 на обеих станциях характерны периоды замедления роста и периоды достаточно быстрого роста, последний из которых произошел в 2014 году.

Концентрация приземного метана (станция «Обнинск») в 2014–2015 гг. также росла, что привело к смене отрицательного линейного тренда на положительный. Величина линейного тренда за весь период измерений с 1998 по 2015 г. незначима.

Наблюдаемое начиная с 1999–2000 гг. падение общего содержания водяного пара ст. Иссък-Куль продолжилось и в 2014–2015 гг. Квазидесятилетние вариации водяного пара имеют максимумы в годы, приблизительно соответствующие максимумам солнечной активности.

Работа выполнялась при поддержке РФФИ, проекты № 14-05-00127, № 14-05-90104, № 14-05-00113.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кашин Ф.В., Арефьев В.Н., Вишератин К.Н., Каменогородский Н.Е., Семенов В.К., Синяков В.П. Результаты экспериментальных исследований радиационно-активных составляющих атмосферы в центре Евразии // Изв. АН. Физика атмосферы и океана. 2000. Т. 36, № 4. С. 463–492.
2. Арефьев В.Н., Кашин Ф.В., Акименко Р.М., Вишератин К.Н. и др. Исследования в области атмосферной спектроскопии // Сборник «Проблемы гидрологии и мониторинга окружающей среды». Обнинск: ГУ «НПО «Тайфун», 2010. Т. 1. С. 85–104.
3. Tans P. NOAA Earth System Research Laboratory, Global Monitoring Division (NOAA ESRL GMD, www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/).
4. Вишератин К.Н., Карманов Ф.И. Практические методы оценивания спектральных параметров. Обнинск: ИАТЭ, 2008. 60 с. (<http://www.rpatyphoon.ru/activities/climate-monitoring/LAST/publications.php>).
5. Dlugokencky E.J. NOAA Earth System Research Laboratory, Global Monitoring Division (ftp://aftp.cmdl.noaa.gov/data/trace_gases/).
6. IPCC, 2001: *Climate Change 2001: Synthesis Report*. A Contribution of Working Groups I, II, and III to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Watson, R.T. and the Core Writing Team (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom, and New York, NY, USA, 398 p.

УДК 634.67

**АВТОМАТИЧЕСКОЕ ВЫЯВЛЕНИЕ
ОПАСНЫХ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЙ
В ДАННЫХ ЕСИМО И ОПЕРАТИВНОЕ ОПОВЕЩЕНИЕ
ОБ ОПАСНЫХ ЯВЛЕНИЯХ ЛИЦ,
ПРИНИМАЮЩИХ РЕШЕНИЯ**

Н. В. Чуняев

*ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский институт
гидрометеорологической информации – Мировой центр данных»,
Chunyaev@meteo.ru*

Введение

В Росгидромете установлен порядок [1] подготовки и формы передачи информации от наблюдательных подразделений о возникновении и развитии опасных природных гидрометеорологических явлений (ОГЯ) и неблагоприятных гидрометеорологических явлений (НГЯ), который содержит типовые перечни и критерии ОГЯ, а также правила оповещения органов государственной власти, руководителей предприятий по телеграфу, телефону, электронной почте, нарочным. Но при этом отсутствуют средства автоматического выявления ОГЯ и оповещения пользователей об этих явлениях. Для решения этой задачи необходимо разработать программы, позволяющие автоматически выявлять ОГЯ на основе всех существующих потоков оперативных гидрометеорологических данных, получаемых по каналам Глобальной сети телесвязи, и прогностических данных. Введенная в 2014 г. в постоянную эксплуатацию Единая государственная система информации об обстановке в Мировом океане (ЕСИМО) интегрирует наблюдаемые, аналитические, прогностические данные, что позволяет организовать на их основе выявление и оперативную доставку сведений об ОГЯ до руководителей предприятий.

Методика выявления ОГЯ

В ЕСИМО поступают различные оперативные данные с метеостанций, буев, попутных судов, эти данные проходят несколько этапов обработки и поступают в базу интегрированных данных (БИД) единой системы, которая обрабатывает данные согласно

предустановленным правилам жизненного цикла информационных ресурсов. Эти данные позволяют выявлять ОГЯ.

ОГЯ оказывают влияние на население, деятельность предприятия, например на погрузку судна или перевозку грузов. Однако при этом уровень воздействия опасных явлений на разную деятельность различается и зависит от масштаба, типа объекта и технологического процесса, выполняемого на объекте. Например, для крупнотоннажного танкера высота волны 1,5–2 метра не составляет особой опасности, однако для катера такая высота волны может стать катастрофической. Поэтому для различных видов деятельности необходимо определить критерии значений параметров среды. Таким образом, помимо общей степени опасности явления (определяющегося только на основе значения метеорологических параметров), необходимо учитывать степень влияния ОГЯ на конкретные объекты.

Для выявления ОГЯ необходимо, чтобы пользователь указал характеристики наблюдаемых объектов и критические значения гидрометеорологических параметров. Для выделения ОГЯ используются метеорологические параметры, которые способны влиять на деятельность объекта (на его технологические процессы), также необходимо использовать экономические и физические параметры объекта для расчета возможного экономического ущерба от ОГЯ и предоставления рекомендаций для лиц, принимающих решения (ЛПР).

Критические значения параметров среды определяют уровень их опасности. При определении значений параметров, превысивших критические для рассматриваемого объекта, учитываются несколько факторов.

Значения параметров. Текущее значение параметра является одним из основных критериев, так как является непосредственным количественным выражением степени влияния параметра на среду. Используются четыре градации значений: влияние незначительно, неблагоприятное, опасное, катастрофическое влияние. Каждый уровень градации характеризуется минимальным и максимальным значениями.

Текущий климатический сезон. Степень влияния метеорологических параметров меняется в зависимости от климатической ситуации (сезона), например температура воздуха около нуля зимой и весной – это две абсолютно разных ситуации.

Географический регион. В зависимости от географического местоположения объекта меняется степень воздействия различных параметров на объект. Это позволяет учитывать разницу между местонахождением объекта наблюдения, например на побережье моря или в устье реки.

Отрасль, тип объекта. Степень воздействия того или иного значения параметра напрямую зависит от того, что за объект рассматривается. Одно и то же количественное значение параметра может оказывать различное влияние на разные типы объектов. Разделение по отраслям и типам объектов позволит классифицировать степень влияния окружающей среды на объект.

Технологический процесс, выполняемый на объекте. Учет технологического процесса для конкретного процесса, например для судна – погрузка-разгрузка или переход, стоянка на якоре, предоставляет возможность обеспечить более точными рекомендациями по адаптации объекта в зависимости от состояния окружающей среды.

Каждый фактор учитывается для возможности конкретизации критических значений для объектов. Уточнение географического района позволяет задавать разные значения для отличающихся географических районов и климатических зон. Причем конкретизация может доходить до определения критических значений для конкретной станции наблюдения или географического района. Критические значения для прогностических значений определяются по ближайшей точке сетки прогноза.

Градация значений по уровням опасности позволяет оценивать степень влияния на объект и технологические процессы, как для каждого метеорологического параметра в отдельности, так и для их совокупного влияния.

Каждое ОГЯ определяется одним или несколькими гидрометеорологическими параметрами, превысившими критические значения.

Обработка и анализ данных представляет собой приложение, работающее в среде ЕСИМО, где пользователь может регистрировать объект с указанием метеорологических, физических и экономических параметров объекта. При регистрации объекта автоматически выявляются информационные ресурсы ЕСИМО, которые соответствуют условиям объекта (содержат метеорологические параметры, относящиеся к объекту), например

RU_RINMI-WDC_1172 (оперативные данные СИНОП за последние сутки), RU_RINMI-WDC_1198 (оперативные данные о гидрометеоусловиях с береговых станций и постов). В информационном ресурсе автоматически определяются ближайшие к объекту гидрометеорологические станции. Пользователю предоставляется выбор конкретной станции, которая репрезентативна для рассматриваемого объекта. Пользователь указывает отрасль, тип объекта, а также технологические процессы, которые характеризуют объект.

Для возможности конкретизации опасного явления для конкретного объекта пользователю необходимо определить пороговые значения параметров среды. Он может или выбрать пороговые значения типовых объектов, или определить/конкретизировать параметры именно для интересующего его объекта. После того как пользователь определил все необходимые параметры для наблюдения за объектом, производится автоматический периодический анализ поступающих в ЕСИМО данных. При каждом обновлении данных они анализируются на наличие возможного опасного (неблагоприятного) явления. При обнаружении явления, относящегося к какому-либо объекту, автоматически формируется оповещение, которое немедленно отправляется пользователю различными способами доставки информации. Также определяются рекомендации с оценкой возможных последствий явления и возможного экономического ущерба.

Опасные явления выявляются в массиве оперативных данных при каждом поступлении новых данных. Они определяются на основе критических значений параметров, уточненных для различных типовых объектов и технологических процессов (табл.).

Оповещение ЛПР производится непосредственно на смартфон при установке на него соответствующего разработанного приложения. Приложение – программа-агент – позволяет получать актуальную информацию о гидрометеорологической обстановке на подконтрольном для ЛПР объекте и получать уведомления в случае обнаружения ОЯ или НГЯ, способных повлиять на объект.

Информация, получаемая при оповещении, включает:

- значения, превышающие пороговые (из базы данных (БД) «Критические ситуации»);
- сведения об отслеживаемом объекте (из паспорта объекта);

Т а б л и ц а

Пример пороговых параметров среды

Регион	Координаты				Объект	Технологический процесс	Параметр	Значения	
Балтийское, Белое, Черное, Азовское моря	36	66	7	57,8	Судно	Переход	Скорость ветра (м/с)	0	<10
Балтийское, Белое, Черное, Азовское моря	36	66	7	57,8	Судно	Переход	Скорость ветра (м/с)	10	17
Балтийское, Белое, Черное, Азовское моря	36	66	7	57,8	Судно	Переход	Скорость ветра (м/с)	18	25
Балтийское, Белое, Черное, Азовское моря	36	66	7	57,8	Судно	Переход	Скорость ветра (м/с)	25,1	-
Каспийское море	36	48	33	40	Судно	Переход	Волнение ветровое: высота (м)	0,0	2,0
Каспийское море	36	48	33	40	Судно	Переход	Волнение ветровое: высота (м)	2,1	3,0
Каспийское море	36	48	33	40	Судно	Переход	Волнение ветровое: высота (м)	3,1	4,0
Каспийское море	36	48	33	40	Судно	Переход	Волнение ветровое: высота (м)	4,1	15,0

- стандартный набор метеорологических параметров на объекте (из оперативных ресурсов ЕСИМО);
- текущие значения наблюдаемых параметров (из оперативных ресурсов ЕСИМО);
- тенденции изменения параметров по объекту (автоматически рассчитываются «на лету»);
- сведения об имеющемся или возможном опасном явлении (из БД «Критические ситуации»).

Формализованный и конкретный пример сообщения выглядят следующим образом:

- На объекте «Название» зарегистрировано превышение критических значений: «Название параметра» = «значение», «единицы измерений». Состояние: «Умеренно возмущенное»;

- На объекте «Мурманский морской порт» зарегистрировано превышение критических значений: «Скорость ветра = 11 м/с». Состояние: «Умеренно возмущенное».

Реализация схемы выявления ОЯ

Автоматическое выявление ОЯ производится на основе информации о гидрометеорологической обстановке, об отслеживаемом объекте, о критических значениях параметров для конкретных объектов. При поступлении новых данных в ЕСИМО если они относятся к объекту мониторинга (что определяется при регистрации объекта пользователем), то анализируются на наличие значений параметров, превышающих заданные критические значения.

Выявление ОЯ в автоматическом режиме начинается при обновлении информационного ресурса ЕСИМО, который необходимо проанализировать. Для осуществления анализа необходимо выделить объекты, которые располагаются в регионе проявления ОЯ.

При определении превышения критического значения одним или несколькими значениями гидрометеорологических характеристик автоматически присваивается уровень опасности на основе следующего правила. В целом, для явления уровню опасности присваивается максимальное значение, выявленное для отдельных параметров.

Результатом такого анализа является база данных критических ситуаций, содержащая: идентификатор объекта, на котором выделено превышение; код параметра, превысившего критическое значение; дату наблюдения, срок прогноза; тип значения (наблюдение или прогноз); идентификатор информационного ресурса, в котором выявлено превышение; значение параметра; уровень опасности.

При обнаружении ОЯ, влияющего на тот или иной объект, система инициирует оповещение заинтересованного пользователя, предоставляя ему как информацию о факте и уровне опасности возникшей ситуации, так и дает возможность получения более подробного описания ситуации. Оповещение обеспечивается за счет программного интерфейса для различных способов визуализации данных (рис.). Например, для визуализации могут использоваться портал ЕСИМО (<http://esimo.ru>), монитор обстановки и метеоагент. Монитор обстановки позволяет отображать текущую гидрометеорологическую обстановку в режиме реального времени



Рис. Схема выявления опасных явлений

в виде таблицы с иконками метеорологических приборов, на которых отражается уровень опасности. Метеоагент – мобильное приложение, разработанное для обеспечения оперативного оповещения пользователей путем автоматической доставки сообщений на мобильные интернет-устройства.

Таким образом, предложенная методология позволяет в автоматическом режиме выявлять опасные явления из разных источников информации (оперативных, прогностических, штормовых предупреждений). Каждое выявленное опасное явление конкретизируется для объектов, на которые оно способно повлиять.

Поддержка решений

Лицам, принимающим решения, необходимо действовать согласно состоянию окружающей среды. Но на отдельно взятом объекте опасные явления могут появляться достаточно редко, и ЛПР в течение своей деятельности может никогда не столкнуться с такой ситуацией. У ЛПР может отсутствовать опыт решения подобных проблем. В связи с чем, помимо предупреждения об опасных явлениях лиц, принимающих решения, необходимо

предоставлять информацию о возможных воздействиях природной среды на подконтрольный объект и рекомендации к действиям, чтобы избежать тех или иных последствий.

Для этой цели необходимо использовать совместно с автоматической системой выявления ОГЯ систему поддержки принятия решений (СППР). СППР – это информационно-аналитическая система, решающая задачи по информационному и интеллектуальному обеспечению лица, принимающего решения. Главной функцией системы является вывод рекомендаций на основании изучения исторического и текущего состояния объекта наблюдения и сравнения их с информацией, хранящейся в базе знаний системы [2].

В рамках текущей тематики СППР должна формировать сведения о воздействиях явлений на объект и рекомендации, основываясь на результатах выявления ОЯ и информации об объекте, представленном ЛПР. Сведения о возможных воздействиях ОГЯ на наблюдаемый объект должны основываться на информации о состоянии окружающей среды и паспорте объекта. В паспорте объекта указываются все основные строительные, экономические, производственные и другие показатели.

Наиболее важным продуктом работы СППР являются рекомендации, помогающие ЛПР принять решение, которое минимизирует или полностью избавит от экономических и других потерь. Такие рекомендации должны быть определены на основе типа ОГЯ, его уровня опасности для данного объекта, экономических показателей объекта, на предыдущем похожем опыте. ЛПР необходимо понимать, какие действия (или бездействие) могут снизить или предотвратить потери. Основываясь на основных экономических показателях наблюдаемого объекта, можно рассчитать отношение возможных экономических потерь к стоимости превентивных мероприятий [3]. Для каждого случая рассчитывается соотношение возможных экономических потерь (потери от простоя, от повреждения, от уничтожения) к стоимости превентивных мероприятий по формуле

$$K = \frac{P}{S},$$

где P – экономические потери, S – стоимость превентивных мероприятий, K – коэффициент экономической выгоды.

Таким образом, ЛПР, оперируя реальными количественными показателями, может действовать в соответствии с текущей метеорологической ситуацией.

Рекомендации для принятия решений необходимо разделять по уровням управления, т.к. на разных уровнях (федеральный, региональный, локальный и др.) они будут разными. В случае локального ОГЯ, влияющего исключительно на конкретный объект (технологический процесс), необходимы конкретные действия, направленные на уменьшение потерь при конкретных воздействиях (погрузка судна, работа кранов и т.д.). Но чаще всего ОГЯ может развиваться и протекать на довольно широкой географической территории, что требует реакции не только на конкретных объектах, но и на региональном, а иногда и федеральном уровнях. Необходимо обеспечить реакцию на потенциально опасное явление на всех уровнях управления путем предоставления различных рекомендаций в зависимости от зоны ответственности ЛПР.

Для обеспечения СППР сведениями о воздействиях и рекомендациями нужно обеспечивать их хранение и постоянное пополнение базы знаний. База знаний СППР представляет собой набор правил «ЕСЛИ, ТО», которые учитывают метеорологические условия, уровень управления, тип объекта, технологический процесс и тип анализируемых данных (прогноз, наблюдения, климат). Структура базы знаний позволяет накапливать сведения о прошедших явлениях и принятых действиях (в виде возможных рекомендаций) для дальнейшего возможного использования в типовых ситуациях. Пример воздействий и рекомендаций представлен ниже.

Явление: гололед.

Тип информации: в момент прохождения явления.

Воздействия:

Скапливается и замерзает на свесах кровли талая вода, образуются сосульки.

Падают с крыш домов сосульки.

Отмечаются перебои в работе транспорта.

Возникает обледенение вентиляционных шахт и зонтов над ними, точных отверстий в наружных стенах.

Рекомендации для населения:

Быть предельно внимательным при ходьбе.

Держать руки по возможности свободными и не в карманах.

Смотреть под ноги при ходьбе.

Идти по обочине, где дорога не так раскатана и есть столбы, стены и другие потенциальные опоры.

Быть максимально внимательными на пешеходных переходах.

Не перебегать дорогу перед автомобилем, их тормозной путь в условиях гололеда может быть непредсказуемым.

Выводы

Учитывая развитие средств сбора оперативных гидрометеорологических данных по каналам глобальной сети телесвязи, а также технологии интеграции данных, появилась возможность автоматического выявления опасных явлений и доставки информации о них до ЛППР. Для полноценной реализации таких средств необходимо развивать критические значения параметров в сторону уточнения критериев не только для зон ответственности УГМС, но и для конкретных объектов экономики и населения.

В рамках реализации описанной методики на основе информационных ресурсов ЕСИМО создан демонстрационный вариант средств автоматического выявления опасных явлений из оперативных данных, автоматического оповещения ЛППР об ОЯ (мобильное приложение Метео-Агент).

В ближайшее время необходимо реализовать компактную схему визуализации гидрометеорологических параметров и тенденций их изменения в виде метеомонитора, а также расширить состав информационных ресурсов, по которым определяются опасные явления.

Для практического развития методики необходимо разработать программную реализацию системы поддержки принятия решений. СППР должна работать совместно с автоматическим выявлением ОЯ из информационных ресурсов ЕСИМО и на основе получаемых данных выдавать из базы знаний возможные воздействия и рекомендации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Инструкция* по подготовке и передаче штормовых сообщений наблюдательными подразделениями // РД 52.04.563: утв. Росгидрометом 12.12.2013: введ. в действие 27.21.2013. Санкт-Петербург, 2013. 53 с.
2. *Геловани В.А., Башлыков А.А., Бритков В.Б., Вязилов Е.Д.* Интеллектуальные системы поддержки принятия решений в нештатных ситуациях с использованием информации о состоянии природной среды. Москва: Эдиториал УРСС, 2001. 304 с.
3. *Хандожко Л.А.* Экономическая метеорология. Санкт-Петербург: Гидрометиздат, 2005. 489 с.

УДК 004.422.8

ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ АНАЛИЗА ЛЕДОВОЙ ОБСТАНОВКИ

В. Ю. Третьяков

*Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербургский государственный университет,
v_yu_tretyakov@mail.ru*

Программа «Sigrid_ice_map_processing» предназначена для автоматического определения характеристик льда по маршруту плавания на основании карт пространственного распределения ледовых характеристик в международном формате SIGRID-3. ААНИИ обладает уникальным архивом электронных региональных ледовых карт в векторном формате шейпфайлов ArcGIS. Их пространственный анализ позволяет получить статистические распределения ряда параметров ледяного покрова, необходимые для анализа и статистического моделирования рисков возникновения аварийных ситуаций с танкерами и нефте- и газодобывающими платформами.

В начале программы с помощью модуля «Tkinter» создается диалоговое окно (форму) для выбора слоев ледовых карт для их последующего объединения. Программа включает две подпрограммы: «vibor_ice» – выбора слоев одновременных ледовых карт по маршруту плавания и «vibor_route» – выбора слоев участков маршрутов плавания. Разумеется, в частном случае могут быть выбраны только один слой ледовой карты и один слой маршрута плавания. Программа «Sigrid_ice_map_processing» возвращает текущий документ карты и список его фреймов. Предполагается, что в документе карты должен быть один фрейм, или вся ледовая информация должна содержаться в первом фрейме. Поэтому выполняется возвращение первого фрейма в списке фреймов и затем списка всех слоев первого фрейма. Создается список, в который в цикле в качестве элементов добавляются все элементы списка слоев. Затем выполняется добавление списка на форму. Пользователь выбирает в этом списке слои ледовых карт по маршруту плавания, относящиеся к одной дате или одному и тому же временному интервалу. После этого создается список номеров выбранных слоев ледовых карт, а затем – пустой список источников объединяемых слоев ледовых карт с их полными адресами.

Далее в программе выполняется цикл просмотра списка номеров выбранных слоев ледовых карт. В нем по номеру определяется название слоя, а затем – название источника слоя с полным адресом. Поскольку название шейпфайла содержит дату, к которой относится ледовая информация, то из него извлекается дата, месяц и номер декады месяца. Определяется дата, к которой относится карта первого в списке шейпфайла, и затем в список источников слоев с адресами добавляются все источники выбранных слоев фрейма при условии соответствия дат, к которым относятся ледовые карты. Затем в программе происходит задание имени шейпфайла результата объединения слоев ледовых карт. Имя формируется по правилу: 'ice_'+str_data0+'.shp', где «str_data0» – дата, к которой относятся все объединяемые ледовые карты в формате «ггггммдд». Адрес для размещения создаваемого шейпфайла задается таким же, как и у первого шейпфайла в списке объединяемых ледовых карт. Выполняется проверка: возможно, шейпфайл с таким же, как у шейпфайла-результата будущего объединения слоев, названием и адресом уже существует? В этом случае этот «предшественник» удаляется. После этого выполняются слияние слоев ледовых карт с помощью функции «Merge» и запись результата в шейпфайл, удаление из его таблицы атрибутов ряда ненужных полей, удаление пространственных дубликатов. Следующий этап: задание имени и адреса шейпфайла-результата объединения объектов с одинаковыми ледовыми характеристиками. Его имя совпадает с именем исходного шейпфайла-результата объединения слоев, только к концу имени добавляется группа символов «_diss» (от функции «Dissolve»). Здесь также происходит проверка: не существует ли уже по этому адресу шейпфайл с таким названием – и его удаление в случае обнаружения. Затем выполняются объединение объектов с одинаковыми значениями полей ледовых характеристик с помощью функции «Dissolve» и запись результата в шейпфайл. Если запись выполнена успешно, то для предотвращения «захламления» дискового пространства выполняется удаление исходного шейпфайла-результата объединения слоев ледовых карт.

Далее пользователь с помощью экранной формы – диалогового окна – выполняет выбор слоев (участков маршрута). Необходимость использования не одного шейпфайла маршрута плавания, а последовательности шейпфайлов – участков маршрута – объясняется различием внутригодовой динамики толщины на разных участках маршрута плавания. В тех же папках, что и шейпфайлы участков

маршрута, должны содержаться текстовые файлы характерной внутригодовой динамики толщины льда разных возрастных градаций для этих участков. Далее выполняются создание списка слоев – результатов пересечения каждого участка маршрута с объединенным слоем ледовых характеристик – и цикл по всем участкам маршрута. В нем производится чтение текстового файла характерных толщин льда, присвоение значений переменным – характерным толщинам льда определенных возрастных градаций по календарным месяцам и декадам. Затем выполняются непосредственно пересечение текущего участка маршрута с объединенным слоем ледовых характеристик с созданием нового линейного слоя, создание списка полей, удаление лишних полей в созданном линейном слое и удаление пространственных дубликатов. После этого в атрибутивную таблицу созданного слоя добавляются числовые поля ледовых характеристик, символные поля английских и русских названий льда старшего возраста, льда максимальной толщины. Выполняются создание объекта типа «курсор» для просмотра атрибутивной таблицы и цикл просмотра таблицы с заполнением вновь созданных полей. После завершения цикла просмотра и редактирования записей атрибутивной таблицы и удаления курсора осуществляется добавление в таблицу полей английского и русского названий возраста доминирующего льда. Далее опять выполняется создание объекта типа «курсор» для просмотра атрибутивной таблицы, сам цикл просмотра таблицы с заполнением полей с названиями возраста доминирующего льда. По завершении цикла просмотра и редактирования записей атрибутивной таблицы, а также удаления курсора производится разбиение маршрута на односвязные объекты с генерацией нового шейпфайла, удаление многосвязного маршрута, удаление пространственных дубликатов, добавление полного адреса слоя – результата пересечения в список. После окончания цикла по всем участкам маршрута выполняются задание имени и адреса шейпфайла – результата слияния – и само слияние результатов пересечения участков маршрута со слоем ледовых характеристик. Шейпфайл – результат слияния записывается в папку объединенного слоя ледовых характеристик. В случае маршрута из одного участка выполняется просто копирование слоя маршрута с характеристиками льда. Завершает работу программы удаление возможных пространственных дубликатов.

Программа «all_ice_agea» предназначена для автоматизированного создания шейпфайла пространственных объектов, атрибуты

которых представляют параметры ледяного покрова: сплоченность (концентрацию) и толщину льда по возрастным градациям, степень торосистости и интенсивность сжатий. Данная программа служит первым элементом разработанного нами набора компьютерных программ, предназначенного для оперативного выбора оптимального маршрута плавания в условиях существования ледяного покрова. Создаваемый программой «all_ice_agea» слой является результатом пересечения трех слоев пространственных объектов, созданных путем конвертации в шейпфайлы результатов моделирования в других компьютерных программах динамики ледовой обстановки на основании спутниковых данных и прогноза развития метеорологической ситуации. Поскольку полигональные объекты в исходных слоях создаются путем агрегации ячеек матриц с последующим сглаживанием их границ, то в слоях могут возникать пустоты, не принадлежащие слою области. Кроме того, исходные слои характеристик ледяного покрова не включают свободные ото льда области. Маршрут же плавания может проходить и по участкам чистой воды. Поэтому пользователь с помощью интерфейса программы выбирает из списка слоев фрейма (электронной карты) слой области исследований, слои ледовых характеристик, торосистости и сжатий. Слой области исследований должен содержать единственный полигон, представляющий район, в пределах которого выполняются транспортные операции. В программе выполняется объединение каждого из трех слоев ледовых характеристик со слоем области исследований. В результате создаются слои, каждый полигон которых имеет атрибуты ледовых характеристик. Разумеется, для участков чистой воды это нулевые или пустые значения. Далее происходит пересечение этих слоев с генерацией слоя всех ледовых характеристик в пределах области исследований и удаление ненужных полей.

Программа «all_ice_route» предназначена для автоматизированного создания шейпфайла линейных объектов, атрибуты которых представляют параметры ледяного покрова: сплоченность (концентрацию) и толщину льда по возрастным градациям, степень торосистости и интенсивность сжатий по предполагаемому маршруту плавания. Данная программа служит вторым элементом разработанного нами набора компьютерных программ, предназначенного для оперативного выбора оптимального маршрута плавания в условиях существования ледяного покрова. Создаваемый программой «all_ice_route» слой является результатом пересечения созданного пользователем слоя маршрута и полигонального слоя

всех ледовых характеристик, созданного с помощью программы «all_ice_area». Особенность создаваемого слоя линейных объектов заключается в том, что для расчета временных затрат движения по маршруту необходимо, чтобы порядок объектов в атрибутивной таблице соответствовал порядку объектов по маршруту плавания судна. В начале программы пользователь с помощью интерфейса программы указывает место начала маршрута движения судна относительно сторон фрейма в следующем: сверху слева, снизу слева, сверху справа, снизу справа. Затем на интерфейсе программы появляется список слоев фрейма, в котором следует указать слой маршрута, состоящий из одного линейного объекта. В программе выполняется преобразование слоя маршрута в формате Polyline в слой формата PolylineM (линейный маршрутный слой, каждый вертекс которого в дополнение к координатам X и Y получил дополнительную координату M – расстояние от начала маршрута в линейных единицах вдоль самого маршрута). Затем пользователь в списке слоев фрейма выбирает полигональный слой ледовых характеристик, являющийся результатом работы программы «all_ice_area». Выполняется пересечение слоя маршрута в формате PolylineM с полигональным слоем всех ледовых характеристик, в результате создается линейный слой формата PolylineM, объекты которого обладают атрибутивной ледовой информацией. Однако при этом возможно образование многосвязных линейных объектов, т.е. состоящих из нескольких разъединенных частей. Поэтому далее в программе выполняется преобразование многосвязных объектов в односвязные с генерацией нового слоя односвязных линейных объектов формата PolylineM. На каждом этапе работы программы выполняется удаление ненужных слоев, пространственных дубликатов и полей в атрибутивных таблицах. Затем происходит добавление в атрибутивную таблицу слоя маршрута поля «Dlina_nm»: протяженности однородных по ледовым параметрам участков плавания в морских милях и расчет протяженности этих линейных объектов. Далее создается слой объектов типа PointM – конечных точек однородных участков маршрута, и для каждого объекта величина параметра M (расстояние вдоль маршрута до его начала) записывается в поле «POINT_M» атрибутивной таблицы. На следующем этапе работы программы создается слой объектов типа PointM с их расположением в таблице атрибутов по возрастанию расстояния от начала маршрута. Для этого выполняется сортировка уже созданного слоя объектов типа

PointM с записью результата в новый шейпфайл. Затем производится добавление в таблицу атрибутов линейного слоя участков маршрута поля «POINT_M» из атрибутивной таблицы ранжированных по расстоянию от начала маршрута точечных объектов. Взаимосвязь между таблицами осуществляется по принципу «один к одному». Заключительный этап работы программы: создание слоя линейных участков маршрута, ранжированного по расстоянию от начала маршрута. Для этого выполняется сортировка атрибутивной таблицы линейного слоя участков маршрута по возрастанию значения поля «POINT_M» с записью результата сортировки в новый шейпфайл. В нем линейные объекты располагаются последовательно по маршруту плавания.

При компьютерном моделировании плаваний данный шейпфайл служит источником информации для расчета времени движения судна или каравана. В случае, если затраты времени составляют около суток, определяется местонахождение судна (каравана), загружается следующий по времени набор шейпфайлов, содержащих прогнозные ледовые карты, и снова выполняются программы «all_ice_area» и «all_ice_route». В результате имитации прохода судна по всему предполагаемому маршруту плавания рассчитывается суммарное время плавания. Пользователь может промоделировать плавание по разным маршрутам и выбрать оптимальный.

Программа «create_ice_zones_route» предназначена для автоматизированного создания шейпфайла линейных объектов, атрибутами которых являются параметры ледовых зон, выделенных при проведении специальных судовых ледовых наблюдений и записанных в книгу MicrosoftExcel с помощью программы «IceTable» (автор – Е. А. Гришин, ААНИИ). Пользователь выбирает файл данных ледовых зон формата книги MicrosoftExcel, листы которой представляют собой реляционные таблицы. По данным, содержащимся в листе «Geo», автоматически создается шейпфайл линейных объектов, соответствующих ледовым зонам. Лист «Geo» должен содержать следующие поля: «Nzone» – номер ледовой зоны, «Lat_s» – широта точки начала ледовой зоны, «Lat_e» – широта точки окончания ледовой зоны, «Long_s» – долгота точки начала ледовой зоны, «Long_e» – долгота точки окончания ледовой зоны. Все величины должны быть записаны в десятичных градусах системы координат WGS84. Создаваемые линейные объекты представляют собой отрезки локсодромии, поскольку за время прохождения ледовой зоны судно не меняет генеральный курс. Из листа «Ice»

в атрибутивную таблицу созданного шейпфайла добавляется вся информация вне зависимости от названий полей.

Программа «maxiceform» предназначена для автоматического определения наиболее крупной формы льда и занесения результата в атрибутивную таблицу слоя ледовой информации, полученной в результате специальных судовых ледовых наблюдений. Необходимо, чтобы в атрибутивной таблице присутствовали поля «F1R», «F2R», «F1P», «F2P», содержащие символы форм однолетнего и двухлетнего льда в соответствии с международной номенклатурой морских льдов по району («R») и пути («P») плавания. Пользователь с помощью интерфейса программы указывает слой ледовой информации, в атрибутивную таблицу добавляются текстовые поля «MAXFORMR» и «MAXFORMP», которые заполняются в результате автоматического просмотра и редактирования таблицы. При этом из форм двухлетнего и однолетнего льда выбирается наиболее крупная форма, т.е. символ наиболее крупных льдин. В случае отсутствия сведений о формах льда значения полей остаются незаполненными.

Упомянутые в докладе программы являются компонентами разрабатываемых компьютерных систем оптимизации транспортных операций и анализа рисков возникновения аварийных ситуаций.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Фролов С.В., Федяков В.Е., Третьяков В.Ю., Клейн А.Э., Алексеев Г.В. Новые данные об изменении толщины льда в Арктическом бассейне // ДАН. 2009. Т. 425, № 1. С. 104–108.
2. Третьяков В.Ю., Фролов С.В. Модель оценки риска плаваний судов во льдах // Метеорологический вестник. 2009. № 4(5). С. 61–67.
3. Фролов С.В., Третьяков В.Ю., Клейн А.Э., Алексеева Т.А. Толщина льда и ее изменчивость в Арктическом бассейне в 2006–2009 гг. // Лед и снег. 2011. № 3(115). С. 99–104.
4. Фролов С.В., Третьяков В.Ю., Клейн А.Э., Алексеева Т.А., Пряхин С.С. Результаты наблюдений за толщиной ледяного покрова по данным высокоширотных арктических экспедиций // Океанология и морской лед. М.: Paulsen, 2011. С. 374–384.
5. Третьяков В.Ю., Фролов С.В. Модель оценки рисков транспортных операций в условиях ледяного покрова // Проблемы Арктики и Антарктики. СПб: ААНИИ, 2013. № 3(97). С. 21–27.
6. Третьяков В.Ю. Методология оценки ущерба из-за аварийных разливов углеводородов в Арктике при их транспортировке танкерами / Арктика: геополитические и политико-экономические проблемы освоения // Сб. тезисов докладов IX Международной конференции по географии и картографированию океана. СПб: Комиссия географии океана Санкт-Петербургского городского отделения Русского географического общества, 2015. С. 218–221.

УДК 551.501:681.3

АДАПТАЦИЯ СИСТЕМЫ ОБРАБОТКИ И ПЕРЕДАЧИ ДАНЫХ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ В КРЫМСКОЙ РЕСПУБЛИКЕ В СТРУКТУРУ РОСГИДРОМЕТА

В. П. Евстигнеев, В. А. Наумова, М. П. Евстигнеев

*Севастопольский центр по гидрометеорологии и мониторингу
окружающей среды, г. Севастополь,
e-mail: vald_e@rambler.ru*

Введение

Одним из наиболее важных этапов встраивания крымской сети оперативно-производственных подразделений в структуру Росгидромета является вопрос адаптации к системе автоматизированной обработки и передачи в Единый фонд данных гидрометеорологических наблюдений. На гидрометеорологической сети Крыма последние 16 лет внесение, обработка, контроль качества и хранение данных осуществляется с использованием комплекса АССОКА (Автоматизированная система сбора, обработки, контроля и анализа), включающего программы обработки данных морских гидрометеорологических [1], метеорологических [2], речных гидрологических [3] и морских гидрохимических [4] наблюдений. Комплекс является разработкой Севастопольской гидрометеорологической обсерватории (ныне Севастопольский центр по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды), которая в составе Гидрометслужбы Украины осуществляла методическое руководство морской сетью. Программный комплекс был внедрен и принят в качестве основного инструмента обработки данных наблюдений на всех подразделениях морской береговой, метеорологической и речной гидрологической сети Республики Крым. В настоящей работе будут рассмотрены принципы организации системы АССОКА и специфика выполняемых ею функций.

Общий принцип организации системы АССОКА

Система АССОКА реализует полный цикл сбора, автоматизированной обработки и хранения режимных данных

гидрометеорологических наблюдений в соответствии с руководящими документами по обработке гидрометеорологической информации. Комплекс включает четыре самостоятельных программных продукта – АССОКА (Морская гидрология), АССОКА (Гидрология), АССОКА (Метеорология), АССОКА (Морская гидрохимия), предназначенных для обработки данных соответственно морских гидрологических, речных гидрологических, метеорологических и морских гидрохимических наблюдений.

На этапе разработки в основу построения и программной реализации систем АССОКА были положены следующие общие требования:

- система должна быть не критична к объему оперативной памяти, жесткого диска, тактовой частоте процессора и типу операционной системы;
- система должна быть максимально проста для самостоятельного освоения непрофессиональным пользователем персонального компьютера;
- система должна быть ориентирована на долговременное функционирование без регулярного сопровождения группы разработчиков;
- цикл движения данных должен быть реализован в строгом соответствии с действующими в Гидрометслужбе наставлениями и методическими указаниями по обработке результатов наблюдений [5, 6].

Основная идея технологии АССОКА состоит в последовательной реализации этапов обработки и контроля данных наблюдений от формы электронных книжек, визуально схожих с бумажными аналогами, к ежемесячным таблицам, которые формируются из книжек посредством функции автозаполнения и далее, к годовым, многолетним таблицам и таблицам Государственного водного кадастра (ГВК), а также аналитическим выборкам данных за произвольные временные периоды. Основной принцип, положенный в организацию системы, – минимизация действий пользователя по обработке данных наблюдений. Практически все операции расчета гидрометеорологических параметров выполняются автоматически на основании занесенных в книжки КГ (КГМ) пользователем данных первичных наблюдений.

К основным особенностям технологии АССОКА можно отнести следующее:

– любая из систем АССОКА представляет собой самостоятельный программный продукт, не требующий установки каких-либо дополнительных компонентов или приложений. Система сохраняет свою полнофункциональность и эффективность при работе на любых по производительности компьютерах, оснащенных системой Windows 95 и выше;

– электронные таблицы занесения гидрометеорологической информации представляют собой таблицы формата Excel 5.0 (БЭТ – библиотека электронных таблиц), что позволяет редактировать их в стандартных приложениях Microsoft Office независимо от установленной системы АССОКА. БЭТ представляет собой систему папок, обеспечивающих быстрый доступ к таблице любого уровня как программным способом, так и вручную;

– система АССОКА содержит программный «шлюз», реализующий двусторонний доступ к данным наблюдений, хранимым как в БЭТ, так и в клиент-серверной базе данных [7]. Такой подход позволяет не только задействовать весь арсенал современной системы управления базой данных по обработке больших массивов исторических данных, но и параллельно использовать два способа обмена данными со станциями и центрами: файловый из БЭТ и прямое пополнение/считывание базы данных на сервере через web-интерфейс.

– интерфейс системы нацелен на непрофессионального пользователя ПК и представляет собой удобную наглядную среду, построенную подобно известным программным продуктам;

– электронные шаблоны всех основных таблиц занесения данных материалов наблюдений максимально соответствуют своим бумажным аналогам, принятым в Гидрометслужбе;

– система на базе технологии АССОКА содержит компонент расширенного критического контроля, основанного на наставлениях для гидрометеорологических станций и методических указаний по ведению ГВК;

– каждая система снабжена модулем стандартной печати таблиц, позволяющим в конце цикла преобразования данных наблюдений выдавать печатный материал для хранения в Государственном гидрометеорологическом фонде;

– система на базе технологии АССОКА содержит компонент первичного статистического и графического анализа данных, модули кодирования текста телеграмм для передачи ежесрочной

оперативной информации, кодирования в код МТК, загрузки данных из формата ЯОД.

В целом система АССОКА по своей функциональности подобна комплексу систем ПЕРСОНА [8], используемому в настоящее время в Росгидромете. Основное отличие проявляется в принципе взаимодействия с пользователем: в АССОКА процесс внесения данных максимально приближен к процедуре заполнения бумажных книжек КМ (КГМ) численной и буквенной информацией, и нагрузка на пользователя по производству первичной обработки данных наблюдений минимизирована.

Состав комплекса систем АССОКА

АССОКА (Морская гидрология) [1]. Автоматизированная система сбора, обработки, контроля и анализа данных морских прибрежных наблюдений АССОКА (Морская гидрология) представляет собой интерактивную пользовательскую среду, обеспечивающую автоматизированный процесс прохождения данных морских прибрежных наблюдений от ручного ввода первичного материала в книжки КГМ (КГМ-1, 9) до полностью подготовленных к распечатке ежемесячных (ТГМ-1, 2, 7), годовых и многолетних таблиц, и рядом других функций, включая автоматизированное создание Морского ежегодника (ГВК). Внешний интерфейс системы представлен на рис. 1.

В системе АССОКА (Морская гидрология) реализованы процедуры стандартного расчета таблиц наблюдений:

- Книжек КГМ:

- 1) КГМ-1 с автоматическим кодированием текста телеграммы в коде КН-02;

- 2) КГМ-9 по трем методам измерения солености: ареометрирование, электрометрический, титрование.

- Таблиц ТГМ:

- 1) ТГМ-1 – основные морские гидрологические наблюдения: расчет средних и экстремальных суточных и месячных значений параметров ветра и волнения с учетом параметра качества входных данных и вида распределения пропусков наблюдений;

- 2) ТГМ-2 – основные ледовые наблюдения: расчет в рамках ледового сезона;

- 3) ТГМ-7 – наблюдение за уровнем моря: расчет средних и экстремальных суточных и месячных значений уровня моря,

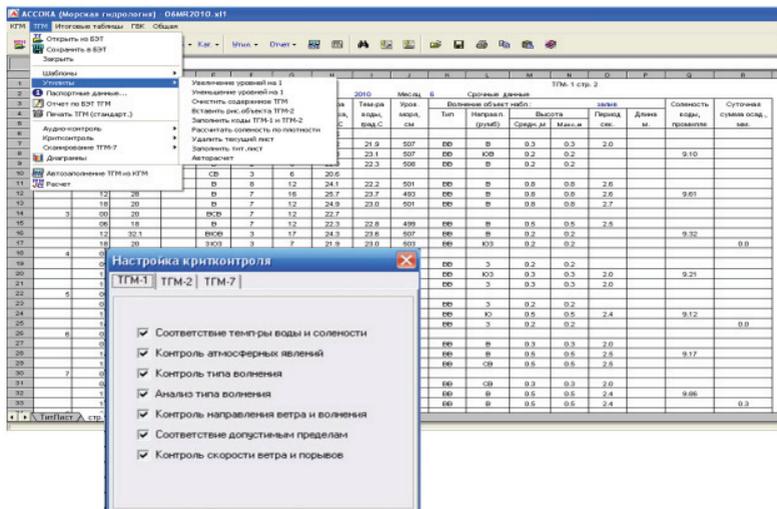


Рис. 1. Интерфейс системы АССОКА (Морская гидрология)

статистических характеристик распределения, а также повторяемости и обеспеченности с учетом параметра качества входных данных и вида распределения пропусков наблюдений.

- Итоговых годовых и таблиц ГВК по элементам: уровень моря, температура воды, соленость морской воды, волнение, лед.
- Каталогов многолетних наблюдений.
- Создание Итоговых таблиц за произвольный период лет, позволяющих производить выборку по основным гидро- и метеорологическим параметрам в форме стандартного климатического справочника.

Обработка результатов наблюдений производится в соответствии со стандартными паспортными данными по каждой станции. Предусмотрена возможность модификации паспортных данных, а также добавление (удаление) станций или постов. Заполнение таблиц ТГМ из КГМ, итоговых годовых из ТГМ, каталогов многолетних наблюдений из итоговых и итоговых за период производится автоматически. Для получения оперативной информации по содержанию БЭТ предусмотрен специальный генератор отчета. С целью повышения эффективности работы оператора в АССОКА (Морская гидрология) предусмотрены набор

вспомогательных утилит, а также развернутая справочная система. Предусмотрены возможности изменения формы и формата таблиц и обмена данными с другими приложениями. Создан менеджер стандартной печати таблиц ТГМ, КГМ, Итоговых.

АССОКА (Гидрология) [2]. Система АССОКА (Гидрология) является интерактивной пользовательской средой сбора, обработки, контроля и анализа данных речных гидрологических наблюдений, которая обеспечивает автоматизированный процесс движения данных от ручного ввода первичного необработанного материала в книжки КГ до подготовленных к печати таблиц ГВК (рис. 2).

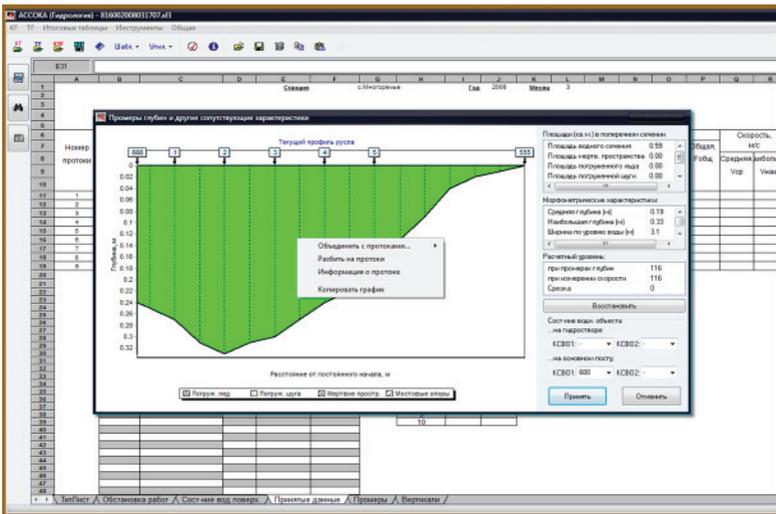


Рис. 2. Интерфейс системы АССОКА (Гидрология)

К основным особенностям системы можно отнести следующее:

В системе АССОКА (Гидрология) реализованы процедуры стандартного расчета таблиц наблюдений:

- Книжеч КГ:

- 1) КГ-1М – обработка основных элементов наблюдения;
- 2) КГ-3М, 7М – обработка расходов воды;
- 3) КГ-6М – обработка результатов измерения расходов наносов воды;

носков воды;

4) КГ-10 – обработка результатов наблюдений за единичной мутностью и расчет твердого стока.

- Месячных таблиц ТГ:

ТГ-11 (ежечасный уровень), ТГ-11 (ежечасный расход) – расчет средних и экстремальных суточных и месячных значений измеряемых параметров.

- Итоговых годовых таблиц:

1) ТГ-10 – соотнесение кривых расхода периоду их действия, периодов действия коэффициентов зарастания русла и зимнего подпора уровня и т.д.;

2) ТГ-8 – составление таблицы измеренных расходов за год;

3) ТГ-14 – составление таблицы измеренных расходов наносов за год;

4) Составление итоговой сводной таблицы по 9 элементам наблюдения.

- Таблиц ГВК (Форма А и Б) по элементам: Уровень воды, Расход воды, Мутность воды, Расход наносов, Температура воды, Толщина льда и высота снега, Ледовые явления.

Обработка результатов наблюдений производится в соответствии со стандартными паспортными данными по каждой станции и прибору. Предусмотрена возможность модификации паспортных данных, а также добавление (удаление) станций и постов, приборов, внесение характеристик многолетнего хода элементов, интенсивности их изменения для каждого отдельного подразделения с целью повышения эффективности контроля данных и автозаполнения таблиц ТГ, КГ, итоговых годовых, таблиц ГВК. Электронные варианты шаблонов книжек КГ, ТГ, итоговых годовых и таблиц ГВК внешне подобны существующим на сегодняшний день бумажным аналогам. Расчет элементов расхода воды, единичной мутности и расхода наносов осуществляется в соответствии с принятыми в Гидрометслужбе основными и сокращенными способами измерения и методиками расчета.

АССОКА (Метеорология) [3]. Автоматизированная система сбора, обработки, контроля и анализа данных метеорологических наблюдений АССОКА (Метеорология) представляет собой интерактивную пользовательскую среду, обеспечивающую автоматизацию прохождения данных метеонаблюдений от ручного ввода первичного материала в книжки КМ до полностью подготовленных к распечатке стандартных ежемесячных таблиц ТМС (рис. 3).

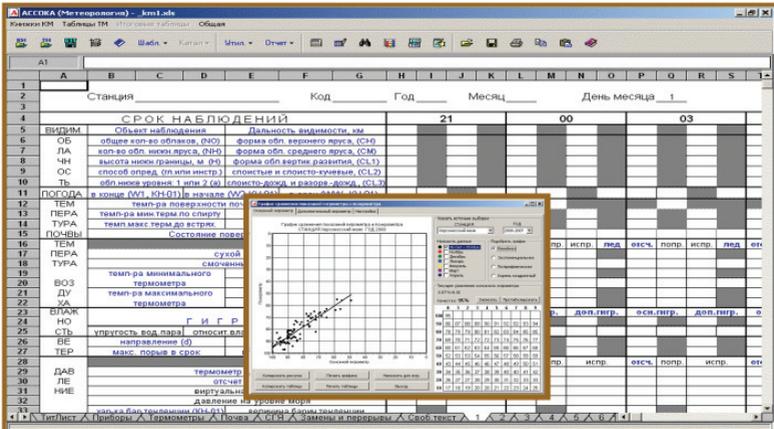


Рис. 3. Интерфейс системы АССОКА (Метеорология)

Система АССОКА (Метеорология) выполняет следующие основные функции:

- ввод и хранение данных первичных наблюдений в привычные для техника-метеоролога шаблонные формы книжек КМ-1, 3, 4, 5 и журнал химических наблюдений;
- автоматический контроль введенных данных. В АССОКА (Метеорология) реализован технический контроль данных (правильность формата ввода данных), выполняемый автоматически на этапе расчета, кодирования и создания книжек КМ, а также критический контроль SGEL;
- расчет книжек КМ или таблиц ТМС согласно стандартной методике;
- автоматическое создание таблиц ТМС из книжек КМ;
- построение сравнительного графика показаний гигрометра/гигрографа и психрометра;
- кодирование метеоинформации книжек КМ в стандартный текстовый код перфорации, а также составление оперативных метеотелеграмм.
- считывание информации с автоматического измерителя давления БАР.

С целью повышения эффективности работы оператора в АССОКА (Метеорология) предусмотрены набор вспомогательных утилит, а также развернутая справочная система.

АССОКА (Морская гидрохимия) [4]. Автоматизированная система сбора, обработки, контроля и анализа данных морских гидрохимических наблюдений по аналогии с вышеописанными системами обеспечивает автоматизированный процесс движения данных от ручного ввода первичного необработанного материала в книжки КГМ до полностью подготовленной к распечатке таблицы ТГМ-3М. Функциональные возможности АССОКА (Морская гидрохимия) включают:

- во всех шаблонах книжек КГМ предусмотрена возможность внесения данных с автоматического измерителя элемента – зонда. Допускается как раздельное, так и одновременное измерение автоматическим и ручным способом с приоритетом последнего при заполнении ТГМ-3М;

- качество и количество горизонтов, вносимых в книжки КГМ, в целом ограничений не имеют. Донный и придонный горизонты учтены. Реализована система контроля горизонтов;

- реализованы семь методов измерения (ареометрирование, электрометрический, титрование – для измерения солености; йодометрический – измерение содержания кислорода и сероводорода; электрометрический – для измерения pH; объемно-аналитический – для измерения щелочности; спектрофотометрический – для измерения содержания произвольного элемента) плюс возможность внесения данных произвольным методом. Алгоритм процедуры автоматической обработки книжек полностью соответствует методическим указаниям по производству гидролого-гидрохимических наблюдений;

- алгоритм смены метода измерения в процессе экспедиции реализован применительно к трем методам солености. Программный алгоритм АССОКА (Морская гидрохимия) построен таким образом, что появление альтернативного метода для любого гидрохимического элемента потребует простого добавления соответствующей процедуры расчета в базовый программный код без модификации последнего;

- при автоматическом формировании ТГМ-3М предусмотрена возможность создания любого количества произвольных элементов с не более чем двухуровневой вложенностью. Создание таблицы ТГМ-3М возможно в режиме «по умолчанию» со стандартной структурой и в произвольном режиме при помощи визуального конструктора таблицы;

- для всех без исключения измерительных приборов или химических растворов, используемых в воплощенных в АССОКА (Морская гидрохимия) методах измерения, предусмотрена возможность смены (перекалибровки) на любом горизонте;
- предусмотрен контроль формата введенных в книжку КГМ данных на этапе обработки. При обнаружении ошибки система выдает соответствующее предупреждение с указанием ячейки-источника;
- процедуры создания, обработки и хранения книжек КГМ и таблиц ТГМ-3М автоматизированы. Предусмотрено создание как стандартной (автоматически), так и произвольной (вручную) формы таблицы ТГМ-3М;
- решена задача восстановления архива таблиц ТГМ-3М. Предусмотрен ввод данных непосредственно в шаблон ТГМ-3М.

Заключение

В настоящее время комплексом систем АССОКА оснащены все подразделения морской прибрежной сети, а также большинство гидрологических и метеорологических подразделений Республики Крым. С использованием этого комплекса в крымских подразделениях ведется пополнение массивов первичных гидрометеорологических данных не только текущими наблюдениями, но и историческими данными из Гидрометфонда по пунктам Украины, России и Грузии за период с начала наблюдений. Система АССОКА была изначально разработана под требования Госкомгидромета Украины, однако адаптация системы под стандарты обработки и контроля качества, действующие в Росгидромете, не представляет сложности. В частности, внешний обмен данными через формат МТК, ЯОД или клиент-серверную технологию в настоящее время находится в завершающей стадии доработки. В дальнейшем основное внимание будет уделено адаптации процедур подсистемы контроля качества данных в АССОКА под требования Росгидромета.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Євстігнєв М.П., Євстігнєв В.П., Наумова В.А. та ін.* Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір № 23158, дата реєстрації 19.12.2007 (Україна).
2. *Євстігнєв М.П., Євстігнєв В.П., Наумова В.А., Лантушенко О.О.* Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір № 23207, дата реєстрації 01.04.2009 (Україна).

3. *Євстигнєєв В.П., Євстигнєєв М.П., Наумова В.А.* Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір № 23205, дата реєстрації 01.04.2009 (Україна).
4. *Євстигнєєв М.П., Євстигнєєв В.П., Наумова В.А.* Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір № 41070, дата реєстрації 21.11.2011 (Україна).
5. *Наставление гидрометеорологическим станциям и постам.* Ч. 1. Вып. 9. Л.: Гидрометеиздат, 1984. 312 с.
6. *Наставление гидрометеорологическим станциям и постам.* Ч. 1. Вып. 6. Л.: Гидрометеиздат, 1978. 384 с.
7. *Євстигнєєв В.П., Євстигнєєв М.П., Кульбида Н.И., Наумова В.А., Швень Н.И.* Использование современных информационных технологий при создании базы метеорологических данных Украины // Научные труды УкрНИИГМИ. 2013. Вып. 264. С. 81–90.
8. *Зубрицкая Е.Н.* Опыт разработки программного обеспечения систем ПЕРСОНА (МИС, МИП, БЕРЕГ) в среде Windows // Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2010. Вып. 174. С. 5–6.

УДК 551.501.8+ 551.509.58

РАЗРАБОТКА РЕГИОНАЛЬНОГО СИТУАЦИОННОГО ЦЕНТРА ПО МОНИТОРИНГУ И ПРОГНОЗУ ОПАСНЫХ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

В. С. Инюхин¹, С. А. Куцев², К. Б. Лиев³, В. В. Суслов⁴

*Федеральное государственное бюджетное учреждение
«Высокогорный геофизический институт»,
¹ inuhin@mail.ru, ² stasuk6@mail.ru, ³ buffy_li@mail.ru,
⁴ victorvgi@yandex.ru*

Анализ развития опасных природных явлений на Земле показывает, что, несмотря на научно-технический прогресс, защищенность людей и техносферы от природных опасностей возрастает. Количество жертв в мире от разрушительных природных явлений в последние годы увеличивается ежегодно на 4,3 %, а пострадавших – на 8,6 %. Экономические потери растут в среднем на 6 % в год. В настоящее время в мире существует понимание того, что природные катастрофы – это глобальная проблема, являющаяся источником глубочайших гуманитарных потрясений, и является одним из важнейших факторов, определяющих устойчивое развитие экономики. Основными причинами сохранения и усугубления природных опасностей могут быть недостаточная эффективность и неразвитость систем мониторинга окружающей природной среды, ослабление государственных систем наблюдения за природными процессами и явлениями, отсутствие или плохое состояние гидротехнических, противоползневых, противоселевых и других защитных инженерных сооружений.

На территории России встречаются более 30 опасных природных явлений и процессов, среди которых наиболее разрушительными являются наводнения, штормовые ветры, ливни, ураганы, смерчи, оползни, сели, снежные лавины. Наиболее частыми на территории России становятся природные катастрофические явления атмосферного характера, среди них наиболее разрушительными бывают ураганы, град, смерчи, сильные ливни, снегопады.

Большую опасность вследствие массового характера распространения имеют такие склоновые явления, как оползни и сели.

Селевые процессы проявляются на 8 % территории России и развиваются в горных районах Северного Кавказа, на Камчатке, Северном Урале и Кольском полуострове. Под прямой угрозой селей в России находятся 13 городов, и еще 42 города расположены в потенциально селеопасных районах. Из гидрологических чрезвычайных событий наводнение может быть одним из наиболее распространенных и опасных природных явлений. В России наводнения занимают первое место среди стихийных бедствий по частоте, площади распространения, материальному ущербу и второе место – после землетрясений по количеству жертв материального ущерба. На территории России ежегодно происходят от 40 до 68 кризисных наводнений. Угроза наводнений существует для 700 городов и десятков тысяч населенных пунктов, большого количества хозяйственных объектов.

В связи с этим актуальной задачей может быть разработка и осуществление эффективных современных мер мониторинга и прогноза опасных природных явлений.

Сейчас наблюдается резкое увеличение интереса к ситуационному подходу в различных сферах человеческой деятельности, в том числе и в геофизике. В результате активного развития этого направления существенно расширился класс ситуационных систем и изменилась терминология [1–4].

Настоящая работа представляет собой попытку сформулировать основные черты регионального ситуационного центра (СЦ) по мониторингу и прогнозу опасных гидрометеорологических процессов и выделить его особенности.

С развитием информационных технологий и цифровых методов сбора, передачи и обработки данных появилась возможность создания территориально-распределенных систем, сбора метеорологической информации и передачи ее в центр анализа и прогноза опасного развития ситуации.

В работе [5] рассмотрена архитектура функционирования локальной платформы сбора метеоданных, объединяющей несколько аппаратно-программных комплексов (АПК). Такая архитектура используется на научно-исследовательском полигоне Высокогорного геофизического института (ВГИ), расположенного в Баксанском районе Кабардино-Балкарской Республики (КБР). Параллельно с созданием платформ сбора данных формировался Центр приема и обработки метеорологических данных (ЦПД),

находящийся в здании института в г. Нальчике. Такая система, по нашему мнению, должна обеспечивать высокую эффективность, оперативность и надежность полученной информации.

Структура ЦПД, предназначенного для работы в составе территориально-распределенных систем сбора, предварительной обработки и передачи метеоданных, представлена на рис. 1.

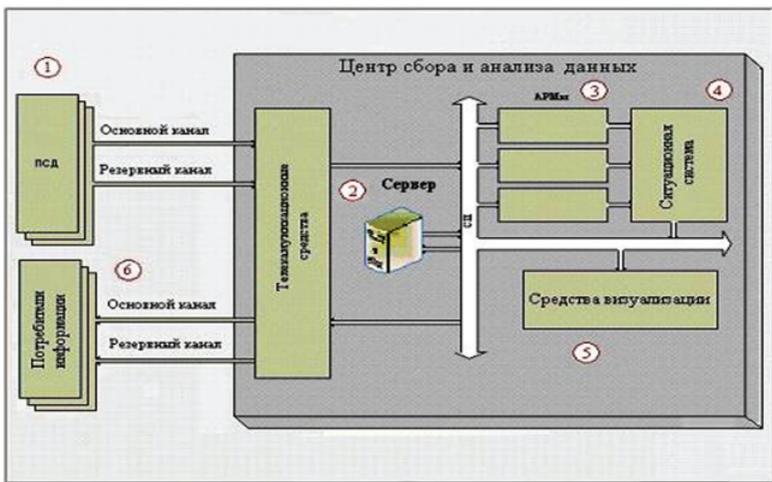


Рис. 1. Структура ЦПД

Рассмотрим работу Центра.

1. На платформах сбора данных (ПСД) производится сбор и передача метеорологической информации (блок 1). Работа ПСД достаточно подробно описана в [6]. Сюда же необходимо отнести каналы связи для передачи метеорологических данных с ПСД в ЦПД ВГИ. В описываемой системе для передачи данных используется роутер iRZ Router RUN2, который применяет технологию HSUPA (скорость обмена данными: передачи – до 5,76 Мбит/с, приема – до 7,2 Мбит/с), что обеспечивает надежный высокоскоростной доступ в Интернет. Для усиления сигнала и стабильной работы используется направленная 3G-антенна GSM Волна S12. В данной технологии передача данных в ЦПД производится посредством стандарта FTP (англ. File Transfer Protocol) – протокола передачи файлов TCP-сетям. Протокол построен на архитектуре

«клиент–сервер» и использует разные сетевые соединения для передачи команд и данных между клиентом и сервером. Для обеспечения повышенной безопасности канала обмена данными предусмотрена возможность работы по протоколу FTPS (защищенный протокол для передачи файлов). Программные средства, используемые для формирования сообщений, передаваемых на FTP-сервер, должны предусматривать возможность подготовки и передачи файлов по протоколу FTP WMO и FDP (сети теле-связи Росгидромета). Для передачи приема данных на FTP-сервер необходима специальная программа – FTP-клиент. В качестве такой программы на локальном сервере ЦПД ВГИ установлено приложение FileZilla.

В качестве резервного канала связи между ПСД и ЦПД возможно применение радиомоста с использованием систем ШПД (широкополосный доступ в интернет) типа Motorola Canopy. При этом расстояние между ПСД и ЦСД удовлетворяет возможностям данной системы. Скорость обмена по радиомосту при хороших условиях может превышать 10 Мбит/с.

Кроме того, для передачи и приема данных необходимы телекоммуникационные средства, представленные на рис. 1. Под телекоммуникационными средствами понимается оборудование и программное обеспечение, используемое для создания сетей и систем передачи метеорологических данных. При передаче данных через Интернет сюда необходимо также включить Интернет-провайдера, предоставляющего услуги доступа к сети.

2. Вся информационная система Центра, объединенная в локальную сеть (блок 2). Информационная система – это организационно упорядоченная совокупность технических и программных средств, реализующих информационный процесс. Основным элементом системы является сервер, содержащий данные разных типов для общего и индивидуального применения. В состав сервера входят базы данных – локальные и распределенные. Программные средства сети предназначены для организации коллективного доступа к ее ресурсам, динамического распределения и перераспределения ресурсов сети, для оптимальной загрузки технических средств, координации работы основных звеньев сети. Технически сеть представляет собой набор компьютеров, периферийных устройств (принтеров и т. п.) и коммутационных устройств, соединенных кабелями. В качестве кабеля используется

простая витая пара (twisted pair), представляющая собой два переплетенных друг друга изолированных медных провода.

3. Для обработки и анализа информации используются входящие в состав Центра автоматизированные рабочие места (АРМ) (блок 3). Рассмотрим работу одного из АРМ. Автоматизированное рабочее место метеоролога-прогнозиста представляет собой персональный компьютер с установленными на нем базовыми и специальными программными средствами. Оно предназначено как для оперативного отображения различного вида метеорологической информации, так и для проведения ее обработки и систематизации при формировании оперативных и сверхоперативных прогнозов.

На рис. 2 представлена схема преобразования информационных потоков программными средствами АРМ.

АРМ обеспечивает:

- прием наземных, радиолокационных, грозопеленгационных и спутниковых данных через системный интерфейс с сервера Центра;

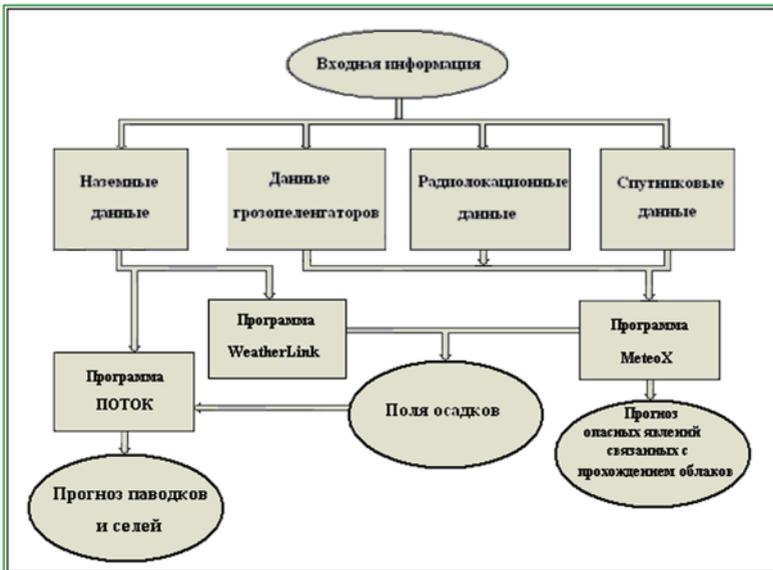


Рис. 2. Схема преобразования информационных потоков программными средствами автоматизированного рабочего места метеоролога-прогнозиста

- представление оперативной метеорологической информации на экране компьютера;
- вывод на экран компьютера с помощью программы «WeatherLink» основных метеорологических параметров (температуры и влажности воздуха, атмосферного давления, направления и скорости ветра, интенсивности и суммы осадков) в графическом или табличном виде для всех метеостанций сети;
- определение тенденции развития облачных процессов с помощью программы «MeteoX», вывод на экран карт горизонтальных и вертикальных разрезов облаков, интенсивности осадков и суммы осадков, рассчитанных за заданный период времени;
- выработку с помощью программы «ПОТОК» оперативного прогноза паводков и наводнений на горных реках Северо-Кавказского региона;
- передачу полученных результатов на сервер для последующего использования потребителями.

4. Главной задачей Центра является обобщенное описание комплекса событий – создание ситуационной системы (СС) (блок 4). Под термином «ситуационная система» понимается комплекс программных и аппаратных средств, которые позволяют хранить, отображать и анализировать информацию на основе ситуационной модели (в отличие от регистрационного или промежуточного центра передачи данных).

Целью создания «ситуационной системы» является обеспечение принятия решения на основе современных информационных технологий, позволяющих собрать необходимые фактические данные в реальном масштабе времени и в удобном для руководителя виде. При этом на программно-аппаратном уровне должно поддерживаться как минимум пять основных функций:

- получение, совмещение и интеграция информации, поступающей из различных источников;
- моделирование текущей ситуации и прогноз ее развития в различных сценариях;
- визуализация и мониторинг потоков информации;
- анализ ситуации и принятие решения;
- формирование, документирование и передача управляющего воздействия (распоряжения).

Задачи, реализуемые ситуационными центрами, можно условно разделить на три группы: информационно-аналитическое

обеспечение, прогнозирование развития ситуаций и обеспечение коллективной подготовки решений. Таким образом, при создании автоматизированных информационно-управляющих систем ситуационный центр – это, прежде всего, совокупность специальных информационных технологий и аппаратно-программных комплексов, реализующих функции подготовки управленческих решений с учетом оценки их последствий, причем процесс поддержки и принятия решения происходит в реальном времени по отношению к тем событиям, на которые нужно реагировать.

Представляя концепцию развития информационно-коммуникационной инфраструктуры системы управления в кризисных ситуациях, необходимо иметь в виду приоритетные направления в развитии ситуационной модели:

- проведение паспортизации атмосферных процессов, приводящих к возникновению опасных явлений;
- проведение районирования территорий по опасным явлениям;
- применение ГИС-технологий для создания и развития информационно-справочных систем (паспортов безопасности территорий);
 - развитие систем сбора и обработки данных;
 - определение мониторинговых систем;
 - создание информационно-расчетных комплексов прогноза чрезвычайных ситуаций;
 - привлечение аналитических и экспертных систем.

5. Для решения стоящих перед центром задач требуются большие объемы и высокая интенсивность поступления входной информации, что делает абсолютно необходимым использование современных средств, обеспечивающих высокие возможности приема, воспроизведения и восприятия информации. Основными элементами технического оснащения центра являются различные средства визуализации, в частности экран коллективного пользования, позволяющий создать единый информационный фон для лиц, работающих в Центре. Экран может представлять собой видеостену или проекционную установку. Рабочий зал мультискранный видеостены приведен на рис. 3.

Создание ситуационной модели включает этап проведения паспортизации опасных облачных процессов, наблюдаемых в регионе. В настоящее время в паспорт таких процессов входят



Рис. 3. Рабочий зал Ситуационного центра ВГИ

данные, которые характеризуют день наблюдений в целом, и данные, характеризующие каждый элемент процесса, облако или ячейку.

При этом собираются следующие данные:

- синоптические карты (приземная карта погоды, карта абсолютной барической топографии поверхности 500 мб, карта относительной топографии поверхности 500 мб над поверхностью 1000 мб);
- аэрологическая информация (карты аэрологического зондирования атмосферы для наиболее близких точек: Минеральные Воды, Дивное);
- радиолокационные данные;
- грозопеленгационные данные;
- спутниковая информация.

Синоптические карты собираются ежедневно и заносятся в специально созданные таблицы для графических данных базы данных «Pogoda». Карты абсолютной топографии (АТ) позволяют анализировать барическое поле на высотах, вблизи которых располагаются соответствующие изобарические поверхности (в данном случае 500 мб), а также поля других метеорологических элементов (ветра, температуры). Карты относительной топографии – это карты, на которые наносится превышение одной изобарической

поверхности над другой, т. е. разность между высотами двух избранных поверхностей.

Погодные условия, характеризующие дни наблюдений, также собраны в базе данных «Pogoda» в таблицах для каждого года наблюдений, например «Сезон_2012» или «Сезон_2013». Эти таблицы заполняются по ходу сезона с помощью специальной формы для ввода синоптических данных (прогноза погоды на день наблюдений).

Данные, собранные в базе данных, могут объединяться по различным признакам и выводиться на экран с помощью запросов.

Радиолокационными данными, характеризующими градовые облака с момента их зарождения до момента диссипации, за дни наблюдений заполняются соответствующие таблицы базы данных.

Для паспортизации дня с опасными явлениями (град, гроза, ливни, шквал, смерч и т.д.) используются графические объекты. Например, на рис. 4 приведена радиолокационная структура грозоградового процесса 14.06.2013.

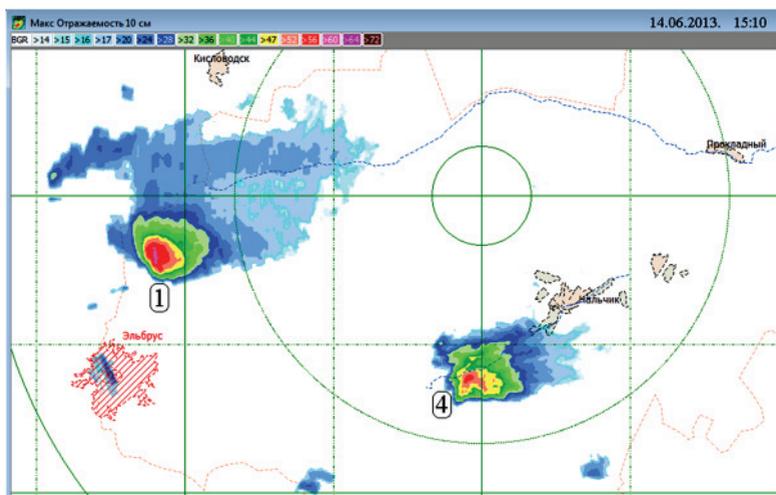


Рис. 4. Радиолокационная структура грозоградового процесса 14.06.2013

Для каждой мощной конвективной ячейки в состав паспортных данных входит карта, содержащая графики, описывающие

временной ход основных радиолокационных параметров ячеек, и карта, описывающая направление и скорость перемещения градовых ячеек в дни наблюдений.

Для каждого дня наблюдений, сопровождающегося опасными атмосферными или склоновыми явлениями, создается карта с эмограммой температурно-ветрового зондирования тропосферы, построенной по данным зонда Минеральные Воды (12 и 16 часов). В эти же дни с соответствующих сайтов в Интернете собирается информация со спутниковыми данными. На рис. 5 приводится карта спутниковой информации.

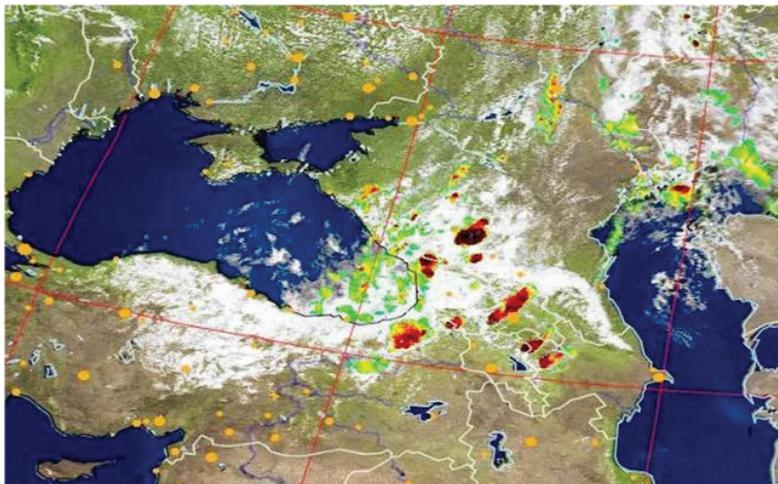


Рис. 5. Спутниковый снимок зон осадков над юго-западной частью европейской территории России

По данным радиолокационных наблюдений была построена карта частот появлений первого радиозеха мощных конвективных облаков. Данные были усреднены за летние месяцы 2011–2013 гг. На рис. 6 приводится карта с местами и частотами появления первого радиозеха мощных конвективных облаков.

На рисунке можно наблюдать 6 ярко выраженных областей (выделено желтым и красным цветом), объединяющих большое количество (4 и более) случаев зарождения градовых облаков, 5 из них – на территории КБР, 1 – на территории Республики Северная Осетия–Алания. Как видно из рисунка, области 3 и 5

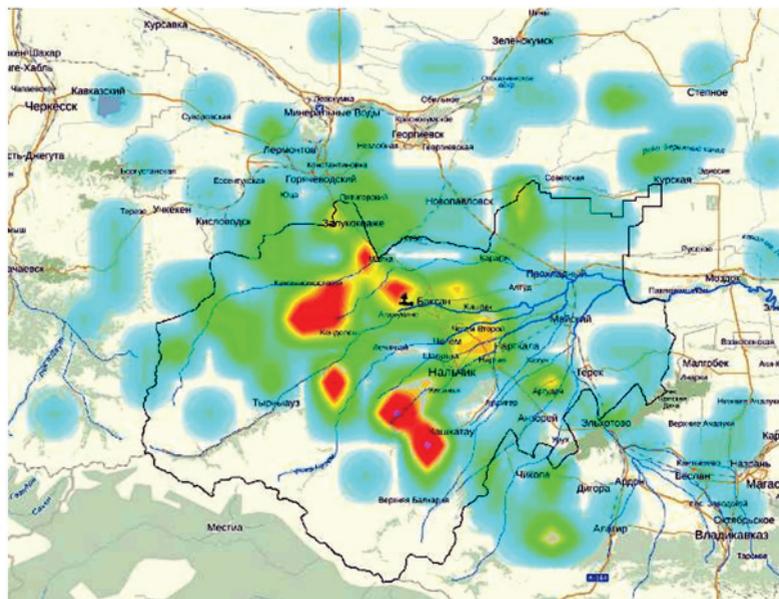


Рис. 6. Карта района появления первого радиозеха мощных конвективных облаков

расположены на высоте до 500 м, остальные из них находятся на высотах более 500 м над уровнем моря.

Область № 1 расположена в междуречье р. Малка и р. Баксан в районе сел Каменномостское, Сармаково, Малка, Атажукино и Кенделен; область № 2 – в междуречье р. Баксан и р. Чегем в районе сел Былым, Безык, Хушто-Сырт и Нижний Чегем; область № 3 – севернее г. Нальчик в междуречье р. Чегем и р. Урвань в районе сел Шалушка, городов Чегем и Нарткала; область № 4 – южнее г. Нальчик в междуречье р. Чегем и р. Черек в районе сел Белая Речка, Хасанья, Кашхатау, Карасу и Бабугент; область № 5 – в междуречье р. Черек и р. Терек юго-западнее г. Терек, сел Аргудан и Старый Черек; область № 6 – юго-западнее г. Алагир в междуречье р. Терек и р. Черек.

Анализ показывает, что в этих областях зарождается более 60 % всех градовых облаков. Остальные места зарождения градовых облаков сравнительно равномерно распределены по всей площади наблюдений.

Градовые облака под действием ветра перемещаются из областей их зарождения, отклоняясь от ведущего потока в ту или иную сторону. Для каждой из рассмотренных областей зарождения градовых облаков были получены преимущественные направления их перемещения, которые сведены в таблицу.

Т а б л и ц а

Преимущественные направления перемещения градовых облаков

Область	Направление перемещения градовых облаков в % от всех направлений							
	С	С-В	В	Ю-В	Ю	Ю-З	З	С-З
1	4	–	4	8	–	16	32	36
2	–	–	–	–	14	43	14	29
3	7	–	19	–	7	13	27	27
4	10	–	–	5	10	43	14	18
5	–	–	67	–	–	33	–	–
6	–	–	–	–	33	67	–	–

Таким образом, в работе рассмотрены некоторые аспекты создания Регионального ситуационного центра. Главной задачей центра является обобщенное описание комплекса событий – создание ситуационной системы (СС). Под термином «ситуационная система» понимается комплекс программных и аппаратных средств, которые позволяют хранить, отображать и анализировать информацию на основе ситуационной модели. Приоритетные направления в развитии ситуационной модели:

- проведение паспортизации атмосферных процессов, приводящих к возникновению опасных явлений;
- проведение районирования территорий по опасным явлениям;
- применение ГИС-технологий для создания и развития информационно-справочных систем (паспортов безопасности территорий);
- развитие систем сбора и обработки данных;
- определение мониторинговых систем;
- создание информационно-расчетных комплексов прогноза чрезвычайных ситуаций;
- привлечение аналитических и экспертных систем.

На первом этапе создания ситуационной модели проведена паспортизация атмосферных процессов, приводящих к возникновению опасных явлений. Также проведено районирование

территорий региона по местам и частотам зарождения мощных конвективных облаков. Проведенные исследования позволяют на основании знаний основных областей зарождения мощных конвективных облаков и их преимущественных направлений перемещения разработать комплекс сценариев развития ситуации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Филиппович А.Ю.* Ситуационная система – что это такое? PC Week. 2003. № 26(393),
2. *Филиппович А.Ю.* Интеграция систем ситуационного, имитационного и экспертного моделирования. М.: Изд-во «ООО Эликс», 2003. 300 с.
3. *Филиппович А.Ю.* Интеграция систем моделирования ситуационных центров // Информационные и телекоммуникационные технологии. 2011. № 13. С. 74–79.
4. *Тереженко И.С.* Региональный ситуационный центр // Информационные процессы и системы. 2000. № 10. С. 59–65.
5. *Инюхин В.С., Капитанников А.В., Лиев К.Б., Суслов В.В.* Технология функционирования локальной платформы сбора метеоданных, объединяющей несколько аппаратно-программных комплексов (АПК). Инновационные методы и средства исследований в области физики атмосферы, гидрометеорологии, экологии и изменения климата, Ставрополь, 23–26 сентября 2013. Ставрополь: ФГАОУ ВПО «СКФУ», 2013. С. 328–332.
6. *Аксенов С.А., Инюхин В.С.* Применение таксономического подхода для сопоставления радиолокационной и другой информации // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Естественные науки. Спецвыпуск «Науки о Земле». 2007. С. 53–55.

УДК 551.50

МЕТОДИКА ОЦЕНКИ БЛАГОПРИЯТНЫХ ВЕТРОВОЛНОВЫХ УСЛОВИЙ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ МОРСКИХ НЕФТЕГАЗОВЫХ КОМПЛЕКСОВ НА ЭТАПЕ ИХ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

О. А. Гасников

*ОАО «Государственный научно-исследовательский навигационно-
гидрографический институт, mail@gningi.ru*

Бурное развитие мореплавания и морского строительства в последнее столетие предоставило многочисленные свидетельства аварийных ситуаций, вызванных разрушительным ветроволновым воздействием на суда и объекты нефтегазовой инфраструктуры. Только за 25 лет (1969–1994 гг.) в Тихом и Атлантическом океанах 22 супертанкера были потеряны или серьезно повреждены, при этом погибли 525 человек. В Индийском океане было зафиксировано 12 аналогичных случаев. По данным агентства Ллойда, с 1973 по 1989 г. потерпели крушение 495 танкеров, из которых 86 – водоизмещением более 100 тыс. т, при этом в 25,6 % случаев причиной аварий была штормовая погода. Морские нефтяные платформы также подвержены рискам воздействий значительных волн. Разработка проектной документации, осуществляемая в рамках реализации планов освоения морских месторождений нефти и газа, предполагает включение в нее совокупности мероприятий, целью которых является снижение интенсивности или полное исключение рисков воздействия любого рода на те или иные объекты морского обустройства месторождения.

Каждому морскому сооружению или его отдельному конструктивному элементу присваивается класс безопасности (S), отражающий ранжирование морских сооружений с точки зрения безопасности персонала платформы и возможности своевременной эвакуации с платформы в случае наступления расчетного события и класс ответственности (C), ранжирующий морские сооружения с точки зрения потенциальной опасности для персонала в случае возникновения инцидентов произвольной природы, а также степени серьезности возможных экологических и экономических последствий.

Категория сложности (обобщенно характеризующая уровень сложности условий эксплуатации) для проектируемого сооружения принимается в зависимости от его класса безопасности и класса ответственности (табл.).

Т а б л и ц а

Определение категории сложности

Класс безопасности	Класс ответственности		
	C1 (тяжелые последствия)	C2 (умеренные последствия)	C3 (незначительные последствия)
S1 (с постоянным присутствием персонала, без эвакуации)	L1	L1	L1
S2 (с постоянным присутствием персонала, с эвакуацией)	L1	L2	L2
S3 (без постоянного персонала)	L1	L2	L3

Указанные классы назначаются – в зависимости от типа сооружения – одним из стандартов ИСО 19902, ИСО 19903 и ИСО 19904-1.

Так как класс безопасности сооружения может меняться в течение срока его эксплуатации, проектируемое сооружение либо должно соответствовать классам безопасности, назначаемым для отдельных фаз в пределах расчетного срока эксплуатации, либо быть классифицированным по наиболее жесткому классу безопасности с учетом всего периода эксплуатации. В нормативных документах (ИСО 19900) выделяются постоянные нагрузки (G), переменные нагрузки (Q), природные нагрузки (E), повторяющиеся нагрузки (F) – вызывающие явление усталости – и особые (аномальные) нагрузки (A).

В части климатических нагрузок при проектировании сооружений учитываются расчетные ситуации как экстремального уровня, так и аномального. Нормативные значения климатических нагрузок должны определяться исходя из обеспеченности (вероятности превышения) с годовой вероятностью превышения не более 10^{-2} на экстремальном уровне, а на аномальном – с годовой вероятностью превышения не более 10^{-4} для сооружений категории L1 и 10^{-3} для сооружений категории L2. При проектировании сооружений категории L3 нагрузки аномального уровня не рассматриваются [1].

В океане диапазон частот нагрузки волн на объекты устройства нефтегазовой сферы достаточно большой начиная от капиллярных волн с частотой 100 Гц до приливных волн с частотами порядка от 10^{-5} до 10^{-6} Гц (рис. 1) [2].

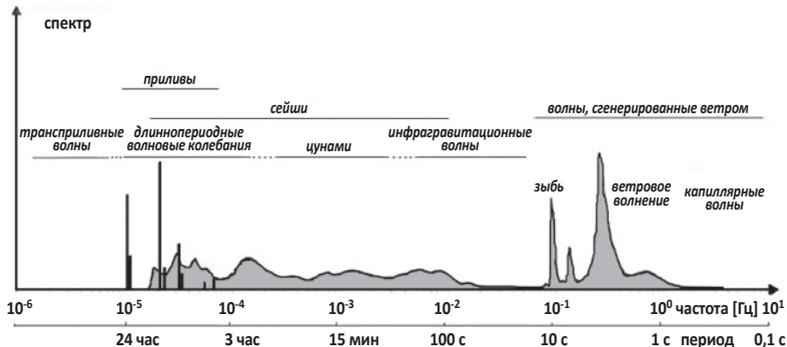


Рис. 1. Частота и период волновых колебаний в Мировом океане

Влияние волнения и ветра зависит от многих факторов и дифференцировано от вида объекта и этапов реализации проекта (разведка, бурение, установка, эксплуатация, вывод из эксплуатации).

На первых этапах риски связаны в значительной степени с организацией морских операций, безопасность которых в значительной степени определяется выполнением процедур конвекции СОЛАС-74[3]. В дальнейшем увеличивается влияние особенностей эксплуатации морских добывающих комплексов в зависимости от их типов, которые варьируются от стационарных платформ до буровых судов (рис. 2).

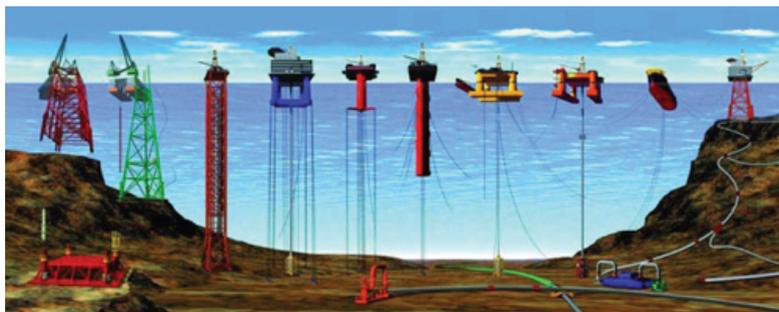
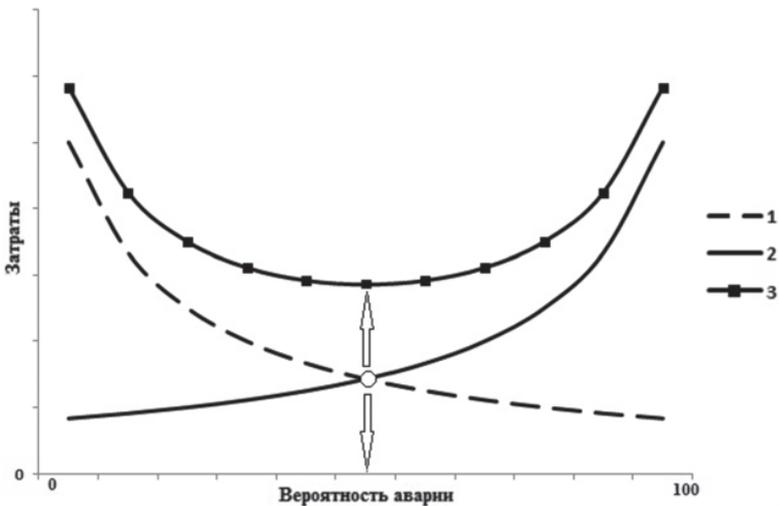


Рис. 2. Типы морских добывающих платформ

Кроме того, следует обратить внимание на привязку объектов обустройства к определенному географическому району или месту, что в значительной степени исключает, в отличие от судов морского флота, выбор благоприятных погодных условий для работы. Это определяет необходимость учета всех возможных рисков на этапе проектирования, что ведет к удорожанию проекта.

Если структурное повреждение не приводит к гибели людей или экологической катастрофе, то технические и экономические факторы определяют уровень допустимого риска. С этой целью функция стоимости, включающая различные затраты, должна быть минимизирована.

Эта функция включает начальную структурную стоимость и ожидаемую стоимость возможных потерь в случае структурного повреждения (рис. 3). Последнее включает стоимость ремонта, денежные затраты вследствие простоя и возможные репутационные потери.



1 – стоимость комплекса, 2 – затраты в случае аварии, 3 – результирующая функция

Рис. 3. Оценка оптимального уровня риска

В арктических регионах при проектировании плавучих сооружений должны быть учтены комбинированные воздействия ледовых, волновых и ветровых нагрузок, эффекты от прилагаемых нагрузок в зависимости от соответствующей ориентации

платформ, усложняющее влияние волнения на операции при различных стадиях управления ледовой обстановкой.

Следует иметь в виду, что, с одной стороны, превышение допустимых нагрузок может быть вызвано длительным воздействием определенных факторов, с другой стороны, обеспечение функционирования морских добывающих комплексов зависит от успешности определенных морских операций, имеющих определенную длительность. В связи с этим особую актуальность представляют оценки длительности тех или иных режимов морского волнения. Основой для таких оценок являются результаты мониторинга и прогноза погоды на различные сроки, материалы архивных наблюдений.

Регистр судоходства, Управление навигации и океанографии, организации Росгидромета регулярно выполняют работы по сбору статистических данных и выпуску справочных материалов, характеризующих параметры волнения в различных районах Мирового океана. К сожалению, эти материалы, представленные в традиционном виде, не всегда отвечают требованиям потребителей. Долгое время оценки статистических характеристик базировались на данных нерегулярных наблюдений в океанах и морях.

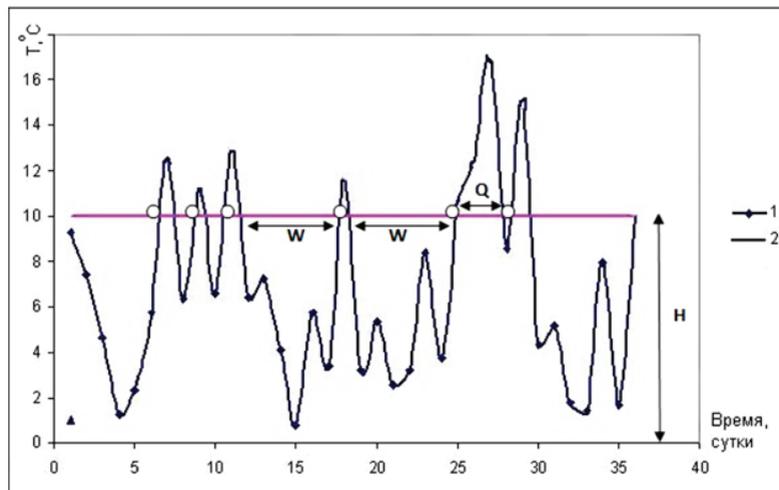
Современные гидродинамические модели расчета ветрового волнения позволяют получать непрерывные ряды наблюдений над высотами волн практически для любой акватории. Наиболее развитыми считаются волновая модель WAM (Wavemodel), созданная в Европейском центре среднесрочного прогноза погоды (Великобритания), и волновая модель WAVEWATCH Национального центра прогноза окружающей среды Национального агентства по океану и атмосфере (NOAA) [4].

Несколько более простая спектрально-параметрическая модель ААНИИ (PD2) функционирует в Гидрометцентре России. Основным преимуществом спектрально-параметрической модели является ее быстрое действие. Она более чем на порядок быстрее известных западных аналогов.

Эти модели по заданному полю атмосферного давления (скорости ветра) дают возможность получения непрерывных рядов высот и периодов волн в узлах сеточной области практически для любой акватории, что разрешает привлекать для исследования волнения новые или ранее используемые в других областях методы анализа. К таким методам можно отнести теорию случайных выбросов,

позволяющую оценить характеристики так называемых «окон погоды» для безопасности морской добычи и транспортировки углеводородов [5]. Следует иметь в виду, и это особенно ценно, что теория случайных выбросов рассматривает не отдельные события последовательности, а определенную совокупность событий и позволяет анализировать внутреннюю структуру явления.

Под выбросом понимается выход последовательности значений за некоторый заданный уровень (рис. 4).



1 – выброс «вниз» (<10), 2 – выброс «вверх» (>10),
 W – длительность выброса «вниз», Q – длительность выброса «вверх»

Рис. 4. Изменение значения температуры воздуха во времени

Теория случайных выбросов позволяет наряду с вероятностью превышения данного уровня получить более подробные характеристики исследуемого процесса, такие как:

- 1) длительность выбросов (Q) и их распределение,
- 2) среднее число выбросов (n) за некоторый промежуток времени,
- 3) интервалы времени между последовательными выбросами (W) и их распределение.

Для того чтобы произошел выброс случайной величины $X(t)$ за некоторый уровень H необходимо, чтобы в некоторый момент

времени t случайная величина находилась в непосредственной близости от него и имела положительную первую производную.

Вероятность выполнения этого условия можно выразить следующим образом:

$$P\left[x_1 - \Delta x \leq X(t) < H, \dot{X}(t) > 0\right] = \int_0^{\infty} \int_{H-\Delta x}^H P_2(x, V_x) dx dV_x, \quad (1)$$

где P_2 – двухмерный закон распределения ординат процесса x и скорости ее изменения $V_x = \dot{X}(t)$.

В случае дискретных значений по времени, а именно такие значения мы имеем при использовании результатов реанализа, условие выброса можно записать:

$$\begin{cases} X_i \leq H \\ X_{i+1} > H \end{cases}. \quad (2)$$

Тогда вероятность выброса можно определить следующим образом:

$$P[X_i \leq H; X_{i+1} > H] = \int_{-\infty}^H \int_0^{\infty} P_2(X_i, X_{i+1}) dX_i dX_{i+1} = v_H \quad (3)$$

или

$$\begin{aligned} P[X_i \leq H; X_{i+1} > H] &= P[X_i > -\infty, X_{i+1} > H] - \\ - P[X_i > H, X_{i+1} > H] &= P[X_{i+1} > H] - P[X_i > H, X_{i+1} > H] = v_H. \end{aligned} \quad (4)$$

Среднее число выбросов на отрезке времени T можно определить как

$$n_H = T \cdot [P\{X_i > H\} - P\{X_i > H, X_{i+1} > H\}]. \quad (5)$$

Средняя продолжительность отдельного выброса может быть выражена через отношение

$$Q_H = \frac{P\{X_i > X_1\}}{P\{X_i > X_1\} - P\{X_i > X_1; X_{i+1} > X_1\}}. \quad (6)$$

Средняя продолжительность одного интервала между выбросами находится по формуле

$$W_H = \frac{1 - P\{X_i > X_1\}}{P\{X_i > X_1\} - P\{X_i > X_1; X_{i+1} > X_1\}}. \quad (7)$$

Эмпирический путь расчета может быть применим для уровней, лежащих в пределах наблюдаемых значений. Вычисление интеграла двумерная плотность распределения исследуемого процесса требует значительного объема исходной информации. Кроме того, по результатам реанализа достаточно сложно оценить экстремальные/аномальные значения гидрометеопараметров. В отличие от эмпирического подхода, использование аппарата теории случайных выбросов дает возможность получить расчетным путем характеристики выбросов для любых интересующих нас уровней. При этом надежность расчетных характеристик значительно выше, чем эмпирических, так как при их определении более полно учитывается весь объем имеющейся информации. В общем случае для проведения расчетов необходимо иметь функцию распределения исходного процесса и двумерную плотность распределения ординат. В случае нормального закона распределения задача решается довольно просто, в иных случаях чаще всего приходится применять те или иные способы нормализации. Такая нормализация не изменяет характеристик выбросов исходного процесса, но делает его распределение близким к нормальному [6].

Многолетние (режимные) свойства волнения обычно описывают через функцию распределения моментных или порядковых статистик, каждая из которых характеризует волнение на промежутке квазистационарности волнового процесса.

Анализ многолетних эмпирических распределений элементов волн на морях и океанах позволил заключить, что высота волнения в значительном диапазоне ее изменения распределена по логарифмическому нормальному закону (рис. 5).

Параметрами этого распределения применительно к высоте волнения являются нормализованная на значение медианы высота волнения и параметр формы, равный обратной величине дисперсии логарифмов высот волн [7, 8].

Для проведения тестовых расчетов была использована математическая модель ветрового волнения в пространственно-неоднородном океане, разработанная в Арктическом и антарктическом научно-исследовательском институте и адаптированная авторами модели для данного региона [9]. Вычисления проводились для четырех сезонов Норвежского и Баренцева морей.

По исходному ряду с использованием формул (5) – (7) были рассчитаны обобщенные характеристики выбросов для различных

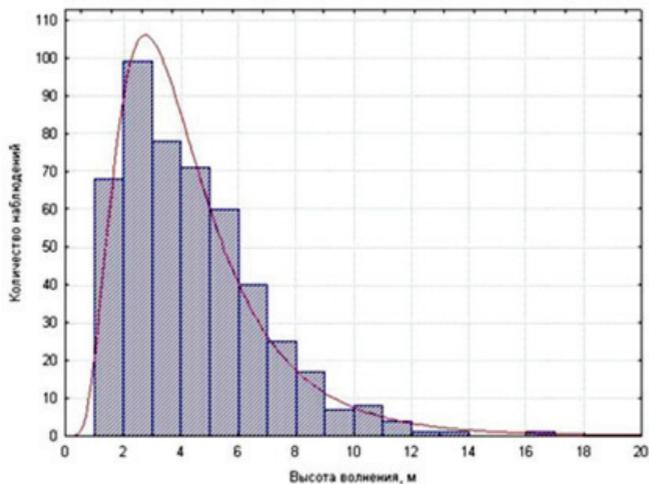


Рис. 5. Пример функции распределения высот волн (Норвежское море, зима)

высот волн. Затем была произведена аппроксимация эмпирических распределений логнормальной функцией и рассчитана двумерная плотность распределения высот волн.

На рис. 6 представлены результаты вычисления вероятности выбросов двумя способами (эмпирическим и теоретическим) и графики сравнения средней продолжительности выбросов и средней длительности между ними на примере одного из районов

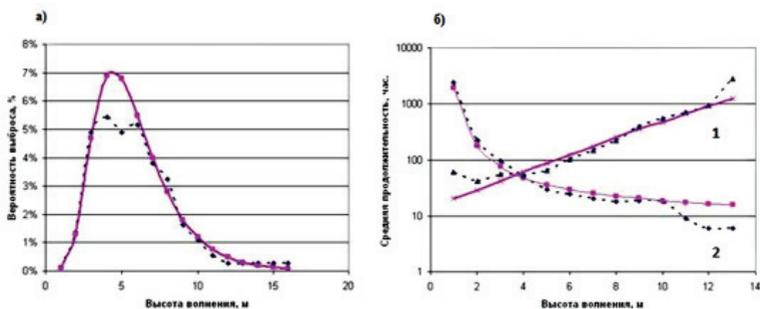


Рис. 6. Зависимость вероятности выбросов (а) и средних характеристик выбросов (б) от высоты волнения. (Норвежское море, зима)

Норвежского моря. Как мы видим, использование аппроксимации эмпирических функций распределения дает более устойчивые результаты.

Таким образом, современные гидродинамические модели расчета ветрового волнения позволяют получать непрерывные ряды наблюдений над высотами волн практически для любой акватории. Это дает возможность привлекать для анализа волнового процесса новые методы, и в частности теорию случайных выбросов. Полученные результаты могут быть использованы при оценке рисков на этапе проектирования объектов обустройства морских нефтегазовых комплексов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *ГОСТ Р ИСО 19906*. Нефтяная и газовая промышленность. Сооружения арктического шельфа. М.: Стандартиформ, 2011. 234 с.
2. *Gönnert, G., Dube S.K., Murty T., Siefert W.* Global storm surges: theory, observations and applications. Die Kueste. 2001. pp. 623.
3. *Конвенция СОЛАС-74*. Консолидированный текст. СПб: ЦНИИМФ, 1992. 309 с.
4. *Чаликов Д.В.* Современное состояние проблемы прогноза ветрового волнения // Труды 10-й Всероссийской конференции «Прикладные технологии гидроакустики и гидрофизики», Санкт-Петербург, 25–27 мая. СПб: Наука, 2010. С. 13–17.
5. *Тихонов В.И., Хименко В.И.* Выбросы траекторий случайных процессов. М.: Наука, 1987. 304 с.
6. *Алексеев Г.А.* Объективные методы выравнивания и нормализации корреляционных связей. Л.: Гидрометеиздат, 1971. 363 с.
7. *Давидан И.Н., Лопатухин Л.И.* Закономерности распределения ветра и волн в океанах и морях // Тр. ГОИН. 1974. Вып. 122. С. 108–123.
8. *Давидан И.Н., Лопатухин Л.И., Рожков В.А.* Ветровые волны как вероятностный гидродинамический процесс. Л.: Гидрометеиздат, 1978. 297 с.
9. *Лавренов И.В.* Математическое моделирование ветрового волнения в пространственно-неоднородном океане. Санкт-Петербург. 1998. 500 с.

УДК 551.576.1: 551.58

Многолетние характеристики параметров температурно-влажностного расслоения атмосферы, определенные по данным радиозондирования. Черных И. В., Алдухов О. А. Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2015. Вып. 180. С. 5–23.

Приведены оценки для повторяемости и суммарной толщины облачных слоев (ОС) в атмосферном слое от поверхности земли до 10 км. Расчеты выполнены для земного шара по данным глобального аэрологического массива за период 1964–1998 гг. с использованием СЕ-метода определения границ и количества облачности по профилям температуры и влажности, полученным при радиозондировании атмосферы. Были построены географические распределения для многолетних средних значений и среднеквадратических отклонений для перечисленных параметров ОС с учетом количества облачности за январь и июль, определены интервалы их изменений. Полученные результаты уточняют особенности вертикальной структуры ОС с различным количеством облачности в пространстве и времени.

Ключевые слова: атмосфера, вертикальная структура, радиозондовые наблюдения, облачные слои.

Ил. 4. Табл. 2. Библиогр. 38.

УДК 531.578.46

Примеры использования гидрометеорологической информации в исследованиях изменчивости снегозапасов. Китаев Л. М., Фролова Н. Л., Аблеева В. А., Асаинова Ж. А. Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2015. Вып. 180. С. 24–34.

В статье приведены примеры использования гидрометеорологической информации в исследованиях изменчивости снежного покрова и определяющих его состояние метеорологических процессов в условиях современного климата. Путем сравнения с данными наземных наблюдений выявлены погрешности данных о запасах воды в снежном покрове восстановленных по информации спутниковых наблюдений (SSM/I). Характер влияния многолетних изменений снегозапасов на изменчивость речного стока оценен для бассейна Волги. Для условий центра европейской части России типизирована зависимость локальной изменчивости снегозапасов в связи с неоднородностью растительности на фоне сезонной изменчивости приземной температуры воздуха и осадков холодного периода.

Ключевые слова: снегозапасы, температура воздуха, осадки, речной сток, наземные и спутниковые наблюдения, локальная и региональная пространственно-временная изменчивость.

Ил. 4. Библиогр. 11.

УДК [551.465.62+551.465.43](261.1)

Влияние Арктики на формирование термохалинных аномалий в Северной Атлантике. Вязилова А.Е., Балакин А.А., Смирнов А.В. Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2015. Вып. 180. С. 35–46.

Арктика оказывает влияние на глобальный климат выносом морских льдов и пресной воды. Притоки пресных вод из Арктического бассейна через пролив Фрама с Западно-Гренландским и Восточно-Гренландским течениями и через проливы Канадского Арктического архипелага влияют на формирование термохалинных аномалий и конвективные процессы в прилегающих районах Северной Атлантики. Пространственно-временной анализ, основанный на информации из базы океанографических данных отдела взаимодействия океана и атмосферы ФГБУ «АНИИ» [1] и Климатологического атласа Северо-Европейского бассейна и северной части Северной Атлантики [2], позволил: проследить эволюцию аномалий солёности и температуры в верхнем и глубинном слоях; выделить периоды распреснения верхнего слоя, связанные с летними потеплениями в Арктике в 1960-е, 2000-е гг.; рассмотреть влияние выноса пресных вод и морских льдов на конвективные процессы в Гренландском и Лабрадорском морях.

Ключевые слова: Арктика, субарктическая Атлантика, приток пресной воды, термохалинные аномалии.

Ил. 4. Библиогр. 25.

УДК 551.557(470+571)

Особенности режима ветра в свободной атмосфере над территорией Российской Федерации в 2015 году. Лавров А.С., Хохлова А.В., Стерин А.М. Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2015. Вып. 180. С. 47–58.

По данным радиоветрового зондирования на 100 российских аэрологических станциях рассмотрен ветровой режим свободной атмосферы над территорией РФ за 2015 г. относительно средних значений за период 1985–2014 гг. Проведен анализ аномалий скорости ветра на стандартных изобарических поверхностях от поверхности земли до 10 гПа, в слоях 850–300 гПа (тропосфера) и 100–50 гПа (нижняя стратосфера) для отдельных месяцев, сезонов и года в целом. 2015 год характеризуется большей скоростью ветра по сравнению с 30-летними средними скоростями. Отрицательные аномалии скорости ветра над значительной частью территории РФ наблюдаются только весной и осенью в тропосфере и осенью в нижней стратосфере. Очень большими положительными аномалиями характеризуются зима и весна в нижней стратосфере (до 6 м/с) и лето в тропосфере, особенно на европейской части России (до 4 м/с).

Ключевые слова: скорость ветра, тропосфера, нижняя стратосфера, радиозондовые измерения.

Ил. 7. Библиогр. 10.

УДК 551.509.9: 338.462

О некоторых аспектах оценки экономической полезности гидрометеорологической информации. Фокичева А.А., Тимофеева А.Г., Истомин Е.П. Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2015. Вып. 180. С. 59–66.

Рассмотрены особенности определения показателей экономической полезности гидрометеорологической информации в условиях частичной неопределенности, и показаны перспективы использования баз данных метеорологической информации.

Ключевые слова: информационный гидрометеорологический ресурс, погодозависимость хозяйственной деятельности, принятие решений в условиях частичной неопределенности, базы данных метеорологической информации.

Библиогр. 8.

УДК 551.553: 551.510

О режиме планетарной высотной фронтальной зоны на фоне настоящих климатических изменений. Морозова С.В. Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2015. Вып. 180. С. 67–75.

В настоящей статье рассматривается динамика планетарной высотной фронтальной зоны (ПВФЗ) на фоне естественных климатических периодов состояния земной климатической системы (ЗКС). Показано, что при переходе от более холодного климатического периода (стабилизация) к более теплomu (вторая волна глобального потепления) площадь ПВФЗ увеличивается, что противоположно ее сезонным изменениям. Высказывается предположение, что выявленная динамика площади ПВФЗ препятствует необратимости процессов в земной климатической системе.

Ключевые слова: атмосферная циркуляция, глобальный климат, земная климатическая система.

Ил. 1. Табл. 5. Библиогр. 12.

УДК 551.501.7:551.587

Статистические характеристики тропосферных струйных течений над территорией Российской Федерации по радиозондовым наблюдениям. Никишин А. В., Хохлова А. В. Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2015. Вып. 180. С. 76–85.

Приведено краткое описание базы данных по характеристикам тропосферных струйных течений, созданной на основе аэрологического массива «АЭРОСТАС». В базу включены среднемесячные значения высоты, толщины, средней по слою и максимальной скорости ветра, повторяемости и других параметров по данным 102 аэрологических станций Российской Федерации за период 1985–2014 гг. Рассмотрены особенности географического распределения многолетних среднемесячных значений повторяемости и скорости ветра.

Ключевые слова: струйное течение, статистические характеристики, радиозондовые наблюдения.

Ил. 4. Табл. 1. Библиогр. 10.

УДК 551.510.4

Основные тенденции изменчивости парниковых газов по измерениям на станциях Обнинск и Иссык-Куль. Акименко Р. М., Арефьев В. Н., Вишератин К. Н., Упэнек Л. Б., Орозалиев М. Д., Синяков В. П., Сорокина Л. И. Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2015. Вып. 180. С. 86–92.

Данные измерений концентраций метана, углекислого газа и водяного пара на станциях Обнинск за 1998–2015 гг. и Иссык-Куль за 1980–2015 гг. использованы для сопоставления основных тенденций изменчивости парниковых газов в условиях города, влияющего на тепловую, влажностный и радиационный режимы и имеющего собственные источники загрязнения атмосферного воздуха и фоновых измерений в местности, удаленной от источников антропогенных загрязнений.

Ключевые слова: парниковые газы, метан, водяной пар, углекислый газ, вейвлетный и Фурье-анализ.

Ил. 4. Библиогр. 6.

УДК 634.67

Автоматическое выявление опасных метеорологических явлений в данных ЕСИМО и оперативное оповещение об опасных явлениях (ОЯ) лиц, принимающих решения. Ч у н я е в Н . В . Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2015. Вып. 180. С. 93–102.

Статья описывает методы автоматического выявления опасных природных явлений в информационных ресурсах Единой государственной системы информации об обстановке в Мировом океане и оперативном оповещении лиц, принимающих решения посредством смартфонов.

Ключевые слова: ЕСИМО, опасные явления, гидрометеорологические данные, пороговые значения, система поддержки принятия решений.

Ил. 1. Табл. 1. Библиогр. 3.

УДК 004.422.8

Геоинформационные технологии для анализа ледовой обстановки. Т р е т ь я к о в В . Ю . Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2015. Вып. 180. С. 103–109.

Как при стратегическом планировании морских транспортных операций в условиях существования ледяного покрова, так и при их оперативной поддержке существует необходимость анализа ледовой обстановки, выбора оптимальных маршрутов плаваний, а также автоматизированной локализации на электронных картах результатов наблюдений за характеристиками ледяного покрова. Для решения этих задач разработан ряд компьютерных программ на языке Python, реализуемых в среде ArcGIS.

Ключевые слова: разработка компьютерных приложений, морские транспортные операции, автоматизация выбора оптимальных маршрутов плаваний.

Библиогр. 6.

УДК 551.501:681.3

Адаптация системы обработки и передачи данных гидрометеорологических наблюдений в Крымской республике в структуру Росгидромета. Евстигнеев В. П., Наумова В. А., Евстигнеев М. П. Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2015. Вып. 180. С. 110–120.

В работе рассмотрен принцип построения и функциональные особенности автоматизированной системы сбора, обработки, контроля качества и хранения режимных данных гидрометеорологических наблюдений, реализованные в комплексе АССОКА. Представлены результаты разработки комплекса систем: АССОКА (Морская гидрология), АССОКА (Гидрология), АССОКА (Метеорология), АССОКА (Морская гидрохимия), решающих производственную задачу по автоматизированной обработке данных основных видов наблюдений для гидрометеорологических подразделений Крымской республики.

Ключевые слова: гидрометеорологические данные, комплекс программ обработки данных, АССОКА, Крымская республика.

Ил. 3. Библиогр. 8.

УДК 551.501.8+ 551.509.58

Разработка Регионального ситуационного центра по мониторингу и прогнозу опасных гидрометеорологических процессов. Инюхин В.С., Куцев С.А., Лиев К.Б., Суслов В.В. Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2015. Вып. 180. С. 121–133.

С развитием информационных технологий и цифровых методов сбора, передачи и обработки данных появилась возможность создания территориально-распределенных систем, усвоения метеорологической информации и передачи ее в Центр анализа и прогноза опасного развития ситуации, который может рассматриваться как ситуационный центр по мониторингу и прогнозу опасных гидрометеорологических процессов.

Для создания Центра была разработана архитектура функционирования локальных платформ сбора метеоданных (ПСД), объединяющих несколько аппаратно-программных комплексов (АПК). Такая архитектура используется на научно-исследовательском полигоне Высокогорного геофизического института (ВГИ), расположенного в Баксанском районе КБР.

Самой главной задачей Центра является обобщенное описание комплекса событий – создание ситуационной системы. Под термином «ситуационная система» понимается комплекс программных и аппаратных средств, которые позволяют хранить, отображать и анализировать информацию на основе ситуационной модели.

Целью создания «ситуационной системы» является: обеспечение принятия решения на основе современных информационных технологий, позволяющих собрать необходимые фактические данные в реальном масштабе времени и представить в удобном для восприятия виде. При этом на программно-аппаратном уровне должно поддерживаться как минимум пять основных функций:

- получение, совмещение и интеграция информации, поступающей из различных источников;
- моделирование текущей ситуации и прогноз ее развития в различных сценариях;
- визуализация и мониторинг потоков информации;
- анализ ситуации и принятие решения;
- формирование, документирование и передача управляющего воздействия (распоряжения).

Ключевые слова: опасные природные явления, региональный центр, ситуационная модель, ливни, грозы, град.

Ил. 6. Табл. 1. Библиогр. 6.

УДК 551.50

Методика оценки благоприятных ветроволновых условий функционирования морских нефтегазовых комплексов на этапе их проектирования.
Г а с н и к о в О . А . Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2015. Вып. 180. С. 134–143.

Показана возможность применения аппарата теории случайных выбросов к исследованию волнового режима в океанах и морях. Изложена методика расчета характеристик волнового процесса. Приведены результаты расчетов для морей Арктического региона. Сделан вывод о возможности использования ее при оценке рисков на этапе проектирования обустройства морских нефтегазовых комплексов.

Ключевые слова: ветер, волнение, морские сооружения, управление рисками, теория выбросов случайных процессов.

Ил. 6. Табл. 1. Библиогр. 9.

UDC 551.576.1: 551.58

The Long-term Estimations for Parameters of Atmospheric Temperature-Humidity Layering from Radiosounding Data. Chernykh I. V., Aldukhov O. A. Proceedings of the RIHMI-WDC. 2015. N 180. P. 5–23.

The estimations for frequency and total thickness of cloud layers (CL) are presented for atmospheric layer from the surface to 10 km. The data of global aerological dataset for period of 1964–1998 years and the CE method for determining the cloud layer boundaries and amount from temperature and humidity radiosonde observations profiles were used for calculations. The geographical distributions for long-term means values and standard deviations of the frequency and the total thickness were constructed for CL with different cloud amount and analyzed for January and July. The parameters ranges were determined. The results show the features of cloud layers with different cloud amount in space and time

Keywords: atmosphere, vertical structure, radiosonde observations, cloud layers.

Fig. 4. Tab. 2. Ref. 38.

UDC 531.578.46

Events of use the hydrometeorological information in studies of snow cover variability. Kitaev L.M., Frolova N.L., Ableeva V.A., Asainova J.A. Proceedings of the RIHMI-WDC. 2015. N 180. P. 24–34.

This article contains the examples of using the hydro-meteorological information in the research of snow cover variability in connection with meteorological inhomogeneity – in modern climate condition. By comparison with ground-based observations the accuracy of snow storage data, restored according to satellite observations (SSM / I) was evaluated. Influence of snow cover variability on the variability of river flow was estimated for the Volga basin. Features of local snow storage variability was typified in connection with the heterogeneity of vegetation on the background of the seasonal variability of air temperature and precipitation for the center of the European part of Russia.

Keywords: snow storage, air temperature, precipitation, river flow, ground and satellite observations, local and regional spatial and temporal variabilities.

Fig. 4. Ref. 11.

UDC [551.465.62+551.465.43](261.1)

Influence of the Arctic on thermohaline anomalies in North Atlantic. Vyazilova A.E., Balakin A.A., Smirnov A.V. Proceedings of the RIHMI-WDC. 2015. N 180. P. 35–46.

The Arctic impacts on global climate through fresh water and sea ice export. The freshwater inflows, entering from Arctic through the Fram Strait with the West-Greenland and East-Greenland currents and through Canadian Arctic Archipelago, influence the thermohaline anomalies formation and convective processes in the neighboring areas of North Atlantic. Spatial-temporal analysis based on information from oceanographic database of Ocean-Air Interaction department FSBI «AARI» [1] and «Climatological Atlas of Nordic Seas and Northern North Atlantic» [2] allowed to observe temperature and salinity evolution in upper and deep layers; highlight periods of upper layer freshening, connected with summer warming in Arctic in 1960s, 2000s; review the influence of fresh water and sea ice inflows on convective processes in Greenland and Labrador seas.

Keywords: Arctic, subarctic Atlantic, fresh water export, thermohaline anomalies.

Fig. 4. Ref. 25.

UDC 551.557(470+571)

Specific features of wind patterns in the free atmosphere over the territory of the Russian Federation in 2015. Lavrov A.S., Khokhlova A.V., Sterin A.M. Proceedings of the RIHMI-WDC. 2015. N 180. P. 47–58.

Wind patterns in the free atmosphere over the Russian territory in 2015 are examined using rawinsounding data from 100 Russian upper-air stations with respect to mean values for the period 1985–2014. Wind speed anomalies at standard pressure surfaces from ground surface to 10 hPa are analyzed in the layers 850–300 hPa (troposphere) and 100–50 hPa (lower stratosphere) for individual months, individual seasons and the year as a whole. The year 2015 is characterized by a higher wind speed as compared with the thirty-year mean values. Negative wind speed anomalies over a significant part of the Russian territory are only observed in spring and autumn in the troposphere and in autumn in the lower stratosphere. Very large positive anomalies are observed in winter and spring in the lower stratosphere (to 6 m/s) and in summer in the stratosphere, particularly in European Russia (to 4 m/s).

Keywords: wind speed, troposphere, lower stratosphere, rawinsounding measurements.

Fig. 7. Ref. 10.

UDC 551.509.9: 338.462

On Some Issues the Economic Usefulness Assess of Hydrometeorological Information. Fokicheva A.A., Timofeeva A.G., Istomin E.P. Proceedings of the RIHMI-WDC. 2015. N 180. P. 59–66.

The article considers the specificities of definition economic usefulness indicators of hydrometeorological information in partial uncertainty conditions. It is described the prospects of using databases of meteorological information.

Keywords: hydrometeorological information resource, weather dependence of economic activity, decision-making under partially uncertain conditions, databases of meteorological information.

Ref. 8.

UDC 551.553: 551.510

About the mode planetary tall frontal zone on the background of these climatic changes. Morozova S.V. Proceedings of the RIHMI-WDC. 2015. N 180. P. 67–75.

This article examines the dynamics of planetary tall frontal zone on the background of natural climatic periods of the state of earth's climate system. It is shown that the transition from the colder climate of the period (stabilization) to warmer (the second wave of global warming) area PTFZ increases, which is opposite to its seasonal changes. It is suggested that the observed dynamics square PTFZ prevents irreversible processes in the earth's climate system.

Keywords: atmospheric circulation, global climate, the earth's climate system.

Fig. 1. Tab. 5. Ref. 12.

UDC 551.501.7:551.587

Some statistical characteristics of troposphere jets under Russian Federation territory on radiosonde data. Nikishin A. V., Khokhlova A. V. Proceedings of the RIHMI-WDC. 2015. N 180. P. 76–85.

The brief description of database of troposphere jet streams parameters is given. The jet streams parameters are determined on the base of radiosonde data archive «AEROSTAS». The database contains the monthly averaged values of height, thickness, layer mean and maximal wind speed, repeatability and other parameters of jet streams on 102 Russian stations for 1985–2014 years period. Some characteristics such as annual variations and seasonal geographical distributions of repeatability and mean and maximal wind speed are considered.

Keywords: jet stream, statistical characteristics, radiosonde data.

Fig. 4. Tab. 1. Ref. 10.

UDC 551.510.4

Basic tendencies of greenhouse gases variability at Obninsk and Issyk-Kul monitoring stations. Akimenko R. M., Aref'ev V. N., Visheratin K. N., Upenek L. B., Orozaliev** M. D., Sinyakov V. P., Sorokina L. I. Proceedings of the RIHMI-WDC. 2015. N 180. P. 86–92.

Results of measurements of methane, water vapor and carbon dioxide at stations «Obninsk» for 1998–2015 and «Issyk Kul» for 1980–2015 are used for comparison of the basic tendencies of variability of greenhouse gases in the conditions of a city influencing on thermal, humidity and radiating modes and having own polluting sources and background measurements in region, free from sources of anthropogenic contaminations.

Keywords: greenhouse gases, methane, water vapor, carbon dioxide, wavelet and Fourier analysis.

Fig. 4. Ref. 6.

UDC 634.67

Automatic detection of dangerous meteorological phenomena in data ESIMO and early warning about it decision-makers. Chunyaev N. V. Proceedings of the RIHMI-WDC. 2015. N 180. P. 93–102.

Paper presents methods for automatic detection of natural hazards in information resources of «The Unified system of the information about World ocean» (ESIMO) and early warning for decision-makers of the hazard detection, on their smartphones.

Keywords: ESIMO, natural hazards, hydrometeorological data, critical values, decision support system.

Fig. 1. Tab. 1. Ref. 3.

UDC 004.422.8

GIS technologies for ice situation analysis. Tretyakov V. Yu. Proceedings of the RIHMI-WDC. 2015. N 180. P. 103–109.

There is necessity of ice situation analysis, choosing of optimum routes and automatic spatial localization of ice observing results for strategic design of marine transport operations and operational support of them. A number of computer programs have been designed by Python. These programs work in the ArcGIS environment.

Keywords: design of computer applications, marine transport operations, automating of the optimum route choice.

Ref. 6.

UDC 551.501:681.3

Adaptation of hydrometeorological data processing and transfer systems of Crimean Republic into Roshydromet structure. Evstigneev V.P., Naumova V.A., Evstigneev M.P. Proceedings of the RIHMI-WDC. 2015. N 180. P. 110–120.

Paper concerns with design principle and functional features of automated systems of processing, quality control and storage of regime data of routine hydrometeorological observations implemented in ASSOKA software. Results of ASSOKA software development are presented including such components as ASSOKA (Marine hydrology), ASSOKA (Hydrology), ASSOKA (Meteorology), ASSOKA (Marine hydrochemistry). These components solve a task of automated observational data processing being produced by hydrometeorological stations in the Crimea.

Keywords: hydrometeorological data, data processing software, ASSOKA, Crimean Republic.

Fig. 3. Ref. 8.

UDC 551.501.8+ 551.509.58

Development of the regional situation-dependent center of monitoring and the forecast of dangerous hydrometeorological processes. Inuhin V.S., Kushhev S.A., Liev K.B., Suslov V.V. Proceedings of the RIHMI-WDC. 2015. N 180. P. 121–133.

A further development of information technologies and digital methods of collection, transmission and data handling leads to possibility of creation of geographically distributed systems for accumulation of meteorological information. Transmission and the archiving this information to the special center of analysis and forecasting of the dangerous weather phenomena can be considered as a creation of situation-dependent center of monitoring and the forecasting of the dangerous hydrometeorological processes.

The architecture of functioning of the local Platforms for the Collection of Meteorological Data (PCMD) which integrated several of Hardware-Software Complexes (HSC) was developed for creation of the mentioned above center. Such architecture is used on the scientific research proving ground of the High Mountain Geophysical Institute (HMGI) located in the Baksan region of the Republic of Kabardino-Balkaria.

The most important task of this center is the generic description of a complex of events – creation of the Situation-dependent System. The term «Situation-dependent System» is understood as a complex of the software and hardware which allow to store, display and analyze information on the basis of situation-dependent model.

The creation purpose of Situation-dependent System is support of decision-making on the basis of the modern information technologies allowing to collect the necessary actual data in real time and to present it in the form, convenient for perception. Thus at the hardware-software level it should be supported, at least five basic functions:

- receiving, combination and integration of the information arriving from different sources;
- simulation of the current situation and the forecast of its development in different scenarios;
- visualization and monitoring of information streams;
- analysis of a situation and decision-making;
- formation, documenting and transmission of the controlling commands.

Keywords: natural hazards, regional center, situation-dependent model, rain showers, thunderstorms, hailstorms.

Fig. 6. Tab. 1. Ref. 6.

UDC 551.50

Methodology to evaluate the assessment of favorable wind and wave conditions for the functioning of offshore oil and gas facilities at the design stage.
Gasnikov O. A. Proceedings of the RIHMI-WDC. 2015. N 180. P. 134–143.

The possibility of application of the theory of accidental releases to the study of the wave regime in the oceans and seas. The methods of calculating the characteristics of the wave process, the results of calculations for the seas of the Arctic region. It is concluded that the possibility of using it in the risk assessment during the design phase of offshore oil and gas complexes.

Keywords: wind, waves, offshore structures, risk management, random process excursions theory.

Fig. 6. Tab. 1. Ref. 9.

Сборник научных трудов

Труды ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД». Выпуск 180

Подписано к печати 30.12.2015 г. Формат 60×84/16.

Печать офсетная. Печ. л. 9,3. Тираж 300 экз. Заказ № 29.

Отпечатано в ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД», г. Обнинск, ул. Королёва, 6.