

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИИ И МОНИТОРИНГУ
ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

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



*Под редакцией
кандидата технических наук В. С. Косых,
доктора физико-математических наук А. М. Стерина*

ОБНИНСК
2018

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

Редакционная коллегия

Главный редактор к.т.н. В. С. Косых

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, д.т.н. Е. Д. Вязилов,

к.г.н. Е. Д. Гниломедов, к.г.н. Н. Н. Коршунова,

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

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

В сборнике представлены 14 статей, излагающих результаты выполненных в ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД» исследований в области гидрометеорологии, климатологии, соответствующих информационных технологий. Внимание уделено технологическим проблемам работы с гидрометданными, проблемам создания специализированных массивов информации и анализу процессов в окружающей природной среде.

Приведены результаты анализа приземного климата, климата свободной атмосферы на основе эмпирических данных, описаны методики оценки статистической однородности климатологических данных. Проанализированы и описаны основные тенденции изменения частоты появления опасных гидрометеорологических явлений на территории Российской Федерации, особенности опасных гидрологических явлений на территории Краснодарского края. Описана новая версия Системы управления гидрометеорологической информацией и получения климатической продукции CliWare 2.1.

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

Collected papers present 14 articles with the results of RIHMI-WDC research in hydrometeorology, climatology and related information technologies. Attention is given to technological problems of hydrometeorological data, problems of creating specialized data sets and analysis of environmental processes.

The results of surface climate and free-atmosphere climate analyses are given on the basis of empirical data. Procedures for evaluating statistical homogeneity of climatological data are described. Major trends for the change in the frequency of hydrometeorological hazards over the Russian Federation area and specific features of hydrological hazards in the Krasnodar Territory are described and analyzed. A new version of the System of Hydrometeorological Data Management and Climate Products Reception CliWare 2.1 is described.

The book will be helpful to Roshydromet personnel, to a wide range of specialists in the fields covered and to different groups of readers concerned.

СОДЕРЖАНИЕ

<i>Черных И. В., Алдухов О. А.</i> Оценки параметров вертикальной макроструктуры облачных слоёв по данным радиозондирования атмосферы на аэрологических станциях ГСНК территории Российской Федерации за 1964–2017 гг.	5
<i>Коришанова Н. Н., Булыгина О. Н., Разуваев В. Н., Давлетишин С. Г.</i> Оценки экстремальности температурного режима и режима осадков для территории РФ и её регионов.	20
<i>Вязилова Н. А.</i> О влиянии океана на циклоническую активность в Северной Атлантике	31
<i>Шамин С. И., Санина А. Т.</i> Основные тенденции изменения частоты появления опасных гидрометеорологических явлений на территории Российской Федерации	42
<i>Воронцов А. А.</i> Климатические изменения в термическом режиме прибрежных районов арктических морей в последние десятилетия.	51
<i>Козлова Л. Ф., Лавров А. С., Руденкова Т. В., Тимофеев А. А., Хохлова А. В.</i> Демонстрационный пакет справочных ароклиматических характеристик на сайте ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД»	59
<i>Воронцов А. А., Степаненко С. Р.</i> К вопросу оценки статистической однородности климатологических данных	74
<i>Швец Н. В., Разуваев В. Н., Трофименко Л. Т.</i> Специализированный массив данных среднемесячного давления воздуха на уровне моря для климатических исследований	81
<i>Алдухов О. А., Черных И. В.</i> Долгопериодные изменения температурно-влажностного режима в нижней тропосфере над прибрежной зоной Арктики РФ по данным радиозондирования	90
<i>Гниломедов Е. В.</i> Обзор опасных гидрологических явлений Краснодарского края	105
<i>Козлова Л. Ф., Хохлова А. В.</i> Климатические характеристики приподнятых температурных инверсий по данным аэрологических измерений на станциях Долгопрудная и Мурманск	135
<i>Алдухов О. А., Черных И. В.</i> Тренды скорости ветра и её составляющих в пограничном слое атмосферы над Арктическим регионом России по данным радиозондирования атмосферы	144
<i>Беспрозванных А. В., Сенова Л. Н., Ульянич Н. Л., Шерстюкова Р. А.</i> Система управления гидрометеорологической информацией и получения климатической продукции CliWare 2.1 – область применения ...	164
<i>Кракановская Е. М., Маринченко Е. Б., Шевченко А. И.</i> Первоначальный контроль и исправление данных судовых метеорологических наблюдений, поступающих с каналов связи, для формирования архивов долговременного хранения «МОРМЕТ» и «МОРМЕТ-2006» ...	182

CONTENTS

<i>Chernykh I. V., Aldukhov O. A.</i> Estimations for parameters of vertical macrostructure of clouds layers from atmospheric radiosounding data over aerological stations of the GOSC of the Russian Federation territory for 1964–2017	5
<i>Korshunova N. N., Bulygina O. N., Razuvaev V. N., Davletshin S. G.</i> Evaluating extremeness of temperature and precipitation regimes for the territory of the Russian Federation and its regions	20
<i>Iyazilova N. A.</i> On the influence of the ocean on the cyclonic activity in the North Atlantic	31
<i>Shamin S. I., Sanina A. T.</i> Major trends in frequency of hydrometeorological hazards	42
<i>Vorontsov A. A.</i> Climatic changes in the thermal regime of the coastal regions of the Arctic seas in recent decades	51
<i>Kozlova L. F., Lavrov A. S., Rudenkova T. V., Timofeev A. A., Khokhlova A. V.</i> The demo package of reference aeroclimatic characteristics on the RIHMI-WDC website	59
<i>Vorontsov A. A., Stepanenko S. R.</i> To the question of assessing the statistical homogeneity of climatological data	74
<i>Shvets N. V., Razuvaev V. N., Trofimenko L. T.</i> Specialized data set of mean monthly air pressure at sea level for climate research	81
<i>Aldukhov O. A., Chernykh I. V.</i> Longtime changes of temperature-humidity regime in the low troposphere over the coast region of the Russian Federation Arctic from the upper air data	90
<i>Gnilomedov E. V.</i> Review of hydrological hazards in the Krasnodar Region	105
<i>Kozlova L. F., Khokhlova A. V.</i> Climatic characteristics of elevated temperature inversions from upper air data at Dolgoprudnaya and Murmansk stations	135
<i>Aldukhov O. A., Chernykh I. V.</i> Trends of wind speed and its components in the boundary layer of the atmosphere over the Arctic Region of Russia from upper air data	144
<i>Besprozvannykh A. W., Senova L. N., Ulyanich N. L., Sherstyukova R. A.</i> CliWare 2.1 system for hydrometeorological information management and climatic products receiving: scope of application	164
<i>Krakanovskaia E. M., Marinchenko E. B., Shevchenko A. I.</i> Original control and correction of ship meteorological observations arriving via communication channels for creation of MORMET and MORMET-2006 data archives	182

УДК 551.576.1:551.58

**ОЦЕНКИ ПАРАМЕТРОВ ВЕРТИКАЛЬНОЙ
МАКРОСТРУКТУРЫ ОБЛАЧНЫХ СЛОЁВ
ПО ДАННЫМ РАДИОЗОНДИРОВАНИЯ АТМОСФЕРЫ
НА АЭРОЛОГИЧЕСКИХ СТАНЦИЯХ ГСНК
ТЕРРИТОРИИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ЗА 1964–2017 ГГ.**

И. В. Черных¹, О. А. Алдухов²

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

1. Введение

Актуальность изучения вертикальной структуры атмосферы, в частности вертикальной структуры облачности, по данным наблюдений обусловлена важностью знаний о ней для оценок радиационной энергетики атмосферы, условий распространения электромагнитных волн, обеспечения работы авиации [1–6]. Исследование вертикальной макроструктуры облачности, восстановленной по радиозондовым профилям температуры и влажности, вызывает большой интерес, т.к. данные радиозондовых наблюдений плотно покрывают территорию земного шара и собраны за достаточно длинный период [1, 2, 7–14].

Предметом исследования в данной работе является вертикальная макроструктура облачных слоёв (ОС) с количеством облачности 0–100 % поверхности небосвода, восстановленных по радиозондовым профилям температуры и влажности с помощью СЕ-метода [1, 15, 16], в слое от уровня земли до высоты 10 км. Рассмотрен вопрос о внутригодовой изменчивости параметров ОС в пространстве и времени для аэрологических станций ГСНК (Глобальной системы наблюдений за климатом), расположенных на территории европейской части (ЕЧ) Российской Федерации (РФ), Западно-Сибирского района (ЗСР) и Восточно-Сибирского района (ВСР) РФ, за 1964–2017 гг. В качестве параметров ОС

выбраны их повторяемость, Fr , число слоёв, NL , суммарная толщина, Th , высоты нижней, $H_{нз}$, и верхней, $H_{гз}$, границ.

2. Данные и методы

В качестве информационной базы для изучения вертикальной макроструктуры параметров ОС были использованы данные из массива радиозондовых наблюдений CARDS (Comprehensive Aerological Reference Dataset) [11], пополненного текущими наблюдениями из массивов АЭРОСТАБ [17] и АЭРОСТАС [18]. Предварительно постанционные данные прошли процедуру комплексного контроля качества [19], были проверены на наличие и полноту. Для расчётов использованы данные 12 аэрологических станций ГСНК, расположенных в разных районах РФ (табл. 1), в широтно-долготных пределах $51,70\text{--}73,50^\circ$ с.ш. и $40,50\text{--}158,58^\circ$ в.д. Представлены как континентальные, так и прибрежные станции. На всех станциях проводились регулярные двусрочные наблюдения в 00 и 12 ч ВСВ (в статье указано Всемирное скоординированное время).

Таблица 1

**Список 12 аэрологических станций ГСНК,
расположенных в разных районах Российской Федерации,
данные которых были использованы
при исследовании облачных слоёв.
1964–2017 гг.**

N – число радиозондирований

Индекс	Название	Широта, °с.ш.	Долгота, °в.д.	Высота, м	N
Европейская часть РФ					
22543	Архангельск	64,58	40,50	4	37094
27459	Нижний Новгород	56,27	44,00	158	35169
35121	Оренбург	51,70	55,10	118	33000
Западно-Сибирский район РФ					
20674	Остров Диксон	73,50	80,42	47	29909
23472	Туруханск	65,78	87,95	38	34731
23921	Ивдель	60,68	60,43	95	30819
28698	Омск	54,93	73,40	91	35972
29862	Хакасская	53,77	91,32	254	31798

Окончание табл. 1

Индекс	Название	Широта, °с.ш.	Долгота, °в.д.	Высота, м	N
Восточно-Сибирский район РФ					
30230	Киренск	57,77	108,12	259	33345
24266	Верхоянск	67,55	133,38	138	33197
31088	Охотск	59,37	143,20	8	31742
32540	Петропавловск-Камчатский	53,08	158,58	81	36603

Для определения границ и количества облачности использовался СЕ-метод определения границ и количества облачности по радиозондовым профилям температуры и влажности. Его основная идея состоит в определении таких интервалов, где на профили воздействуют ОС. Вследствие инерционности реакция датчиков температуры и влажности на их прохождение может практически не отражаться на абсолютных значениях величин, но почти всегда проявляется в относительных изменениях (производных вдоль профиля) [1, 10, 15, 16]. Определение ОС по СЕ-методу проводится в два этапа. На первом определяют их границы по вторым производным температуры и относительной влажности по высоте вдоль профилей. Особенности скоростей изменения этих параметров с высотой могут быть обусловлены их изменениями при пересечении радиозондом границ ОС. За критерий существования ОС 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 второй производной на противоположный в граничных точках h_1 и h_2 . Это означает: h_1 и h_2 являются точками перегиба профилей T и R , а также 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 [1, 15, 16]. Для получения непрерывных вторых производных по всему профилю используется аппроксимация наблюдаемых

значений температуры и влажности кубическими сплайнами с нулевыми граничными условиями для вторых производных [20, 21].

На втором этапе для каждого из выделенных слоёв по значениям температуры и дефицита точки росы на уровне максимальной относительной влажности внутри такого слоя по кусочно-линейной аппроксимации диаграммы Арабей–Мошникова [1, 16] определяется количество облачности по градациям 0–20, 20–60, 60–80, 80–100 % поверхности небосвода.

В [1, 12, 15, 16] представлены разные аспекты апробации СЕ-метода. Результаты, полученные с помощью СЕ-метода, отражают наличие отдельных облачных слоёв и безоблачных прослоек [1, 10, 12, 15, 16], что позволяет объективно оценить их число, толщину, границы, повторяемость.

Расчёты выполнены для атмосферных слоёв 0–2, 2–6, 6–10, 0–10 км над уровнем земли для повторяемости облачных слоёв, их числа, суммарной толщины, высоты нижней и верхней границ. Первые три слоя соответствуют классическому разделению облаков на нижний, средний и верхний ярус в зависимости от расположения их нижней границы. За количество облачности в каждом изучаемом атмосферном слое принимается максимальное количество облачности в облачных слоях, границы которых лежат внутри соответствующих диапазонов высоты.

При расчёте статистических характеристик параметров ОС были использованы только те зондирования, при которых имелись данные как для температуры, так и для влажности в слое 0–10 км. Так как во время зондирования облачность могла отсутствовать, в расчёты включены только месяцы, содержащие не менее 10 зондирований с одним или более ОС.

Для изучения долгопериодной внутригодовой пространственно-временной изменчивости вертикальной структуры ОС были рассчитаны многолетние средние значения перечисленных выше параметров ОС с количеством облачности 0–20, 20–60, 60–80, 80–100, 0–100 % поверхности небосвода для атмосферных слоёв 0–2, 2–6, 6–10, 0–10 км для месяцев, сезонов и года в целом для территории РФ и её районов.

При рассмотрении ОС с фиксированным количеством облачности допускалось существование других ОС. При расчётах учитывались облачные слои, определённые с помощью СЕ-метода, толщиной не менее 50 метров.

Сглаживание средних месячных/сезонных статистических характеристик ОС проведено по трём точкам с удвоенным весом центральной точки.

3. Результаты

В качестве примера долгопериодной внутригодовой пространственно-временной изменчивости вертикальной структуры ОС ниже показаны сглаженные многолетние средние значения для высот верхней и нижней границ, суммарной толщины, числа ОС с количеством облачности 0–100 % поверхности небосвода (рис. 1) и повторяемости ОС с разным количеством облачности (рис. 2) в разных атмосферных слоях для каждого месяца, сезона и за год в целом для станций, расположенных в разных районах РФ.

В табл. 2 приведены диапазоны изменений средних сезонных станционных значений параметров ОС с количеством облачности 0–100 % поверхности небосвода и соответствующих среднеквадратических отклонений для атмосферного слоя 0–10 км над аэрологическими станциями ГСНК территории РФ.

Таблица 2

Диапазоны изменений средних сезонных станционных значений (Δ) числа (NL), суммарной толщины (Th), высот верхней ($H_{н2}$) и нижней ($H_{в2}$) границ облачных слоёв с количеством облачности 0–100 % поверхности небосвода и соответствующих среднеквадратических отклонений ($\Delta\sigma$) для атмосферного слоя 0–10 км над аэрологическими станциями ГСНК территории РФ за 1964–2017 гг.

Параметр ОС	Зима		Весна		Лето		Осень	
	Δ	$\Delta\sigma$	Δ	$\Delta\sigma$	Δ	$\Delta\sigma$	Δ	$\Delta\sigma$
Th , км	2,4–2,7	0,8–0,9	2,5–2,7	0,8–0,9	2,5–2,7	0,8–0,9	2,5–2,6	0,8–0,9
$H_{в2}$, км	9,2–9,3	0,8–1,1	9,3–9,4	0,8–1,1	9,1–9,4	1,0–1,4	9,2–9,5	0,8–1,2
$H_{н2}$, км	0,7–1,3	0,9–1,9	0,7–1,1	0,8–1,9	0,6–1,2	0,8–1,9	0,7–1,2	0,8–1,9
NL	4,8–6,0	1,7–2,3	4,7–6,0	1,6–2,4	4,6–6,0	1,7–2,5	4,8–6,0	1,7–2,4

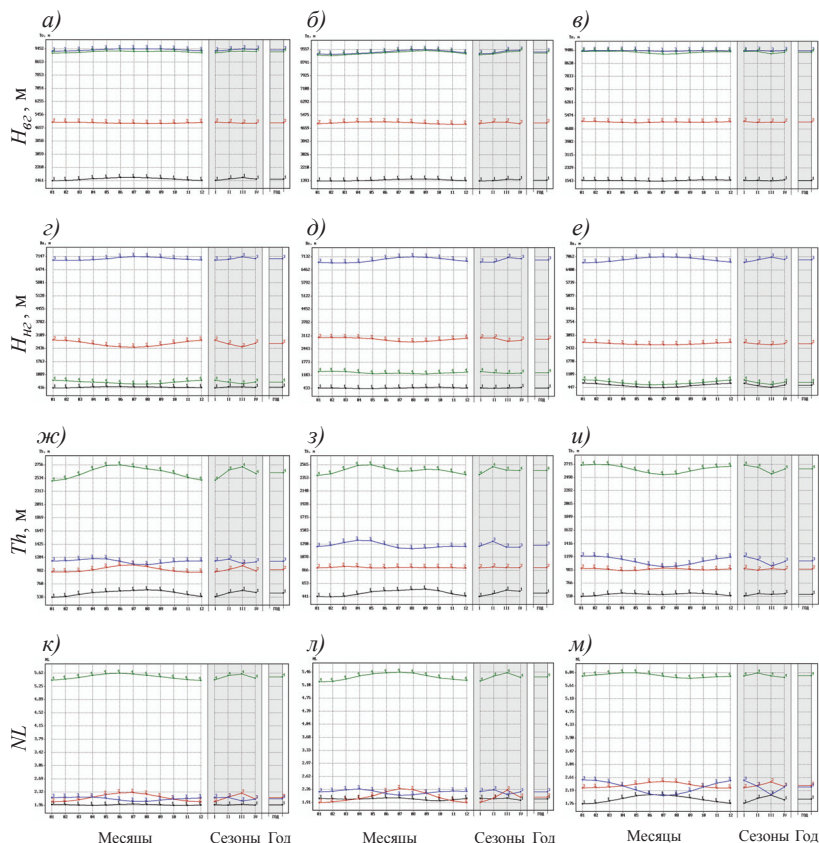


Рис. 1. Многолетние средние значения параметров вертикальной макроструктуры ОС с количеством облачности 0–100 % поверхности небосвода в различных атмосферных слоях.

а–в: высота верхней границы $H_{вг}$, м; г–е: высота нижней границы $H_{нз}$, м; ж–и: суммарная толщина Th , м; к–м: число слоёв NL , для каждого месяца (1,...,12), сезона (1 – декабрь, январь, февраль) и за год, полученные на основе данных радиозондирования на станциях Архангельск (а, г, ж, к), о. Диксон (б, д, з, л) и Петропавловск-Камчатский (в, е, и, м) за 1964–2017 гг.

Линии 1 (чёрные) – для слоя 0–2 км; 2 (красные) – 2–6 км; 3 (синие) – 6–10 км; 4 (зелёные) – 0–10 км над уровнем земли.

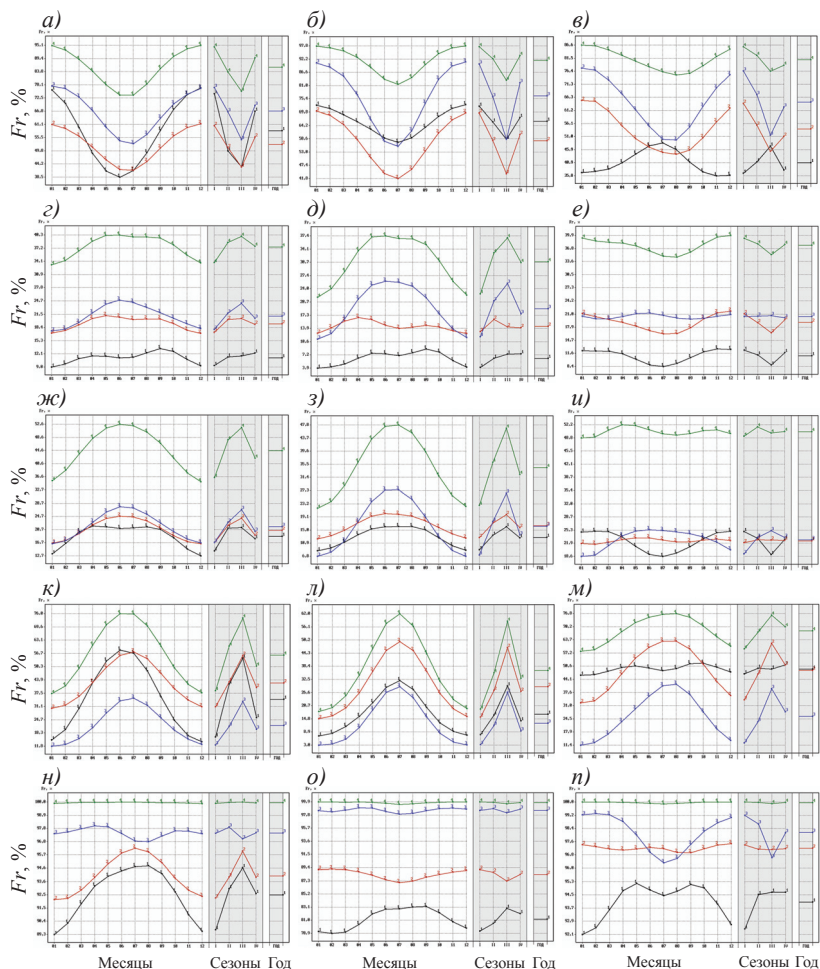


Рис. 2. Многолетние средние значения для повторяемости ОС с количеством облачности 80–100 % (а–в), 60–80 % (г–е), 20–60 % (ж–и), 0–20 % (к–м), 0–100 % (н–п) поверхности небосвода в различных атмосферных слоях для каждого месяца (1,..., 12), сезона (1 – декабрь, январь, февраль) и за год, полученные на основе данных радиозондирования на станциях Архангельск (а, г, ж, к, н), Диксон (б, д, з, л, о) и Петропавловск-Камчатский (в, е, и, м, п) за 1964 – 2017 гг.

Линии 1 (чёрные) – для слоя 0–2 км; 2 (красные) – 2–6 км; 3 (синие) – 6–10 км; 4 (зелёные) – 0–10 км над уровнем земли.

Для территории РФ средние сезонные стационарные значения параметров ОС с количеством облачности 0–100 % поверхности небосвода в слое 0–10 км изменяются в следующих пределах: для суммарной толщины – 2,4–2,7 км, высот верхней и нижней границ – 9,1–9,5 км и 0,6–1,3 км, числа ОС – 4,6–6,0, а соответствующие среднеквадратические отклонения – 0,8–0,9; 0,8–1,4; 0,8–1,9 и 1,6–2,5 км (табл. 2, рис. 1). Для сезонов диапазоны изменений средних значений и среднеквадратических отклонений для суммарной толщины, высот верхней и нижней границ, числа ОС с количеством облачности 0–100 % поверхности небосвода в слое 0–10 км различаются мало.

Полученные ранее [7] на основе глобальных данных радиозондирования для января и июля за 1964–1998 гг. диапазоны региональных изменений, средних значений и среднеквадратических отклонений параметров ОС с количеством облачности 0–100 % поверхности небосвода в атмосферном слое 0–10 км составляют: для суммарной толщины – 1,2–3,1 и 0,6–1,3 км, для высоты верхней границы – 7,5–9,4 и 0,7–1,5 км, для нижней границы – 0,2–1,3 км соответственно. Представленные по территории РФ за период 1964–2017 гг. результаты для сезонов для суммарной толщины и границ ОС (табл. 2) согласуются с результатами [7].

В соответствии с данными, полученными на базе массива сетевого самолетного зондирования на территории СССР за 1957–1963 гг. толщина ОС в 2–5 раз меньше толщины безоблачных слоёв [3, 7]. Данные о суммарной толщине ОС в табл. 2 и полученные на основе массива самолётного зондирования согласуются.

Согласно результатам [8], полученным по данным радиозондирования за 1964–2014 гг. на станциях, расположенных в Российской Арктике и средних широтах ЕТ РФ, диапазон внутригодовых изменений среднемесячных значений числа ОС с количеством облачности 0–100 % в атмосферном слое 0–10 км составляет 5,1–6,2. Для территории РФ средние сезонные стационарные значения числа ОС и соответствующие среднеквадратические отклонения изменяются в диапазонах 4,6–6,0 и 1,6–2,4 соответственно; диапазоны их изменений от сезона зависят мало (табл. 2).

По данным о вертикальной структуре облачности, полученным на основе самолётного зондирования А. М. Боровиковым, А. А. Федоровой и Л. П. Упоровой, максимальное число ОС составляло 6–8 слоёв; А. М. Барановым для фронтальной облачности и А. М. Боровиковым для облачности, рассматриваемой независимо от синоптических условий, было отмечено примерное постоянство распределения расслоенности облаков в течение года [3, 8]. Сравнение вертикальной структуры ОС, определённых на основе данных радиозондирования с использованием некоторого критического значения относительной влажности и с использованием радаров за многолетний период, показало, что максимальное число ОС, определённых по данным радиозондирования составляло 5, по данным измерения радаров – 4 [8, 22]. Полученные данные о числе ОС согласуются с результатами [3, 8, 22].

В табл. 3 приведены диапазоны изменений средних сезонных стационарных значений суммарной толщины ОС с количеством облачности 0–100 % поверхности небосвода с учётом яруса и соответствующих среднеквадратических отклонений для территории РФ, её районов.

Диапазоны региональных изменений, полученные на основе глобальных данных радиозондирования для января и июля за 1964–1998 гг., средних значений суммарной толщины ОС с количеством облачности 0–100 % поверхности небосвода в атмосферных слоях 0–2, 2–6, 6–10 км, согласно [7], составляют 0,4–1,1; 0,7–1,8 и 0,6–1,6 км и среднеквадратических отклонений 0,2–0,6; 0,4–0,8; 0,4–0,8 км соответственно. Данные табл. 3 и рис. 1ж–1и согласуются с этими результатами.

По данным о вертикальной макроструктуре облачности, полученным на базе массива сетевого самолётного зондирования на территории СССР за 1957–1963 гг. [3, 7], толщина всех форм облаков отличается значительной изменчивостью и среднеквадратические отклонения толщины ОС близки к средним значениям соответствующих форм облаков. Результаты расчётов для ОС в разных ярусах (табл. 3) качественно согласуются с этими данными.

Таблица 3

Диапазоны изменений средних сезонных стационарных значений (Δ) суммарной толщины облачных слоёв и соответствующих среднеквадратических отклонений ($\Delta\sigma$) для различных атмосферных слоёв над аэрологическими станциями ГСНК территории РФ и её районов за 1964–2017 гг.

Район РФ	Зима		Весна		Лето		Осень	
	Δ , км	$\Delta\sigma$, км	Δ , км	$\Delta\sigma$, км	Δ , км	$\Delta\sigma$, км	Δ , км	$\Delta\sigma$, км
6–10 км								
ЕЧ	1,1–1,2	0,5–0,6	1,1–1,2	0,5–0,6	1,0–1,1	0,5–0,6	1,1–1,2	0,5–0,6
ЗСР	1,1–1,3	0,5–0,6	1,1–1,3	0,5–0,6	1,1–1,2	0,5–0,6	1,1–1,2	0,5–0,6
ВСР	1,2–1,3	0,5–0,6	1,2–1,3	0,5–0,6	1,0–1,1	0,5–0,6	1,1–1,2	0,5–0,6
РФ	1,1–1,3	0,5–0,6	1,1–1,3	0,5–0,6	1,0–1,2	0,5–0,6	1,1–1,2	0,5–0,6
2–6 км								
ЕЧ	0,9–1,0	0,5	0,9–1,0	0,5	1,0–1,1	0,5	0,9–1,0	0,5
ЗСР	0,9–1,0	0,5–0,6	0,9–1,1	0,5–0,6	0,9–1,2	0,5–0,6	0,9–1,1	0,5–0,6
ВСР	0,9–1,0	0,5	1,0–1,1	0,5–0,6	1,0–1,1	0,5–0,6	0,9–1,0	0,5
РФ	0,9–1,0	0,5–0,6	0,9–1,1	0,5–0,6	0,9–1,2	0,5–0,6	0,9–1,1	0,5–0,6
0–2 км								
ЕЧ	0,5–0,6	0,3	0,5–0,6	0,3–0,4	0,6–0,7	0,3–0,4	0,6–0,7	0,3–0,4
ЗСР	0,4–0,5	0,2–0,3	0,5–0,6	0,3–0,4	0,6–0,7	0,3–0,4	0,5–0,6	0,3–0,4
ВСР	0,4–0,6	0,2–0,3	0,5–0,6	0,3–0,4	0,5–0,6	0,3–0,4	0,5–0,6	0,3–0,4
РФ	0,4–0,6	0,2–0,3	0,5–0,6	0,3–0,4	0,5–0,6	0,3–0,4	0,5–0,7	0,3–0,4

В табл. 4 представлены диапазоны изменений средних сезонных стационарных значений числа ОС с количеством облачности 0–100 % поверхности небосвода с учётом яруса облачности для территории РФ и её районов, а также соответствующие среднеквадратические отклонения.

Диапазоны внутригодовых изменений средних сезонных значений числа ОС с учётом яруса составляют:

- в верхнем ярусе для всех станций 1,9–2,5 слоя, для станций в ЕЧ, ЗСР и ВСР РФ – 2,0–2,3; 1,9–2,2; 1,9–2,5;
- в среднем ярусе для всех станций 1,8–2,5 слоя, для станций в ЕЧ, ЗСР и ВСР РФ – 2,1–2,5; 1,8–2,4; 1,9–2,5;
- в нижнем ярусе для всех станций 1,5–2,1 слоя, для станций в ЕЧ, ЗСР и ВСР РФ – 1,7–2,1; 1,5–2,1; 1,6–2,1.

Таблица 4

Диапазоны изменений средних сезонных стационарных значений (Δ) числа (N_L) облачных слоёв и соответствующих среднеквадратических отклонений ($\Delta\sigma$) для различных атмосферных слоёв над аэрологическими станциями ГСНК территории РФ и её районов за 1964–2017 гг.

Район РФ	Зима		Весна		Лето		Осень	
	Δ	$\Delta\sigma$	Δ	$\Delta\sigma$	Δ	$\Delta\sigma$	Δ	$\Delta\sigma$
6–10 км								
ЕЧ	2,1–2,3	0,9–1,0	2,1–2,2	0,9–1,0	2,0–2,1	0,9–1,0	2,0–2,2	0,9–1,0
ЗСР	2,1–2,2	0,9	2,1–2,2	0,8–1,0	1,9–2,1	0,8–1,0	2,0–2,2	0,8–0,9
ВСР	2,2–2,5	0,9–1,0	2,2–2,3	0,9–1,0	1,9–2,1	0,8–1,0	2,1–2,3	0,9–1,0
РФ	2,1–2,5	0,9–1,0	2,1–2,3	0,8–1,0	1,9–2,1	0,8–1,0	2,0–2,3	0,8–1,0
2–6 км								
ЕЧ	2,1–2,2	1,0–1,1	2,2–2,3	1,1	2,3–2,5	1,1–1,3	2,1–2,4	1,1
ЗСР	1,8–2,1	0,8–1,0	1,9–2,2	0,8–1,0	2,1–2,4	0,9–1,1	1,9–2,3	0,9–1,0
ВСР	1,9–2,3	0,8–1,0	2,0–2,4	0,9–1,1	2,2–2,5	1,0–1,2	2,0–2,3	0,9–1,1
РФ	1,8–2,3	0,8–1,1	1,9–2,4	0,8–1,1	2,1–2,5	0,9–1,3	1,9–2,4	0,9–1,1
0–2 км								
ЕЧ	1,9–2,1	0,9	1,8–2,0	0,8–0,9	1,7–2,0	0,8–0,9	1,9–2,0	0,9
ЗСР	1,6–2,1	0,7–0,9	1,5–2,0	0,7–0,9	1,5–2,0	0,6–1,0	1,6–2,0	0,7–0,9
ВСР	1,6–1,9	0,7–0,9	1,6–2,0	0,7–0,9	1,7–2,1	0,7–0,9	1,7–2,0	0,7–0,9
РФ	1,6–2,1	0,7–0,9	1,5–2,0	0,7–0,9	1,5–2,0	0,6–1,0	1,6–2,0	0,7–0,9

Амплитуда внутригодовой изменчивости средних сезонных значений числа ОС составляет в верхнем, среднем и нижнем ярусах для всех станций 0,2–0,4; 0,4–0,5; 0,4–0,5 слоя, для всех ярусов – 0,2–0,5 слоя.

Диапазоны внутригодовых изменений среднеквадратических отклонений числа ОС для всех станций составляют в верхнем, среднем и нижнем ярусах 0,8–1,0; 0,8–1,3 и 0,6–1,0 слоя соответственно.

Согласно данным табл. 4, сезонные и региональные различия для диапазонов изменений средних сезонных и среднеквадратических отклонений числа ОС каждого яруса существенны.

В [8] для 13 станций в Арктике РФ и в средних широтах ЕЧ РФ за 1964–2014 гг. диапазоны внутригодовых изменений среднемесячных значений числа ОС составляют в верхнем, среднем и нижнем ярусах 1,9–2,4; 1,9–2,5 и 1,7–2,1 слоя соответственно, что согласуются с данными табл. 4.

В табл. 5 приведены диапазоны изменений средних сезонных и годовых станционных значений повторяемости ОС с количеством облачности 0–100 % поверхности небосвода с учётом атмосферного слоя для территории РФ и её районов. Осреднённая повторяемость расслоения в атмосферном слое 0–10 км на ОС с количеством облачности 0–100 % поверхности небосвода и прослойки между ними составляет за год в целом 99,8–100 % случаев с данными о температуре и влажности до высоты 10 км над территорией РФ в целом, и она мало зависит от сезона и района РФ (табл. 5, рис. 2*n*–2*n*). В слоях 0–2; 2–6; 6–10 км над территорией РФ за год в целом расслоение отмечается в 81,2–94,0; 88,3–97,2 и 96,9–98,6 % случаев соответственно. Наименьшая повторяемость расслоения видна в нижнем ярусе над всеми районами и территорией РФ в целом во все сезоны и за год в целом. Наибольшая повторяемость расслоения видна в верхнем ярусе для всех районов зимой, весной, осенью и за год в целом (табл. 5, рис. 2*n*–2*n*). Летом в ВСР видно (табл. 5, рис. 2*n*) слабое преобладание расслоения в среднем ярусе по сравнению с верхним ярусом. В каждом рассматриваемом атмосферном слое для всех районов и территории РФ диапазоны изменений средних значений повторяемости расслоения для сезонов различаются мало.

Таблица 5

Диапазоны изменений сезонных станционных значений повторяемости, %, облачных слоёв с количеством облачности 0–100 % поверхности небосвода в разных атмосферных слоях над аэрологическими станциями ГСНК территории РФ и её районов за 1964–2017 гг.

Район РФ	Зима	Весна	Лето	Осень	Год
0–10 км					
ЕЧ	99,9	99,9–100	99,9–100	99,9	99,9–100
ЗСР	99,9–100	99,9–100	99,6–99,9	99,8–100	99,8–100
ВСР	99,9–100	100	99,9–100	100	100
РФ	99,9–100	99,9–100	99,6–100	99,8–100	99,8–100
6–10 км					
ЕЧ	97,5–98,1	97,2–97,9	96,0–97,0	96,6–97,5	96,9–97,5
ЗСР	98,1–98,6	97,4–98,9	95,1–98,2	97,3–98,8	97,1–98,6
ВСР	98,9–99,2	98,2–98,9	94,8–97,2	97,5–98,7	97,3–98,4
РФ	97,5–99,2	97,2–98,9	94,8–98,2	96,6–98,8	96,9–98,6

Окончание табл. 5

Район РФ	Зима	Весна	Лето	Осень	Год
2–6 км					
ЕЧ	92,3–93,4	94,0–95,3	96,0–97,7	93,9–95,2	94,0–95,4
ЗСР	89,1–94,0	88,7–95,4	87,3–97,5	88,3–95,3	88,3–95,6
ВСР	90,2–97,4	93,1–97,2	96,1–97,6	92,1–97,2	92,9–97,2
РФ	89,1–97,4	88,7–97,2	87,3–97,7	88,3–97,2	88,3–97,2
0–2 км					
СЕР	89,7–93,4	91,5–93,0	89,0–94,7	92,3–93,7	91,7–92,5
ЗСР	79,2–92,2	80,5–93,0	82,9–95,3	82,0–93,4	81,2–93,2
ВСР	79,7–92,4	85,2–94,5	87,4–94,6	83,8–94,6	84,5–94,0
РФ	79,2–93,4	80,5–94,5	82,9–95,3	82,0–94,6	81,2–94,0

Количественные различия в оценках параметров ОС при сравнении результатов, изложенных выше и полученных другими авторами на основе данных самолётного зондирования, по данным измерения с помощью радаров могут быть объяснены различием методик определения слоёв облачности и расчёта, периодов наблюдений, периодичности и регулярности наблюдений [2, 3, 15], обобщением результатов на слой атмосферы 0–10 км. Также следует учитывать, что СЕ-метод детектирует влажные слои, из которых будут формироваться облака в течение ближайших нескольких часов (эти слои ещё не фиксируются при наземных наблюдениях за облаками в данный момент из-за малой концентрации облачных частиц, но будут детектированы после формирования обычно радаром). Метод детектирует влажные слои, которые являются некоторой формой оставшихся облаков после их растекания (через несколько часов) и которые детектируются при самолётном зондировании с помощью прибора для определения изображения облачных частиц [2, 8, 15].

4. Выводы

С помощью СЕ-метода получены новые данные о вертикальной структуре атмосферы в слое 0–10 км, а именно о внутритродовой изменчивости в пространстве и времени параметров вертикальной макроструктуры ОС: их повторяемости, числа, высоты нижней и верхней границ, их суммарной толщины на основе

данных радиозондирования на станциях ГСНК, расположенных на территории РФ, за 1964–2017 гг.

Показано, что региональные и сезонные различия диапазонов изменений среднемесячных/среднесезонных значений параметров ОС с количеством облачности 0–100 % поверхности небосвода в слое 0–10 км выражены мало. Они проявляются при рассмотрении параметров ОС в отдельных ярусах, а также с учётом количества облачности. Полученные результаты о рассмотренных параметрах ОС качественно согласуются с результатами, полученными авторами ранее, а также с результатами других авторов, полученных по данным самолётного зондирования с помощью радаров.

Статистические характеристики повторяемости, числа, высоты нижней и верхней границ, суммарной толщины ОС, их пространственно-временной изменчивости могут быть полезны при изучении радиационной энергетики атмосферы, для оценки условий распространения электромагнитных волн, обеспечения работы авиации, при интерпретации данных измерений параметров облачности другими методами с помощью приборов, расположенных на поверхности земли, или с помощью спутниковой аппаратуры.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алдухов О. А., Черных И. В. Методы анализа и интерпретации данных радиозондирования атмосферы. Т. 2. Восстановленные облачные слои. Обнинск: ВНИИГМИ-МЦД, 2013. 152 с.
2. Алдухов О. А., Черных И. В. Методы анализа и интерпретации данных радиозондирования атмосферы. Т. 3. Влажность и температура в атмосфере: статистические характеристики. Обнинск: ВНИИГМИ-МЦД, 2015. 494 с.
3. Дубровина Л. С. Облака и осадки по данным самолётного зондирования. Л.: Гидрометеиздат, 1982. 216 с.
4. Баранов А. М. Видимость в атмосфере и безопасность полетов. Л.: Гидрометеиздат, 1991. 206 с.
5. Фридзон М. Б. Методология радиозондирования атмосферы и достоверность измерений вертикальных профилей температуры и влажности до высот 35–40 км: Автореф. дис. на соискание учёной степени д-ра техн. наук. М., 2004.
6. Асмус В. В., Загребяев В. А., Макриденко Л. А. и др. Система полярно-орбитальных метеорологических спутников серии «Метеор-М» // Метеорология и гидрология. 2014. № 12. С. 5–16.

7. Черных И. В., Алдухов О. А. Долгопериодные оценки характеристик вертикального распределения облачных слоёв по данным радиозондирования атмосферы // *Метеорология и гидрология*. 2016. № 4. С. 5–17.
8. Черных И. В., Алдухов О. А. Оценки числа облачных слоёв по данным радиозондирования атмосферы за 1964–2014 гг. на российских станциях // *Метеорология и гидрология*. 2018. № 3. С. 29–39.
9. Черных И. В., Алдухов О. А. Оценки параметров вертикальной макроструктуры сплошной облачности в Арктическом регионе РФ по долгопериодным данным радиозондирования // *Труды ВНИИГМИ-МЦД*. 2018. Вып. 181. С. 5–17.
10. 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. Vol. 82, N. 9. P. 1941–1947.
11. Eskridge R. E., Alduchov O. A., Chernykh I. V. et al. A comprehensive aerological reference dataset (CARDS): rough and systematic errors // *Bull. Amer. Meteorol. Soc.* 1995. Vol. 76. P. 1759–1775.
12. 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. Vol. 108, N D4. P. 3-1–3-12.
13. Poore K. D., Wang J., Rossow W. Cloud layer thickness from a combination of surface and upper-air observations // *J. Climate*. 1995. Vol. 8. P. 550–568.
14. 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. Vol. 18. P. 3587–3605.
15. Черных И. В., Алдухов О. А. Об определении вертикального распределения облачных слоёв по данным радиозондирования атмосферы // *Известия РАН. Физика атмосферы и океана*. 2004. Т. 40, № 1. С. 45–59.
16. Chernykh I. V., Eskridge R. E. Determination of cloud amount and level from radiosonde soundings // *J. Appl. Meteorol.* 1996., Vol. 35. P. 1362–1369.
17. Алдухов О. А., Оржиховская В. А., Садовникова Т. О. и др. Архив текущей аэрологической информации АЭРОСТАБ. Описание архива. Обнинск: ВНИИГМИ-МЦД, 1990. 28 с.
18. Руденкова Т. В. Формат архивации текущих аэрологических данных, поступающих по каналам связи для ПЭВМ // *Труды ВНИИГМИ-МЦД*. 2010. Вып. 174. С. 41–63.
19. Алдухов О. А., Черных И. В. Методы анализа и интерпретации данных радиозондирования атмосферы. Т. 1. Контроль качества и обработка данных. Обнинск: ВНИИГМИ-МЦД, 2013. 306 с.
20. Стечкин С. Б., Субботин Ю. Н. Сплайны в вычислительной математике. М.: Наука, 1976. 248 с.
21. 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.
22. 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. Atm.* 2013. Vol. 118. P. 846–858.

УДК 551.583.16(470+571)

ОЦЕНКИ ЭКСТРЕМАЛЬНОСТИ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА И РЕЖИМА ОСАДКОВ ДЛЯ ТЕРРИТОРИИ РФ И ЕЁ РЕГИОНОВ

*Н. Н. Коршунова¹, О. Н. Булыгина,
В. Н. Разуваев², С. Г. Давлетшин³*

*ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский институт
гидрометеорологической информации – Мировой центр данных»,
¹ nnk@meteo.ru, ² Razuvaev@meteo.ru, ³ sdavletshin@meteo.ru*

Введение

На фоне глобального потепления, факт которого в настоящее время не подвергается сомнению, наблюдаются значительные изменения климата. В связи с этим учёные всего мира пытаются оценить состояние основных компонентов климатической системы и выявить тенденции их изменения, чтобы минимизировать негативное воздействие этих изменений на жизнь и хозяйственную деятельность человека [1, 2].

По данным Американского метеорологического общества [3] с начала XX века средняя глобальная приземная температура воздуха неуклонно повышалась в среднем на 0,78–0,90 °C/100 лет. После 1980 года скорость повышения глобальной приземной температуры воздуха значительно выросла. Начало XXI века выдалось аномально тёплым. При этом рекордные значения глобальной приземной температуры воздуха фиксировались три года подряд, что случается крайне редко. Однако на фоне глобального потепления имеются районы, где температура воздуха изменяется по-другому, поэтому очень важно выявлять и учитывать региональные особенности изменения основных климатических параметров. Подготовленные во ВНИИГМИ-МЦД специализированные массивы данных высокого качества по основным климатическим параметрам [4, 5, 6] позволили по данным большого количества метеорологических станций изучить изменчивость основных климатических параметров в последние десятилетия

на территории России и выявить некоторые региональные и сезонные особенности.

Методика и данные

Наблюдаемые изменения климата характеризуются изменением частоты экстремальных погодных и климатических явлений.

В рамках данного исследования в качестве индексов климатических экстремумов используется число дней за сезон, когда метеорологический параметр выше или ниже некоторого предельного значения. Значение метеорологической величины, соответствующее границе 95 %-ного или 5 %-ного интервала ранжированного ряда, рассматривалось как предельное. Подсчитывалось количество дней за сезон каждого года, когда величина метеорологического элемента выходила за предельное значение. По рядам полученных величин на каждой станции рассчитывались коэффициенты линейного тренда. Данная методика подробно описана в [7, 8].

Расчёты выполнены для максимальной и минимальной температуры воздуха и количества осадков по ежедневным данным 400 метеорологических станций России за период 1971–2016 гг. [6]. В расчётах по оттепелям использовались ежедневные данные о средней температуре воздуха 518 метеорологических станций России за период 1976–2016 гг. [6].

Анализ проводился по данным в точке и по рядам средних для 18 квазиоднородных климатических регионов, выбранным на основании классификации Алисова [9]. Средние для регионов значения характеристик получены следующим способом. Значения на метеостанциях арифметически осреднялись по квадратам сетки ($1^{\circ}\text{N} \times 2^{\circ}\text{E}$), а затем с весовыми коэффициентами в зависимости от широты квадрата проводилось осреднение по регионам, показанным на рис. 1. Такой способ осреднения обеспечивает хорошие результаты без учёта пространственной функции ковариации [10]. Тенденция изменений числа дней с экстремальными температурами, большим количеством осадков и числа дней с оттепелями оценивалась коэффициентами линейного тренда. Тренд рассчитан методом наименьших квадратов.

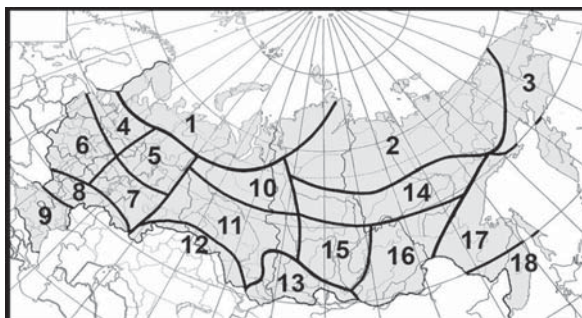


Рис. 1. Квазиоднородные климатические районы (по Алисову).

- 1 – Север Европейской территории России (ЕТР) и Западной Сибири;
2 – Северная часть Восточной Сибири и Якутии; 3 – Чукотка и север Камчатки;
4, 5, 6, 7 и 8 – северо-запад, северо-восток, юго-запад, юго-восток и степная часть Восточно-Европейской равнины соответственно; 9 – Северный Кавказ;
10 и 11 – северная и южная части лесной зоны Западной Сибири; 12 – степная зона Западной Сибири; 13 – Алтай и Саяны; 14, 15 и 16 – центр Восточной Сибири, бассейн Ангары и Забайкалье; 17, 18 – Дальний Восток (между 50° с.ш. и 60° с.ш. и южнее 60° с.ш. соответственно).

Карты подготовлены с использованием пакета программ «MAPINFO» [11] в регулярной азимутальной стереографической проекции, в котором используется стандартный IDW-метод [11] пространственной интерполяции с коэффициентами обратно пропорциональными квадрату расстояния.

Результаты

1. Экстремальность температурного режима

На фоне увеличения числа дней с аномально высокими температурами воздуха на большей части России во все сезоны (рис. 2) число дней с аномально высокими температурами уменьшается зимой на северо-востоке Дальневосточного федерального округа (ФО) и ЕТР, в центральных районах Восточной Сибири; летом – на Кольском полуострове, Чукотке и в муниципальных районах Красноярского края. Следует отметить, что на всей территории страны увеличилось число дней с аномально высокими температурами весной и осенью, причём весной таких дней стало больше в северных районах азиатской территории, а осенью – на юге европейской территории и Западной Сибири.

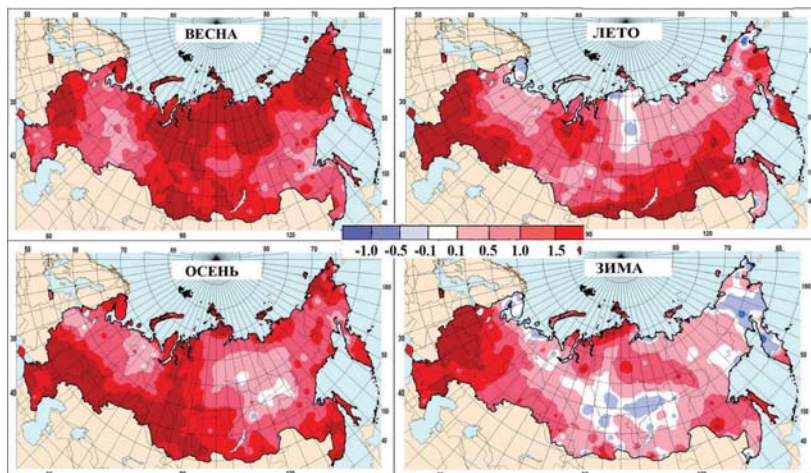


Рис. 2. Коэффициенты линейного тренда в рядах числа дней с аномально высокой температурой воздуха $\beta_{N_{\max}}$ (дни/10 лет) для сезонов года

Для квазиоднородных климатических районов наибольшие коэффициенты линейного тренда, значимые на 5 %-ном уровне, получены в летний и осенний периоды (рис. 3). Зимой на азиатской территории значимых трендов не выявлено.

Факт значительного потепления климата в последние десятилетия подтверждает и уменьшение числа дней с экстремально низкими температурами воздуха, преобладающее на большей части страны во все сезоны года (рис. 4). Наиболее заметна тенденция уменьшения числа очень морозных дней на севере Восточной Сибири и в Якутии. В то же время на юге Западной Сибири и Забайкалья выявлена тенденция увеличения числа дней с аномально низкими температурами воздуха зимой и осенью, т.е. в этих районах возрастает угроза промерзания мелких речек и водоёмов, аварий на водопроводах, перебоев в водоснабжении населения. Летом число дней с аномально низкими температурами растёт в отдельных районах Западной Сибири. А на арктическом побережье Восточной Сибири последние очень тёплые летние сезоны привели к изменению знака коэффициента линейного тренда: если за период 1971–2010 гг. наблюдалась тенденция увеличения числа

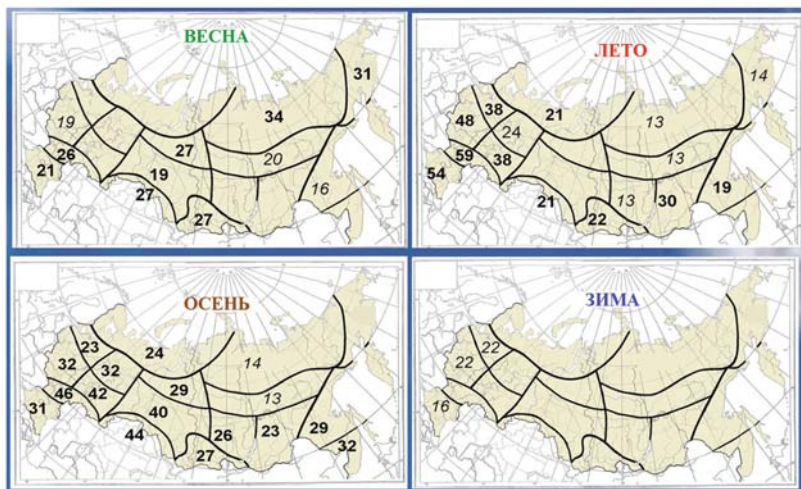


Рис. 3. Коэффициенты линейного тренда (% от среднего многолетнего значения за 10 лет) в рядах числа дней с аномально высокой температурой воздуха, осреднённые по территории квазиоднородных климатических районов

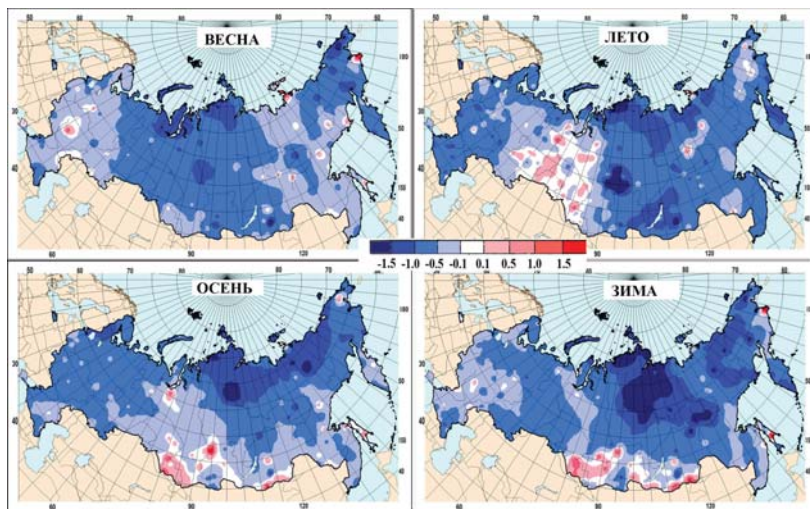


Рис. 4. Коэффициенты линейного тренда в рядах числа дней с аномально низкой температурой воздуха β_{Nmin} (дни/10 лет) для сезонов года

дней с аномально низкими температурами, то за рассматриваемый период выявлена тенденция уменьшения таких дней.

Наибольшее уменьшение числа дней с аномально низкой температурой воздуха выявлено во всех квазиоднородных районах ЕТР летом и осенью (рис. 5). Летом такая же тенденция преобладает и на азиатской территории, за исключением Западной Сибири. В Западной Сибири наиболее заметное уменьшение числа дней с аномально низкими температурами наблюдается весной.

С изменением температуры воздуха связано такое явление, как оттепели. Оттепели относятся к неблагоприятным явлениям погоды, которые оказывают влияние на такие важные отрасли экономики, как сельское хозяйство, строительство, транспорт. В данном исследовании использовалось определение оттепели, данное К.Ш. Хайруллиным [12], когда оттепелью считалось повышение средней суточной температуры воздуха до 0°C и выше внутри холодного периода при среднесуточной температуре воздуха устойчиво ниже 0°C . За дату устойчивого перехода температуры воздуха через 0°C осенью принимался первый день периода,

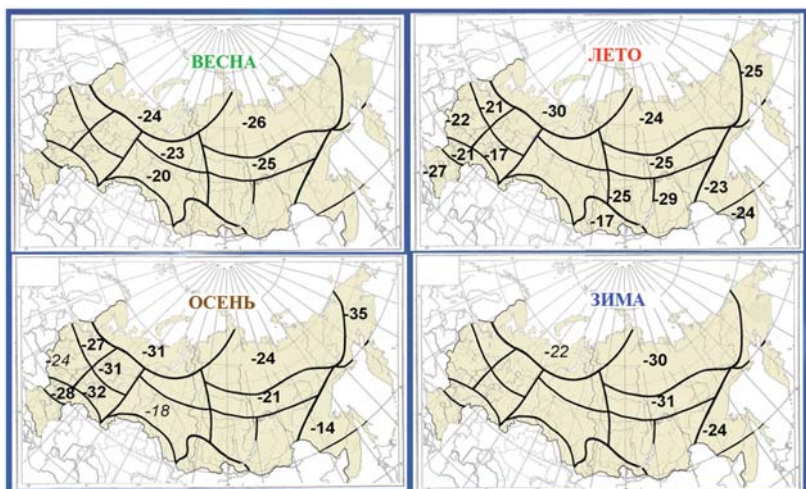


Рис. 5. Коэффициенты линейного тренда (% от среднего многолетнего значения за 10 лет) в рядах числа дней с аномально низкой температурой воздуха, осреднённые по территории квазиоднородных климатических районов

сумма отрицательных отклонений которого превышает сумму положительных отклонений любого из последующих периодов с положительными отклонениями. За конец принимается день перехода средней суточной температуры воздуха через 0°C весной.

Осенью на европейской территории, за исключением отдельных районов на северо-западе и западе, число дней с оттепелью уменьшается (рис. 6). Это обусловлено, в первую очередь, значительным потеплением в осенний период, а, следовательно, сдвигом на более поздние сроки даты устойчивого перехода среднесуточной температуры воздуха через 0°C . По этой причине в двух квазиоднородных климатических районах на ЕТР выявлена тенденция уменьшения числа оттепелей в осенний период (рис. 7).

Зимой выявлены тенденции увеличения числа дней с оттепелью на территории квазиоднородных климатических районов 4 (северо-западная часть Восточно-Европейской равнины) и 11 (южная часть лесной зоны Западной Сибири). На Северном Кавказе (район 9) число дней с оттепелью в зимний период

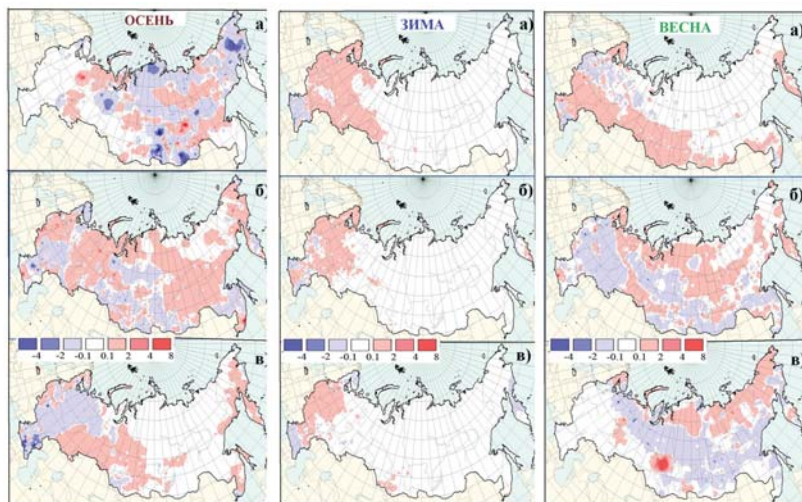


Рис. 6. Коэффициенты линейного тренда (на 5%-ном уровне значимости) в рядах числа дней с оттепелью. Осень: а) сентябрь; б) октябрь; в) ноябрь. Зима: а) декабрь; б) январь; в) февраль. Весна: а) март; б) апрель; в) май

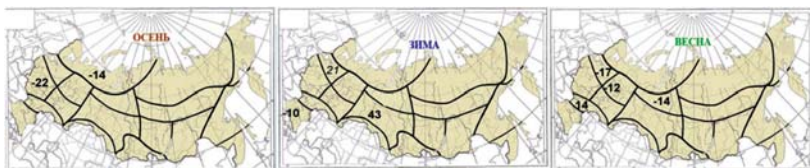


Рис. 7. Коэффициенты линейного тренда (% от среднего) в рядах числа дней с оттепелью, осреднённые по территории квазиоднородных климатических районов

уменьшается. Весной можно отметить отсутствие оттепелей в начале сезона на севере азиатской территории России, а в конце сезона – на юге европейской, что определяется сезонным распределением температуры воздуха. За весенний период в целом значимые коэффициенты линейного тренда, осреднённые по территории квазиоднородных климатических районов, получены для северо-западной и северо-восточной частей Восточно-Европейской равнины (районы 4 и 5) и северной части лесной зоны Западной Сибири (район 10). В этих районах выявлена тенденция уменьшения числа дней с оттепелями. В степной зоне Восточно-Европейской равнины число дней с оттепелью растёт.

2. Экстремальность режима осадков

Экстремально большие осадки в значительной степени влияют на режим рек. Большое количество осадков зимой и весной обуславливают высокий уровень весеннего половодья, сильные ливни летом часто становятся причиной катастрофических наводнений. Зимой очаги уменьшения числа дней с аномально большими осадками довольно хорошо согласуются с зонами уменьшения числа дней с экстремально высокими температурами воздуха (рис. 8). На большей части ЕТР наблюдается увеличение числа дней с сильными снегопадами. Увеличилось число дней с сильными снегопадами на севере Западной Сибири и Красноярского края, куда в последние годы часто проникали атлантические циклоны, принося влажные воздушные массы. Весна стала более влажной на большей части России. Тенденция уменьшения числа дней с большими осадками сохранилась только на юго-востоке Таймыра, Амурской области и отдельных районах Чукотского

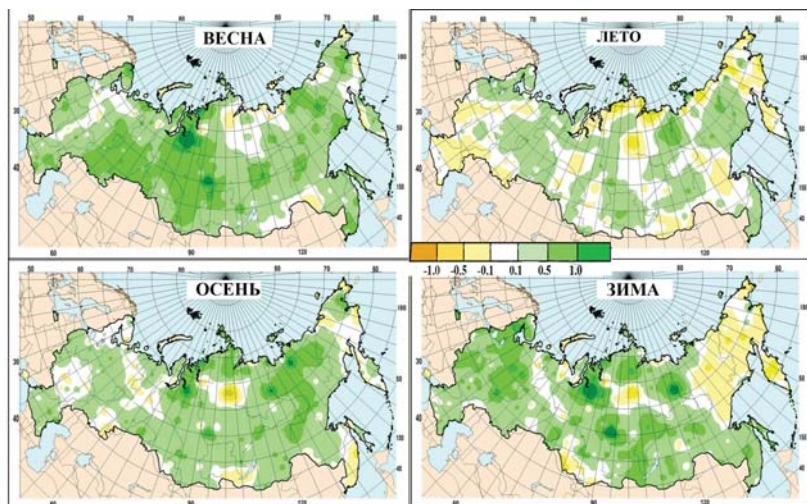


Рис. 8. Коэффициенты линейного тренда в рядах числа дней с аномально большими осадками β_{N_r} , [дни/10 лет] для сезонов года

автономного округа. В Северо-Кавказском и Южном ФО также наблюдается увеличение числа дней с аномально большими осадками во все сезоны, кроме лета, а значит, учитывая горный характер многих рек и состояние их русел, и в будущем сохранится угроза опасных паводков в этом регионе. Осенью число дней с большими осадками слабо растёт на большей части страны, что хорошо согласуется с ростом числа дней с аномально высокой температурой воздуха. Наиболее заметна тенденция увеличения числа дней с аномально большими осадками в осенний период в западных районах Ямало-Ненецкого автономного округа и центральных районах Республики Саха (Якутия).

Наибольшие коэффициенты линейного тренда, осреднённые по территории квазиоднородных районов, получены весной для восточных районов ЕТР и Западной Сибири; осенью – для Восточной Сибири и севера Якутии; зимой – для южных районов Восточной Сибири и Дальнего Востока. В степной части Восточно-Европейской равнины (рис. 9) число дней с экстремально большими осадками летом уменьшается, сказались сильные засухи последних лет.

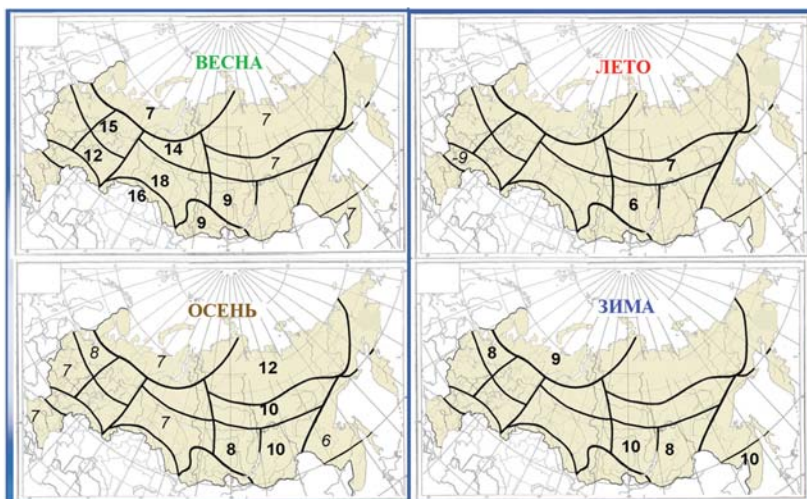


Рис. 9. Коэффициенты линейного тренда (% от среднего многолетнего значения за 10 лет) в рядах числа дней с аномально большими осадками, осреднённые по территории квазиоднородных климатических районов

Выводы

В результате проведённых исследований экстремальности температурного режима и режима осадков на территории России в последние десятилетия по данным ежедневных наблюдений выявлены региональные и сезонные особенности.

На фоне увеличения числа дней с аномально высокими температурами воздуха на большей части России во все сезоны число дней с аномально высокими температурами уменьшается зимой на северо-востоке Дальневосточного ФО и ЕТР, в центральных районах Восточной Сибири; летом – на Кольском полуострове, Чукотке и в муниципальных районах Красноярского края. Значительно уменьшается число очень морозных дней на севере Восточной Сибири и в Якутии. В то же время на юге Западной Сибири и Забайкалья выявлена тенденция увеличения числа дней с аномально низкими температурами воздуха зимой и осенью. На ЕТР выявлена тенденция уменьшения числа оттепелей в осенний период из-за значительного потепления в

осенний период. На большей части ЕТР, севере Западной Сибири и Красноярского края наблюдается увеличение числа дней с сильными снегопадами.

Выявленные региональные особенности изменения основных климатических параметров помогут в выработке адаптационных мер по сокращению рисков и минимизации ущербов от неблагоприятных погодных условий и климатических изменений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. Том II. Последствия изменений климата.* М., 2008. 288 с.
2. *Изменения климата 2014 г. Обобщающий доклад МГЭИК* // https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/syr/SYR_AR5_FINAL_full_ru.pdf.
3. *State of the Climate in 2016* // Bull. Amer. Meteor. Soc., 2017. 98. N 8. S212–S214.
4. Булыгина О.Н., Разуваев В.Н., Трофименко Л.Т., Швец Н.В. Описание массива данных среднемесячной температуры воздуха на станциях России // Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2014621485 <http://meteo.ru/data/156-temperature#описание-массива-данных>.
5. Булыгина О.Н., Разуваев В.Н., Коришунова Н.Н., Швец Н.В. Описание массива данных месячных сумм осадков на станциях России // Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2015620394 <http://meteo.ru/data/158-total-precipitation#описание-массива-данных>.
6. Булыгина О.Н., Разуваев В.Н., Александрова Т.М. Описание массива данных суточной температуры воздуха и количества осадков на метеорологических станциях России и бывшего СССР (ТТТР) // Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2014620942. <http://meteo.ru/data/162-temperature-precipitation#описание-массива-данных>.
7. Булыгина О.Н., Коришунова Н.Н., Разуваев В.Н., Шаймарданов М.З., Швец Н.В. Изменчивость экстремальных климатических явлений на территории России // Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2000. Вып. 187. С. 16–31.
8. Bulygina O. N., Razuvaev V. N., Korshunova N. N., Groisman P. Ya., 2007: Climate variations and changes in extreme climate events in Russia // Environ. Res. Lett. 2 N 4 (October–December 2007)045020. 7 p.
9. Алисов Б.П. Климат СССР. М.: Московский Университет. 1956. 127 с.
10. Каган Р.Л. 1979. Осреднение метеорологических полей. Л.: Гидрометеоиздат, 279 с.
11. Пакет программ «MAPINFO» // <http://www.mapinfo.ru/product/mapinfo-mapbasicket>.
12. Хайруллин К.Ш. Оттепели на территории СССР. Л.: Гидрометеоиздат, 1969. 88 с.

УДК 551.465.7

О ВЛИЯНИИ ОКЕАНА НА ЦИКЛОНИЧЕСКУЮ АКТИВНОСТЬ В СЕВЕРНОЙ АТЛАНТИКЕ

Н. А. Вязилова

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

Введение

Изучение и мониторинг циклонической активности во вне-тропических широтах представляет практический интерес для общества, ибо в основном с интенсивными циклонами в умеренных широтах связаны аномально сильные осадки и ураганный ветер. Практически все циклоны, приходящие в Европейский регион, зарождаются над акваторией Северной Атлантики, поэтому изучению взаимосвязи атмосферной циркуляции в данном регионе с процессами в океане всегда уделялось достаточно много внимания. Результаты целого ряда исследований, в том числе [1–3], показывают, что важнейшими составляющими механизма взаимодействия океана и атмосферной циркуляции являются потоки тепла на поверхности океана и распределение температуры поверхности океана (ТПО). Именно через потоки тепла происходит отдача накопленного океаном тепла в атмосферу. Максимальные аномалии атмосферной циркуляции в Северной Атлантике наблюдаются в годы развития северо-атлантического и восточно-атлантического колебаний (САК и ВАК), которые в значительной степени обусловлены циклонической активностью на акватории океана в районе исландского минимума [4]. Если изменчивость потоков тепла от поверхности океана в атмосферу взаимосвязана с циклонической активностью, можно предположить, что эта взаимосвязь наиболее ярко проявляется в годы развития колебаний САК и ВАК, и особенно в зимний сезон,

когда процессы взаимодействия между океаном и атмосферой наиболее выражены.

Анализ изменчивости индекса САК в зимний период года показывает, что нет ни одного преобладающего временного масштаба этой изменчивости [5]. Индекс САК может меняться как в течение одного сезона и даже одного месяца, а может сохраняться в течение нескольких зимних сезонов. Причина такой изменчивости связана с природой атмосферных процессов. Резкое изменение фазы САК происходит, как правило, при смене преобладающего режима атмосферной циркуляции [6].

В настоящей работе на основе анализа циклонической активности и потоков тепла от поверхности океана во внетропических широтах Северной Атлантики в отдельные выбранные зимние сезоны показано взаимодействие между океаном и атмосферной циркуляцией в годы развития северо-атлантического и восточно-атлантического колебаний.

Основная задача представленного анализа заключается в том, чтобы показать особенности пространственного распределения исследуемых параметров и их взаимосвязь в условиях сохранения и смены фазы колебаний в зимний сезон. Отбор зимних сезонов для анализа проводился на основе индексов колебаний NAO и EA, публикуемых на сайте Национального метеорологического центра США [ftp://ftp.cpc.ncep.noaa.gov/wd52dg/data/indices/tele_index.nh].

1. Данные и методы исследования

Основной показатель циклонической активности, используемый в данной работе, – это количество циклонов, которое рассчитывается для каждого календарного месяца по данным реанализа-2 Национального метеорологического центра США [7], с января 1979 г. по 2016 год. По данным атмосферного давления методом автоматической идентификации центров циклонов, описанным в [4], были рассчитаны координаты центров циклонов, глубина циклонов в каждый срок наблюдения и траектории их смещения. Для анализа отбирались циклоны с продолжительностью жизни более 12 часов.

Анализ изменчивости процесса теплоотдачи с поверхности океана проведён на основе ежемесячных данных потока тепла (явного плюс скрытого тепла) системы GODAS (Global Ocean Data Assimilation System), представленных в узлах сетки с разрешением в 1 градус вдоль параллели, и 1/3 градуса в направлении юг–север за период с 1980 по 2016 год. [8]. Среднемесячные значения аномалий потока тепла от поверхности океана рассчитывались относительно климатических значений за период 1981–2010 гг., представленных в используемом архиве. На основе ежемесячных значений исследуемых параметров (количества циклонов, средних значений и аномалий потока тепла от поверхности океана) в узлах сетки были рассчитаны их средние значения за каждый зимний сезон (с декабря по февраль) для всего периода исследования.

Для изучения особенностей пространственного распределения исследуемых параметров в годы развития САК и ВАК из всего периода наблюдений были отобраны зимние сезоны, отличившиеся как сохранением фазы колебания, так и сменой фазы в течение зимних месяцев.

Для анализа исследуемых параметров в условиях сохранения фазы колебания в течение зимних месяцев главным критерием выборки зимнего сезона было сохранение знака индекса соответствующего вида колебания в течение сезона, т. е. в течение трёх зимних месяцев, так как смена знака в течение сезона означает смену фазы колебания. При этом среднее значение индексов и NAO, и EA по абсолютной величине должно быть равным или превышать 0,7. Анализ индексов колебаний (NAO и EA) показывает, что трудно выделить зимние сезоны с преобладанием в течение трёх месяцев одного вида колебаний (его положительной или отрицательной фазы) и полным отсутствием, вернее, слабо выраженным, другого вида колебания. В основном наблюдаются ситуации совпадения фаз колебаний, их противоположного развития, а также ситуация сохранения фазы одного колебания в течение зимнего сезона на фоне смены фазы другого колебания. При смене фазы колебания среднее значение индекса за сезон может быть невысоким, а реальные ежемесячные значения больше 1 по абсолютной величине.

Исходя из вышесказанного и в целях уменьшения количества рисунков, далее будем рассматривать особенности пространственного распределения аномалий потоков тепла от поверхности океана и циклонической активности для отдельных зимних сезонов и только в ситуациях совпадения фаз колебаний, противоположного их развития и в условиях одновременной смены фазы колебаний в течение зимнего сезона.

Для сравнительного анализа ситуаций одновременного интенсивного развития фаз колебаний САК и ВАК из ряда наблюдений были отобраны зимний сезон 1984/85 – с отрицательными фазами колебаний и 1994/95 гг. – с положительными фазами колебаний. Средние значения индексов NAO и EA для выбранных зимних сезонов равны, соответственно, (-1,2 и -0,7) в первом случае и (+1,1 и +0,7) – во втором.

Для сравнения зимних сезонов с противоположными фазами были выбраны зимние месяцы 2009/10 и 2011/12 гг. Средние значения индексов NAO и EA равны, соответственно, -2,12 и +0,85 для зимнего сезона 2009/10 гг. и +1,05 и -1,13 – для 2011/12 гг.

Особый интерес представляет случай смены знака колебаний в зимний сезон. Для сравнительного анализа был отобран зимний сезон 1996/97 гг. с интенсивной отрицательной фазой и САК, и ВАК в декабре 1996 г. и интенсивной положительной фазой колебаний уже в феврале 1997 г. (значения индексов NAO и EA равны, соответственно, -1,48 и -1,52 в декабре и +1,48 и +1,06 в феврале). Для всех отобранных зимних сезонов построены карты их пространственного распределения.

2. Анализ результатов

При анализе потока тепла от поверхности океана и его аномалий следует иметь в виду, что положительным направлением потока считается направление из атмосферы к поверхности океана. Анализ среднесезонных значений потока тепла, осреднённых по широтным зонам Северной Атлантики, показывает (рисунок здесь не приводится), что во всех широтных зонах в летний сезон наблюдаются положительные значения потока, т.е. происходит накопление тепла океаном, в зимние сезоны – отрицательные

значения, т.е. поток тепла направлен из океана в атмосферу. Положительные аномалии означают ослабление потока тепла от океана в атмосферу в зимний сезон, отрицательные – наоборот, его усиление.

САК и ВАК интенсивны, фазы совпадают. На рис. 1 представлены карты пространственного распределения аномалий повторяемости циклонов и потоков тепла на поверхности океана, построенных для зимнего сезона 1984/85 гг. с отрицательной фазой колебаний САК и ВАК и 1994/95 гг. – с положительными фазами колебаний. Анализ карт показывает, что в зимний сезон 1984/85 гг. в поле аномалий потока тепла наблюдается значительное ослабление притока тепла от океана в атмосферу в северных приполярных и умеренных широтах океана с максимальными значениями аномалий в центральной части океана.

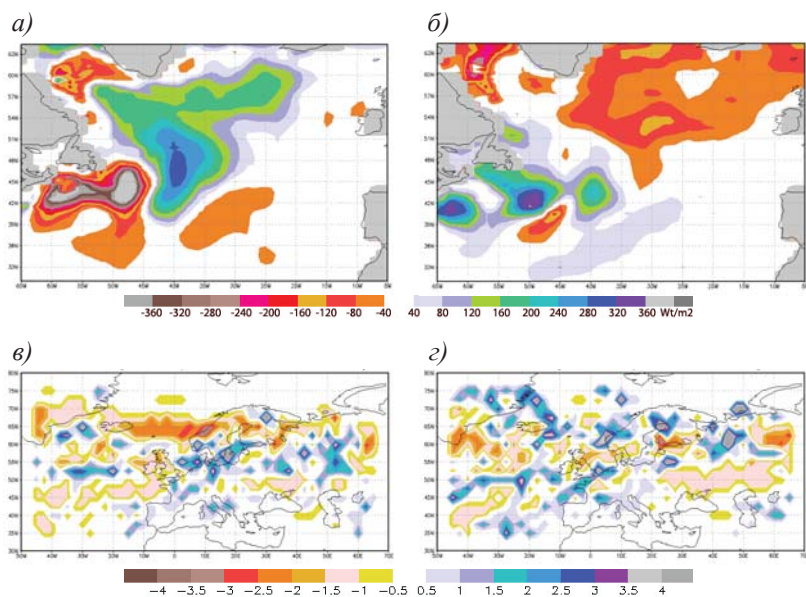


Рис. 1. Среднемесячные аномалии потока тепла от поверхности океана (а, б) и количества циклонов (в, г) для зимних сезонов 1984/85 гг. (а, в) и 1994/95 гг. (б, г), отличившихся одновременным развитием отрицательных (а, в) и положительных (б, г) фаз колебаний САК и ВАК

Усиление потока тепла наблюдается только в южных широтах западной акватории океана, в районе Ньюфаундленда. В зимний сезон 1994/95 гг. картина распределения аномалий потока тепла на акватории океана практически противоположная. На фоне интенсивного ослабления потока тепла от океана (рис. 1 в) в зимний сезон 1984/85 гг. наблюдается интенсивное ослабление циклонической активности в широкой полосе приполярных широт и в умеренных широтах акватории океана, в то же время в умеренных и южных широтах Европейского региона циклоническая активность достаточно высока. В зимний сезон 1994/95 гг., в отличие от зимнего сезона 1984/85 гг., в приполярных широтах Северной Атлантики, а также в умеренных широтах акватории океана наблюдается усиление циклонической деятельности, что проявляется в увеличении повторяемости циклонов (рис. 1 з).

САК и ВАК интенсивны, фазы развития противоположны.

На рис. 2 для сравнения представлены карты анализируемых параметров для зимнего сезона 2009/10 гг., отличившегося интенсивной отрицательной фазой САК и положительной фазой ВАК, и зимнего сезона 2011/12 гг. с интенсивной положительной фазой САК и отрицательной фазой ВАК.

Анализ показывает, что в зимние месяцы 2009/10 гг. в поле аномалий потока тепла (рис. 2 а) наблюдается ослабление притока тепла в приполярных широтах Северной Атлантики, с максимальными значениями аномалий в западной части океана, и его усиление в восточной части океана и южных широтах. Область усиления потока тепла от океана в атмосферу имеет чёткую направленность с юго-западной части океана на северо-восток.

На картах циклонической активности в приполярных широтах Атлантики и на севере Европейского региона наблюдается уменьшение количества циклонов, аномальное же их увеличение наблюдается в умеренных широтах (рис. 2 в) как на акватории океана, так и в Европе. Важно отметить, что область усиления циклонической активности направлена, так же как и область аномалий усиления потока тепла от океана в атмосферу, из юго-западной части океана на северо-восток. Анализ смещения

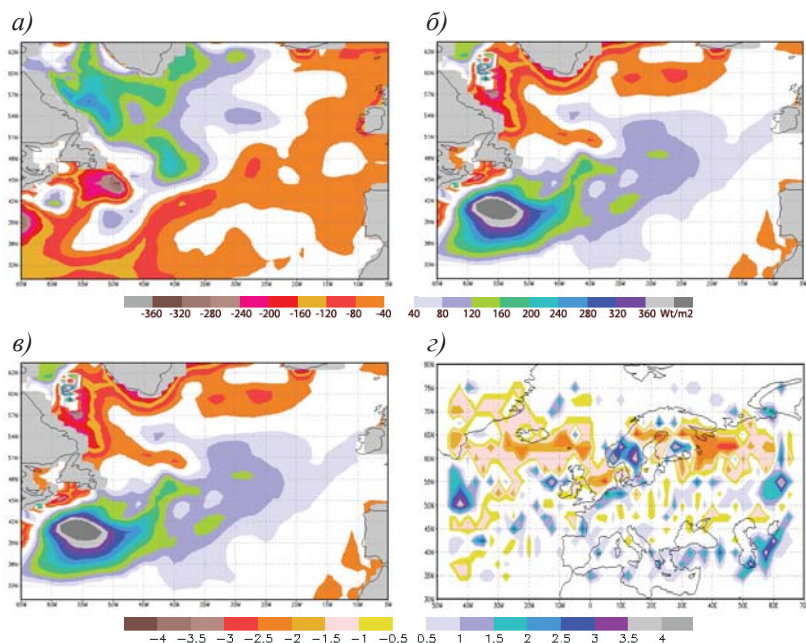


Рис. 2. Среднемесячные аномалии потока тепла от поверхности океана (а, б) и количества циклонов (в, г) для зимних сезонов 2009/10 гг. (а, в) и 2011/12 гг. (б, г), отличившихся развитием противоположных фаз колебаний САК и ВАК: 2009/10 гг. (САК отрицательная, ВАК – положительная фаза), 2011/12 гг. (САК – положительная, ВАК – отрицательная фаза).

циклонов в эти годы показывает прохождение траекторий именно в этом направлении.

Зимний сезон 2011/12 гг. отличился усилением потока тепла от океана в атмосферу в приполярных широтах Атлантики (рис. 2 б) и его ослаблением в южной и восточной части океана, максимальное ослабление наблюдалось в районе течения Гольф-стрим в юго-западной акватории океана. Увеличение количества циклонов в данный зимний сезон наблюдалось в приполярных широтах акватории Атлантики (рис. 2 г), т.е. в тех же широтах, что и максимальные потоки тепла от океана в атмосферу, в умеренных широтах Европейского региона и в восточной части океана можно отметить их уменьшение.

Смена фазы САК и ВАК в течение зимнего сезона. Самая интересная и самая интригующая ситуация – это смена фазы колебания в период зимнего сезона. Здесь в качестве примера рассмотрим случай зимнего сезона 1996/97 гг., который в декабре 1996 г. отличился интенсивной отрицательной фазой и САК, и ВАК, а в феврале 1997 г. – уже интенсивной положительной фазой колебаний. На рис. 3 приводятся карты исследуемых параметров для каждого из трёх месяцев выбранного сезона. В поле повторяемости циклонов в декабре (рис. 3б) наблюдается уменьшение их количества в зоне основного штормтрека над акваторией океана и северных широтах Европы, и увеличение – в западных районах океана и южных районах Европейского региона. В феврале (рис. 3в) циклоническая активность в умеренных и южных широтах в восточных районах океана ослабевает и усиливается в более северных широтах, в районе исландского минимума, районе усиления потока тепла от океана в атмосферу.

В поле аномалий потока тепла в декабре практически во всей полосе приполярных широт Атлантики, а также в южных широтах в западной части океана наблюдалось значительное ослабление притока тепла от океана в атмосферу (рис. 3а), усиление притока наблюдалось только в центральной части и в южных широтах восточной части океана. В январе картина пространственного распределения аномалий потока тепла меняется (рис. 3в), появляются области усиления потока тепла в приполярных и южных широтах в западной части океана, а в феврале (рис. 3д) в умеренных и приполярных широтах Северной Атлантики формируется обширная зона интенсивных аномалий потока тепла, свидетельствующих о значительном усилении притока тепла от океана в атмосферу в этом регионе океана.

Смена фазы колебаний САК и ВАК с отрицательной на положительную в течение зимнего сезона 1996/97 гг. наблюдалась на фоне значительной перестройки в поле аномалий потока тепла от поверхности океана в атмосферу.

Этой перестройке предшествовало усиление потока тепла в южных субтропических широтах в районе Гольфстрима.

Максимальное усиление потока тепла в умеренных и приполярных широтах океана в феврале может быть связано с

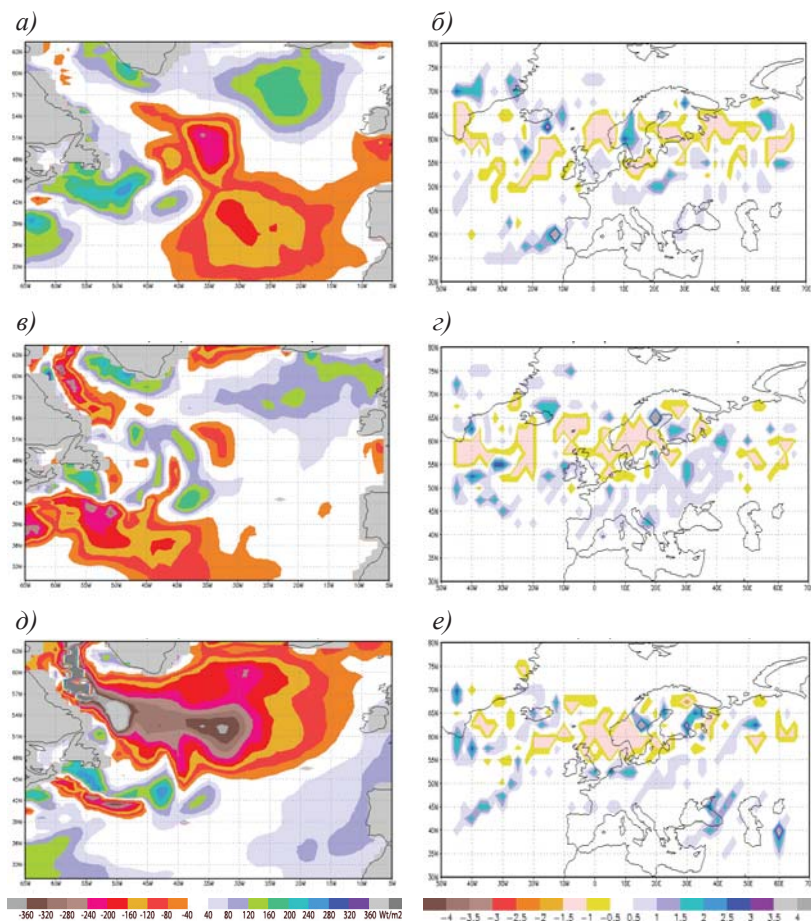


Рис. 3. Среднемесячные аномалии потока тепла от поверхности океана (а, в, д), и количества циклонов (б, г, е) в течение зимнего сезона 1996/97 гг., отличившегося сменой фаз САК и ВАК с отрицательной на положительную: в декабре (а, б), январе (в, г), феврале (д, е).

усилением циклонической активности, так как известно, что величина потока тепла от океана в атмосферу в значительной степени определяется и интенсивностью самой атмосферной циркуляции, а именно скоростью и направлением ветра.

Заключение

Рассмотренные примеры зимних сезонов с различной комбинацией северо-атлантического и восточно-атлантического колебаний показали, что пространственное распределение циклонической активности в Северной Атлантике взаимосвязано с пространственным распределением потоков тепла от поверхности океана в атмосферу.

Годы совпадения отрицательных фаз колебаний выделяются не только минимальным количеством циклонов в Северной Атлантике, но и, как видно на примере зимнего сезона 1984/85 гг., существенным ослаблением потоков тепла в умеренных и приполярных широтах океана.

В зимние сезоны с интенсивным развитием одного из видов колебаний усиление как циклонической активности, так и потоков тепла от океана наблюдается или в северных широтах Атлантики, в случае интенсивной положительной фазы САК, наблюдаемой в зимний сезон 2009/10 гг., или в умеренных широтах восточной части океана, при интенсивной положительной фазе ВАК в зимний сезон 2011/12 гг.

В годы совпадения положительных фаз колебаний максимальное усиление циклонической активности на акватории океана и в Европейском регионе сопровождается усилением притока тепла от океана в атмосферу в обширном регионе Северной Атлантики как в приполярных, так и умеренных широтах океана.

Смена фаз колебаний САК и ВАК с отрицательной на положительную в зимний сезон 1996/97 гг. сопровождалась перестройкой в поле потока тепла по всей акватории Северной Атлантики. Этой перестройке предшествовало усиление потока тепла в южных широтах в районе Гольфстрима.

Проведённый анализ позволяет предположить, что потоки тепла от поверхности океана не просто взаимосвязаны с циклонической активностью на акватории Северной Атлантики и Европы, но и являются важным тепловым фактором, способствующим увеличению количества циклонов и их интенсивности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Cayan D.R.* Latent and Sensible Heat Flux Anomalies over the Northern Oceans: The Connection to Monthly Atmospheric Circulation // *J.Climate*. 1992. Vol. 5. P. 354–369.
2. *Deser C., Blackmon M.L.* Surface Climate Variations over the North Atlantic Ocean during Winter: 1900–1989 // *J. Climate*. 1993. Vol. 6. P. 1743–1753.
3. *Zolina O., Gulev S.K.* Synoptic Variability of Ocean–Atmosphere Turbulent Fluxes Associated with Atmospheric Cyclones // *J. Climate*. 2003. Vol. 16. P. 2717–2734.
4. *Вязилова Н.А.* Циклоническая активность и колебания циркуляции в Северной Атлантике // *Метеорология и гидрология*. 2012. № 7. С. 5–14.
5. *Hurrell J.W., Visbeck M., Busalacchi A. et al.* Atlantic climate variability and predictability: a CLIVAR perspective // *J. Climate*. 2006. Vol. 19, N 24. P. 5100–5121.
6. *Palmer T.N.* Extended-range atmospheric prediction and the Lorenz model // *Bull. Amer. Meteorol. Soc.* 1993. Vol. 74, N 1. P. 49–65.
7. *Kanamitsu M., Ebisuzaki W., Woollen J., Yang S.K., Hnilo J.J., Fiorino M., Potter G.L.* NCEP-DOE AMIP-II Reanalysis (R-2) // *Bull. Amer. Meteorol. Soc.* 2002. Vol. 83. P. 1631–1643.
8. *Behringer, D.W., Xue Y.* Evaluation of the global ocean data assimilation system at NCEP: The Pacific Ocean. Eighth Symposium on Integrated Observing and Assimilation Systems for Atmosphere, Oceans, and Land Surface // *AMS 84th Annual Meeting, Washington State Convention and Trade Center, Seattle, Washington, 2004*. P. 11–15.

УДК 551.515(470+571)

ОСНОВНЫЕ ТЕНДЕНЦИИ ИЗМЕНЕНИЯ ЧАСТОТЫ ПОЯВЛЕНИЯ ОПАСНЫХ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЙ НА ТЕРРИТОРИИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

С. И. Шамин¹, А. Т. Санина²

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

На территории Российской Федерации из-за разнообразных природных условий наблюдается много опасных природных явлений погоды, которые характеризуют некоторую специфическую сторону погоды и климата, что, в свою очередь, сказывается на обеспечении устойчивого социального и экономического развития страны с учётом всех влияющих на неё факторов.

Весьма уязвимыми к погодным явлениям в Российской Федерации являются многие отрасли экономики и прежде всего сельское, водное и лесное хозяйства, что важно для учёта и ослабления того ущерба, который они наносят экономической и социальной деятельности человека.

В настоящей статье показываются основные тенденции изменения частоты появления опасных гидрометеорологических явлений за период 1991–2017 гг., которые нанесли существенный ущерб народному хозяйству, а также здоровью и благополучию населения страны.

Для анализа были использованы сведения об опасных гидрометеорологических явлениях погоды, состоящие из метеорологических, агрометеорологических и гидрологических данных, поступающие в ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД» из УГМС Росгидромета [1,2].

Согласно утверждённому Росгидрометом РД 52.04.563 (2013), **опасное гидрометеорологическое явление (ОЯ)** – явление, которое по интенсивности развития, включающее его качественные

и количественные характеристики, продолжительности или моменту возникновения представляет угрозу жизни и здоровью граждан, а также может нанести значительный материальный ущерб.

Также сведения содержат информацию и по комплексу **неблагоприятных явлений (КНЯ)**, т.е. явления по своим количественным значениям не достигают критериев опасного природного явления, но затрудняют или препятствуют деятельности отдельных отраслей экономики и могут нанести материальный ущерб.

ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД» выполняет работы по систематическому пополнению и поддержке базы сведений об опасных и неблагоприятных гидрометеорологических явлениях в соответствии с рекомендациями по сбору, ведению и хранению сведений об опасных природных явлениях [3].

Рассмотрим общее количество опасных гидрометеорологических явлений с учётом того, что КНЯ приравнивается к одному ОЯ, за период с 1991 по 2017 год. Можно отметить, что до 2000 года (т.е. до конца XX столетия) количество явлений, нанёсших ущерб, изменялось в пределах 123–268, однако далее уже в начале XXI века количество таких явлений наблюдалось более 400, а в некоторые годы – и более 500. Это хорошо демонстрирует график на рис. 1.

Для выяснения тенденций изменения частоты появления опасных и неблагоприятных гидрометеорологических явлений погоды проведены испытания ряда на линейный тренд. Линейный тренд (достоверность аппроксимации составляет 0,7817) хорошо демонстрирует положительную тенденцию – наблюдается рост частоты явлений по мере продолжения ряда наблюдений.

Это подтверждается и частичным рассмотрением последнего десятилетия с 2008 по 2017 г., которое для нас будет наиболее интересным, поскольку связано с более подробным и единым подходом к формированию сведений согласно рекомендациям [3]. Линейный тренд на этом десятилетии показывает увеличение всего на два ОЯ. Среднее количество явлений за это десятилетие составляет 455, и можно наблюдать существенные отклонения

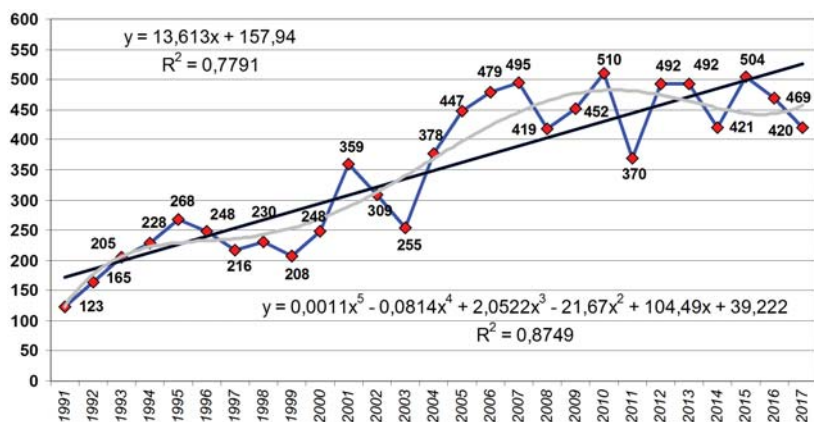


Рис. 1. Распределение суммарного количества ОЯ и КНЯ по годам за 1991–2017 годы, нанёсших материальный ущерб

от среднего в ту или иную сторону. Например, максимально в 2010 году наблюдалось 510 явлений, это больше на 55 от среднего значения, а в 2011 году – 370, это меньше на 85 от среднего. Синусоидальный тренд имеет более высокую достоверность – 0,8726.

Для лучшего понимания влияния опасных гидрометеорологических явлений, которые приводят к экономическому и социальному ущербу, необходимо оценить качественную сторону явлений: какие конкретно явления и в каком количестве были зафиксированы. Ниже приведена таблица, в которой по каждому году представлено количество случаев появления конкретного явления, нанёсшего ущерб.

Данные таблицы позволяют провести сравнительный анализ опасных явлений по характеру их принадлежности – метеорология, агрометеорология и гидрология. Чаще всего в среднем за весь период 1991–2017 гг. наблюдаются метеорологические явления – 249, далее гидрологические – 55 и агрометеорологические – 47. Если рассматривать данные последнего десятилетия, то по-прежнему преобладают метеорологические явления: среднее количество метеорологических – 312, агрометеорологических – 77, а гидрологических – 65.

Таблица

Количество ОЯ и КНЯ по годам и видам опасных явлений за 1991 – 2017 годы

Название явления	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Ветер, ураган, шквалы	35	30	57	59	76	72	61	65	67	72	93	49	68	74	74	65	106	75	64	96	58	84	91	81	97	63	86
Сильный дождь	2	10	17	15	8	12	20	6	9	19	17	29	18	24	30	31	42	26	50	33	40	56	53	32	37	55	40
Продолжительный дождь	1	1	1	6				3			3	1	1	1	1	2	1	1	2	1	1	2	1	1	1	6	4
Ливень	4	2	10	5	6	11	11	7	8	10	17	10	8	16	12	14	16	15	14	13	21	14	14	10	9	21	14
Сильный мокрый снег		2	5	3	5	1		4	1	3	4	3	2	2	4	2	3	1	5	2	2	1	2	1	2	1	3
Сильный снег	4	2	10	6	10	8	9	10	7	8	11	9	6	15	17	15	14	8	13	10	4	12	12	15	13	10	8
Сильный гололёд	2	2	1	6	6	9	2	1		4				1	5		3	2	9	2	2	5	3	2	3	2	2
Крупный град	4	10	6	8	14	4	7	7	13	24	30	13	16	20	24	29	35	23	24	21	16	26	26	27	22	20	22
Гроза							2	2	1						1												
Сильный туман	5	2				1				2	1			1	2	3	5		1		2	2		1		1	
Сильная метель	16	10	24	5	12	2	5	3	1	4	6	10	17	24	26	18	15	20	20	29	15	10	9	9	6	11	5
Пыльные бури		1		2	1	3		2	2	2	2	1	1			1		1									
Сильная жара	2		1		1	4		10	2	2				1	1	5	5	3		20	4			1	11	4	5
Сильный мороз	3	1	2	5	1	8	3	4	4	2	12	8	4	2	10	29	2	9	14	9	4	6		8		3	3
Чрезвычайная пожаро-опасность	5	4	1	9	18	12	5	15	7	5	15	6	8	7	19	22	21	32	32	25	27	22	13	19	23	18	13
Лавины	1	7	9	11	11	13	13	11	7	8	8	8	9	9	11	13	9	5	10	6	3	4	6	1	5	10	5
Смерчи	8	1	7	7	4	7	1	3	2	3	2	5	1	3	3	4	3	2		1	3		1	2	1	1	1
Нападение мокрого снега, сложные отложения	1		4	1	5	3	3	3	3	4	5	6	12	22	12	4	14	9	13	9	12	13	8	6	9	8	7
Резкое повышение температуры					3													1									
Резкое понижение температуры		1	2	3	2	3	7	2		7	1																
Аномально низкая температура																			19	17	5	16	4	2	6	11	8
КНЯ	11	20	6	7	21	15	8	9	13	15	23	29	25	68	52	77	80	63	52	74	39	61	62	54	82	70	63

Окончание табл.

Название явления	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Аномально высокая температура															1					5	1	2	1	2	6	5	1
Заморозки	2	17	6	16	19	20	4	5	18	26	20	21	10	17	15	18	27	36	18	17	9	17	19	22	15	27	31
Переувлажнение почвы	1					1		1			2		2	1	3	9	8	7	3	3	9	10	17	7	12	14	15
Суховей		1	1	2	2	1	1			4	2			1	2	6	7	14	8	16	7	23	18	17	16	8	12
Засуха атмосферная		1					1	1		1	6	5	2		8	6	4	3	5	9	6	12	8	6	6	7	6
Засуха почвенная	3	4		1	3	1		1	4	6	6	10	3	5	16	18	9	13	14	15	14	11	11	11	20	9	10
Вымерзание растений															1	4	1	2	5		1	6					
Выпревание растений														1	2	1	3	3	1	3	8	2	4	3	2	5	4
Ледяная корка															2		1		1	2			1	1		1	
Раннее образование снежного покрова				2		2		2	1	2	1			2	2	5	2	1	3	1	1	2	9	4	6	3	7
Половодье	4	12	18	16	6	9	18	20	17	2	23	28	12	15	17	12	12	5	4	11	6	30	31	16	49	30	10
Паводок	4	6	6	18	15	14	17	15	4	11	19	27	6	25	29	35	13	3	24	17	19	6	26	32	17	16	15
Низкая межень			4	2	2		1	4		4	3	6	17	9	15	5	4	20	8	9	9	17	7	10	10	16	8
Ранний ледостав									1																	1	
Сели	1	4	1		8	6	9	4	5	3	8	13	6	6	21	11	16	15	16	11	12	19	13	4	4	6	6
Затор	2	4		2	6	3	1	1	5	1	7	4		3	2	7	4	1	8	9	3	4	9	6	8	1	1
Закор															1		3		1	1							
Нагонные явления	2	2	1	7	1	2	1	2	2		2	1			4	1	1					1		1	1		
Стояные явления								1	1	1					2		1				1				1	2	
Оползни				1			1	2			1													1			

Для дальнейшего анализа было проведено объединение опасных явлений в группы по характеру воздействия их на природу с выделением КНЯ в отдельную группу:

1. **Ветер:** ветер, ураган, шквалы, смерчи, пыльные бури.
2. **Дождь:** сильный дождь, продолжительный дождь, ливень, крупный град, гроза.
3. **Снег:** сильный мокрый снег, сильный снег, сильный гололёд, сильная метель, налипание мокрого снега, сложные отложения, гололедица, ледяная корка, снежные заносы.
4. **Жара и Мороз:** сильная жара, сильный мороз, резкое повышение температуры, чрезвычайная пожароопасность, резкое понижение температуры, аномально низкая температура, аномально высокая температура, заморозки.
5. **КНЯ:** комплекс неблагоприятных явлений.
6. **Наводнения:** половодье, паводок, затор, зажор, нагонные явления.
7. **Агрометеорология:** переувлажнение почвы, засухей, засуха атмосферная, засуха почвенная, вымерзание растений, выпревание растений, раннее образование снежного покрова.

На рис. 2 представлен в процентном отношении вклад каждой из выделенных групп ОЯ (перечисленных выше) в суммарный ущерб экономике и населению отдельно по каждому году. По итогам последнего десятилетия наибольший вклад дают дождевая

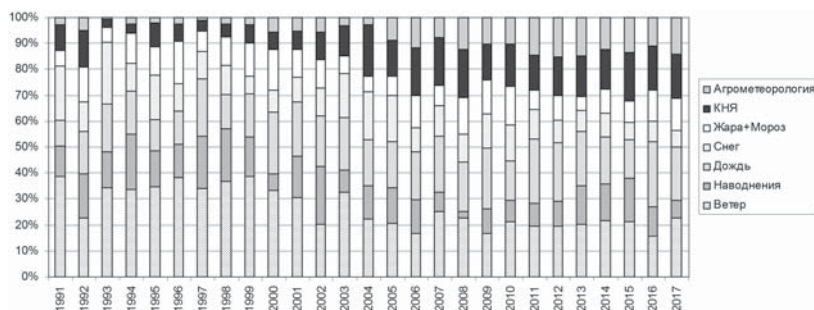


Рис. 2. Тенденция изменения частоты появления суммарного количества ОЯ и КНЯ по выбранным группам по годам (нормировка на 100 %) за 1991–2017 годы

группа – 19 %, ветровая группа – 19 %, группы Жара и Мороз и КНЯ – 13 %, а остальные группы – от 9 до 12 %.

Если анализировать последнее десятилетие, то хорошо видно, что увеличивается доля агрометеорологии.

Анализ линейных трендов каждой из групп, представленных выше, показал, что положительный тренд имеют почти все группы, кроме **Жара и Мороз** и **Снег**, тренд которых отрицательный. Анализ проведён на данных последнего десятилетия. Это хорошо видно на графиках рис. 3, где представлены по годам последнего десятилетия суммарные количества опасных явлений по группам **Жара и Мороз** и **Снег** с испытанием на линейный тренд.

При анализе нанесённого ущерба очень важно иметь его оценку для конкретной отрасли народного хозяйства и населения. При формировании сведений данных о ОЯ и КНЯ строго отслеживался ущерб по 19 отраслям, а также фиксировался отдельно ущерб жизни и здоровью людей.

Наиболее значимые для экономики страны отрасли, такие как автотранспорт, жилищно-коммунальное хозяйство, сельское хозяйство, электроэнергетика и население особенно уязвимы от последствий появления опасных гидрометеорологических

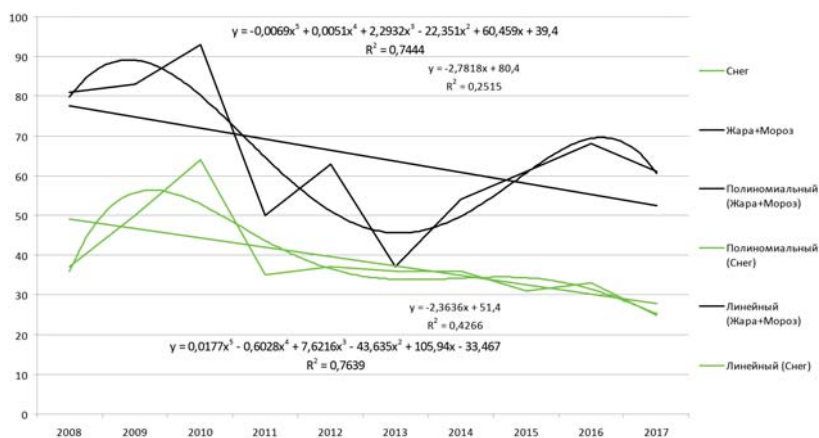


Рис. 3. Тенденция изменения частоты появления суммарного количества ОЯ и КНЯ по годам за последнее десятилетие для групп **Жара и Мороз** и **Снег**

явлений. На рис. 4 показана тенденция изменения суммарного количества опасных гидрометеорологических явлений по годам для выбранных отраслей. Анализ данных по отраслям показывает увеличение частоты появления опасных гидрометеорологических явлений погоды, наносящих ущерб выбранным отраслям. Особенно следует отметить положительный тренд для ЖКХ.

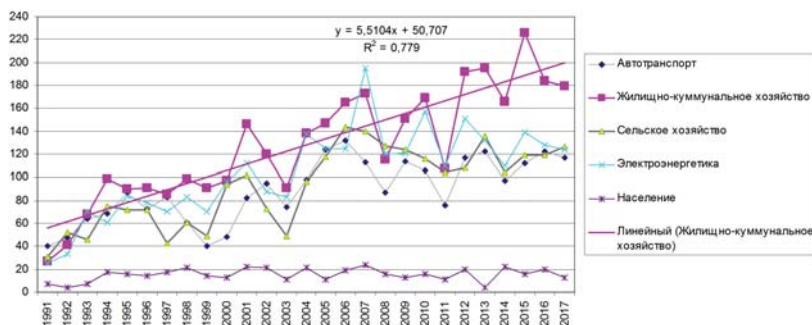


Рис. 4. Тенденция изменения суммарного количества ОЯ и КНЯ, нанесших ущерб отдельным отраслям экономики за 1991–2017 годы

Для наглядности приведены данные МЧС России по потерям народонаселения за 2016 и 2017 годы. В 2017 году наблюдалось 42 опасных явления, приведших к гибели 33 человек, пострадало 33 964 человека; в 2016 году – 54 опасных явления, при этом погибло 3 человека и пострадало 126 465 человек. [4].

Заключение

Проведённое исследование позволяет оценить количественную и качественную стороны произошедших опасных природных явлений. В среднем количество опасных природных явлений, нанесших экономический и социальный ущерб, от года к году имеют тенденцию к росту.

Результаты анализа свидетельствуют, что и **КНЯ** необходимо рассматривать как фактор, влияющий на нанесение материального ущерба наравне с группами **Ветер**, **Дождь**.

В последние годы увеличение частоты ОЯ и КНЯ особенно влияет на ЖКХ и сельское хозяйство.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *РД 52.88.699–2008*. Положение о порядке действий учреждений и организаций при угрозе возникновения и возникновении опасных природных явлений.
2. *РД 52.04.563–2013*. Инструкция по подготовке и передаче штормовых сообщений наблюдательными подразделениями.
3. «*Рекомендации по сбору, ведению и хранению сведений об опасных природных явлениях*», утвержденные 4 мая 2009 года Руководителем Росгидромета А. И. Бедрицким.
4. *Государственный доклад «О состоянии защиты населения и территорий Российской Федерации от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера в 2017 году»*.

УДК 551.583

КЛИМАТИЧЕСКИЕ ИЗМЕНЕНИЯ В ТЕРМИЧЕСКОМ РЕЖИМЕ ПРИБРЕЖНЫХ РАЙОНОВ АРКТИЧЕСКИХ МОРЕЙ В ПОСЛЕДНИЕ ДЕСЯТИЛЕТИЯ

А. А. Воронцов

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

В последние десятилетия происходит глобальное потепление климата на Земле, что подтверждено мировым научным сообществом. При этом показатели этого потепления пространственно неоднородны. Наиболее значимы характеристики глобального потепления в Арктическом регионе [2, 8, 9].

Цель настоящей работы – на основе накопленных данных наблюдений (свыше сорока лет) уточнение количественных характеристик термических условий в прибрежных районах Российской Арктики там, где влияние тёплого атлантического течения оказывает наименьшее влияние (арктические моря без Баренцева моря).

Для анализа изменений термических условий использовались проконтролированные данные наблюдений за температурой воздуха и воды на ряде прибрежных станций (ГМС) в Карском, Лаптевых, Восточно-Сибирском и Чукотском морях за период 1977–2016 гг. (табл. 1).

Т а б л и ц а 1

Арктические ГМС с данными наблюдений за период 1977–2016 гг.

Код ГМС	Наименование ГМС	Широта (с.ш.)	Долгота (в.д.)
<i>Карское море</i>			
89017	им. Е. К. Федорова	70°24'	59°06'
89024	о. Визе	79°30'	77°00'
89041	м. Стерлегова	75°24'	88°54'
89044	о. Диксон (бухта)	73°30'	80°24'
<i>Море Лаптевых</i>			
90005	о. Дунай	73°54'	124°30'
<i>Восточно-Сибирское море</i>			
91013	Валькарай	70°06'	170°48'
<i>Чукотское море</i>			
92009	м. Ванкарем	67°48'	175°48'

Данные этих станций имеют незначительные пропуски в наблюдениях и могут служить характерными для данных арктических ГМС по протяжённой прибрежной зоне арктических морей.

На вышеперечисленных станциях по данным срочных наблюдений были рассчитаны [1] среднегодовое, месячные средние и экстремальные характеристики температуры воздуха (табл. 2) и температуры воды (табл. 3).

Таблица 2

**Средние и экстремальные температуры воздуха, °С,
за многолетний период**

Месяц	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
<i>ГМС им. Е.К. Федорова</i>												
Среднее	-16,7	-17,9	-14,9	-11,5	-4,3	1,2	5,4	5,7	4	-0,4	-6,2	-11,6
Максимум	0,8	1,6	3,7	3,5	8,9	22,2	25,5	21,7	17,5	8,3	3,9	1,5
Минимум	-37,1	-38,2	-34,2	-30,1	-27,7	-10,4	-3	-2,5	-5,6	-15	-26,6	-35,2
<i>ГМС Мыс Стерлегова</i>												
Среднее	-28,2	-28,4	-26,6	-20,2	-9,4	-0,3	3,5	3,1	-0,6	-10,9	-21,2	-26
Максимум	-0,8	-1,4	-1,2	2,4	3,4	18	25	20,6	11,1	3,4	-1,2	-2,0
Минимум	-49,1	-47,6	-47,9	-44,8	-27,5	-15,1	-4,7	-9,2	-21,7	-31,2	-43,1	-48,6
<i>ГМС о. Диксон (бухта)</i>												
Среднее	-24,8	-24	-22,5	-16,1	-7	0,9	6	5,8	2	-7,5	-17	-22,5
Максимум	-0,4	-0,9	-1,4	1,3	4,7	17,3	22	21,1	11,8	2,8	-0,1	-1,8
Минимум	-43,4	-45,2	-43,5	-33,8	-23,4	-9,8	-2	-2,1	-10,4	-27,8	-35,8	-43,7
<i>ГМС о. Визе</i>												
Среднее	-25,7	-26,1	-24,9	-19,8	-9,1	-1,5	0,6	0	-2,7	-10,7	-19,2	-23
Максимум	-1,3	-0,4	-0,1	0,8	1,4	4,6	8,2	7,7	3,8	1,4	0,9	-0,1
Минимум	-44,5	-43,6	-44	-42,4	-25,7	-11,7	-5,1	-10,5	-21,3	-37,7	-41	-43,4
<i>ГМС о. Дунай</i>												
Среднее	-31,3	-31,9	-28,4	-20	-8	0	3,8	4,7	0,4	-10,3	-23	-29
Максимум	-10,3	-11	-1,7	1,8	2,7	20,3	25,4	25,3	14,4	2,2	-2,5	-7,4
Минимум	-48	-49,4	-45,7	-37	-31,9	-11,6	-2,4	-3,2	-13,4	-30,4	-40,4	-45,9
<i>ГМС мыс Валькарей</i>												
Среднее	-26,5	-28	-24,9	-17,6	-5,6	1,9	3,7	3,5	0,3	-8,3	-17,8	-24,1
Максимум	-6,4	-5,7	-2,8	0,4	6,5	17,8	22,1	18	9,9	2,4	0,8	-3,4
Минимум	-39,4	-42,1	-38,4	-30,8	-17,5	-4,6	-1,4	-2,7	-7,6	-23,6	-32,6	-38,4
<i>ГМС мыс Ванкарем</i>												
Среднее	-24,4	-25	-24,3	-17	-5,5	2,2	6,3	4,9	1,6	-5,1	-13,4	-21,8
Максимум	-0,1	0,4	1,7	2,8	10,7	21,8	26,3	21,7	15,9	4,6	1,8	2,8
Минимум	-44,2	-46,3	-43,5	-38,3	-25,7	-7,6	-3,5	-2,8	-10,7	-27,2	-35,2	-40,9

Т а б л и ц а 3

**Средние и экстремальные температуры воды, °С,
за многолетний период**

Месяц	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
<i>ГМС им. Е.К. Федорова</i>												
Среднее	-1,7	-1,8	-1,8	-1,7	-1,5	0	3,1	4,6	4,2	2,3	-0,4	-1,5
Максимум	0,6	-1,4	-1,1	-1,3	0,1	8,4	12,5	13,2	9,2	7,3	4,3	1,1
Минимум	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,8	-1,8	-1,6	-1,4	-1,4	-1,7	-1,9	-1,9
<i>ГМС о. Визе</i>												
Среднее	-1,9	-1,8	-1,8	-1,8	-1,7	-1,5	-0,5	-0,2	-0,9	-1,5	-1,7	-1,8
Максимум	-1,7	-1,7	-1,8	-1,8	-1,5	-0,3	4,8	5,2	3,8	1,4	-0,5	-1,5
Минимум	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9
<i>ГМС о. Диксон (бухта)</i>												
Среднее	-0,9	-1,1	-0,9	-0,8	-0,3	-0,1	3,1	6,5	3,8	-0,2	-0,9	-1
Максимум	-0,8	-0,9	-0,8	-0,4	-0,2	0,9	9,8	11,5	7,2	1,7	-0,5	-0,8
Минимум	-1	-1,2	-1	-1,2	-0,5	-0,4	-0,1	0,2	-0,7	-1,4	-1,3	-1,2
<i>ГМС мыс Стерлегова</i>												
Среднее	-1,4	-1,5	-1,6	-1,5	-1,4	-0,8	0,4	1,3	0,6	-1	-1,4	-1,4
Максимум	0,6	-0,9	-1	-1,1	-0,8	7,9	11	10,1	8,9	4,3	-0,6	-0,7
Минимум	-1,8	-1,8	-1,8	-1,7	-1,7	-1,7	-1,5	-1,6	-1,9	-1,9	-1,9	-1,8
<i>ГМС о. Дунай</i>												
Среднее	-1,6	-1,5	-1,5	-1,6	-1,5	-1	0,8	4,2	1,6	-1	-1,3	-1,4
Максимум	-1,2	-1,3	-1,3	-1,4	-1,1	0	5,5	11,2	5,3	-0,2	-1,1	-1,2
Минимум	-1,8	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,6	-0,7	-0,3	-1	-1,6	-1,7	-1,6
<i>ГМС мыс Валькарай</i>												
Среднее	-1,5	-1,6	-1,5	-1,5	-1,4	-0,4	1	2	0,7	-0,9	-1,5	-1,5
Максимум	0,8	-1,3	-1,4	-1,2	-0,1	7,2	13,9	12,7	11,1	5,9	-0,5	-1,2
Минимум	-1,9	-1,9	-1,9	-1,8	-1,8	-1,8	-1,4	-1,6	-1,6	-1,9	-1,9	-1,9
<i>ГМС мыс Ванкарем</i>												
Среднее	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,5	-0,3	2,3	2,2	1,4	-0,4	-1,5	-1,6
Максимум	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	0,5	9	14,3	10,3	7	4	0,7	-0,4
Минимум	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,8	-1,8	-1,2	-1,5	-1,6	-1,8	-1,8	-1,9

В целом термический режим выбранного района Арктики весьма неоднороден. Так, для станций Карского моря средняя годовая температура воздуха за исследуемый период изменялась от -5,6 °С на ГМС им. Е.К. Федорова до -13,8 °С на ГМС о. Диксон (бухта), а средняя годовая температура воды за этот же период изменялась от -1,4 °С на ГМС о. Визе до 0,6 °С на ГМС о. Диксон (бухта).

Зимой характер поля температур над Карским морем от месяца к месяцу меняется незначительно [3]. Средняя многолетняя месячная температура воздуха в январе в юго-западной части Карского моря составляет $-16,7^{\circ}\text{C}$, а в северо-восточной части она опускается до $-28,2^{\circ}\text{C}$. В феврале-марте наблюдаются небольшие понижения температуры до $-17,9^{\circ}\text{C}$ и $-28,4^{\circ}\text{C}$ соответственно. С апреля-мая начинается интенсивное повышение температуры воздуха. В июле-августе температура воздуха на акватории Карского моря практически везде положительная, в юго-западной части моря летом она составляет $5,4^{\circ}\text{C}$, а в северо-восточной части – $3,5^{\circ}\text{C}$.

Период с положительной температурой воздуха в Карском море составляет 2–3 месяца, а с отрицательной – 9–10 месяцев.

В море Лаптевых (ГМС о. Дунай) средняя годовая температура воздуха за исследуемый период была $-14,4^{\circ}\text{C}$, а средняя годовая температура воды – $-0,5^{\circ}\text{C}$.

В целом температурный режим моря Лаптевых континентален и характеризуется ослабленным воздействием центров действия атмосферы исландского и алеутского минимумов и доминирующим влиянием сибирского антициклона зимой [4]. В результате фактически наблюдаются рекордные колебания температуры воздуха в море Лаптевых, достигающие до 40°C .

Зимой возможны температуры воздуха до -50°C , а летом, когда материк сильно прогревается, температуры воздуха могут достигать 25°C .

Средняя многолетняя температура воды в самый жаркий месяц составляет $4,2^{\circ}\text{C}$, при этом максимальные значения могут достигать 11°C .

Для Восточно-Сибирского моря (ГМС мыс Валькарай) средняя годовая температура воздуха составила $-11,1^{\circ}\text{C}$, а средняя годовая температура воды – $-0,7^{\circ}\text{C}$.

Размах или разность экстремальных температур воздуха над акваторией Восточно-Сибирского моря резко меняется от сезона к сезону [5]. Зимой размах доходит до 45°C , а летом размах температур воздуха доходит до 25°C . Температурный размах летом для температуры воды составляет порядка 15°C . Хотя, следует отметить, что положительные температуры воды наблюдаются

в среднем только в течение трёх месяцев (июль–сентябрь), в остальное время года наблюдаются отрицательные температуры.

В Чукотском море (ГМС мыс Ванкарем) средняя многолетняя годовая температура воздуха составила $10,1^{\circ}\text{C}$, а средняя многолетняя годовая температура воды – $-0,5^{\circ}\text{C}$.

Для этого моря характерна зимняя адвекция относительно теплых тихоокеанских циклонов, летом в Чукотском море идёт интенсивное таяние полярных льдов [6].

Положительные значения температуры воздуха в среднем наблюдаются в июне–сентябре, в остальное время года наблюдаются отрицательные температуры воздуха.

Для температуры воды в Чукотском море положительные значения в среднем наблюдаются только три месяца в году (июль–сентябрь), в остальное время года наблюдаются отрицательные температуры.

Изменчивость средних температур воздуха на станциях зимой колеблется в пределах от -20 до -30°C , за исключением самой западной из выбранных станций – ГМС им. Федорова. Изменчивость средних температур воздуха летом на станциях зафиксирована в пределах от 0 до 6°C .

Зима (холодное время года) в исследуемом районе на основе анализа годового хода (для примера годового хода на рис. 1

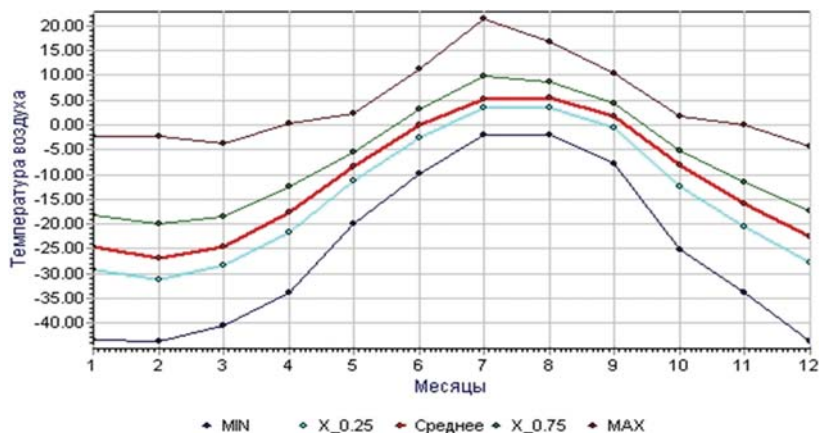


Рис. 1. Годовой ход температуры воздуха на ГМС о. Диксон (бухта) за многолетний период

показан график годового хода статистик температур воздуха на одной из арктических ГМС о. Диксон (бухта) была принята как временной интервал с ноября по май, а лето (тёплое время года) приходится на период с июня по октябрь.

Естественно, эти периоды достаточно условны, но характерны для арктического побережья.

Одной из показательных характеристик временной изменчивости термического режима морских акваторий могут служить температурные аномалии.

При рассмотрении изменения среднегодовых величин аномалий видно, что, как правило, наблюдаются чередования тёплых и холодных периодов в рядах наблюдений. При этом продолжительность холодного или теплого периода варьируется от 2 до 7 лет на арктическом побережье. Рис. 2 иллюстрирует это положение. Поскольку графики изменчивости для выбранных станций однотипны, то показан график изменчивости только для одной – ГМС им. Е. К. Федорова.

Для анализа тенденций развития термического режима арктических морей использовались оценки временных трендов

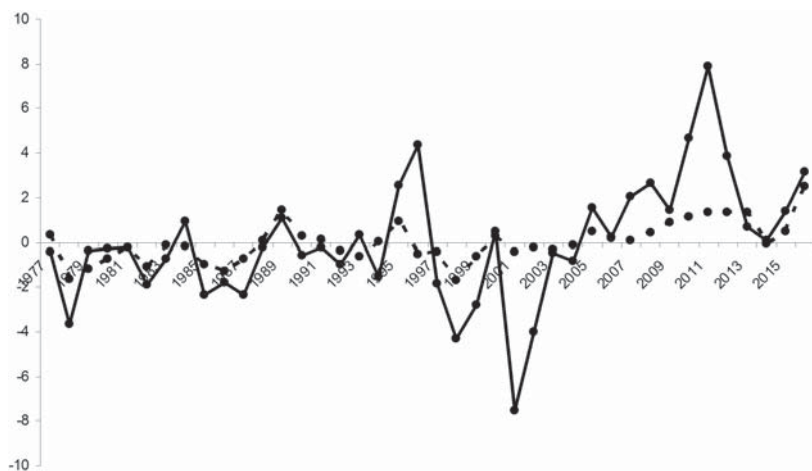


Рис. 2. Временная изменчивость аномалий температур на ГМС Федорова за многолетний период.
Ta – сплошная линия, Tw – пунктир

как устойчивое (за выбранный период) изменение температуры воздуха и воды во времени.

По выбранным станциям (табл. 1) оценивались линейные тренды [7] для временных рядов, включающих среднегодовые значения температур воздуха (T_a) и воды (T_w), а также их аномалий.

На основании проведённых расчётов можно сказать, что на всех выбранных станциях отмечаются положительные тренды, которые отражают возрастание температуры воздуха и воды в прибрежной зоне арктических морей за исследуемый период.

Так, для температуры воздуха среднегодовой коэффициент линейного тренда для станций арктического побережья составил от 0,4 до 1,1 °C/10 лет. В тёплое время года эта характеристика менялась от 0,5 до 1,0 °C/10 лет. Эта же характеристика для температуры воды (только в тёплый период) составила для арктических ГМС 0,5–0,8 °C/10 лет. Тем самым можно констатировать, что за последние 40 лет повышение температуры воздуха в Арктике доходило до 4,4 °C, а температуры воды в прибрежных районах – до 3,2 °C.

На фоне этого повышения температур отмечается и соответствующее сокращение площади ледяного покрова за последние десятилетия [8] и смещение границы распространения льда на север [9].

В конечном итоге следует признать факт положительного тренда в многолетних колебаниях температуры воздуха и воды на сети станций Арктического региона.

Однако однозначно принять версию глобального потепления было бы несколько поспешно, поскольку для глобальных оценок нужен более длительный период для анализа данных. Кстати, весьма высока вероятность того, что климатические изменения в Арктике могут иметь и некоторый циклический характер. Для более точных выводов, полученных по натурным данным, на наш взгляд, необходимо максимально пополнить временные ряды наблюдений за гидрометеорологическими параметрами за счёт архивных материалов и по столетним рядам выполнить всесторонний научный анализ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Воронцов А. А.* Обработка гидрометеорологической информации в Единой информационной системе обстановки в Мировом океане для получения стандартной выходной продукции // Новые информационные технологии: сборник трудов VII Всероссийской научно-технической конференции, Москва, 26 апреля 2005 г. М.: МГАПИ, 2005. С. 27–32.
2. *Второй* оценочный доклад Росгидромета об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации / Науч. рук. В. М. Катцов, С. М. Семенов. М.: Росгидромет, 2014. 1005 с.
3. *Гидрометеорологические условия шельфовой зоны морей СССР.* Т. 7. Карское море. Л.: Гидрометеиздат, 1986. С. 6–97.
4. *Гидрометеорологические условия шельфовой зоны морей СССР.* Т. 11. Море Лаптевых. Л.: Гидрометеиздат, 1986. С. 98–163.
5. *Гидрометеорологические условия шельфовой зоны морей СССР.* Т. 12. Восточно-Сибирское море. Л.: Гидрометеиздат, 1986. С. 164–221.
6. *Гидрометеорологические условия шельфовой зоны морей СССР.* Т. 13. Чукотское море. Л.: Гидрометеиздат, 1986. С. 222–277.
7. *Ростов И. Д., Дмитриева Е. В., Воронцов А. А.* Тенденции климатических изменений термических условий прибрежных районов Охотского моря за последние десятилетия // Изв. ТИНРО. 2017. Т. 191. С. 176–195.
8. *Цатуров Ю. С., Клепиков А. В.* Современное изменение климата Арктики: результаты нового оценочного доклада Арктического совета // Арктика: экология и экономика. 2012. № 4 (8). С. 76–81.
9. *ArcticReportCard* 2017. 2018 [ftp://ftp.oar.noaa.gov/arctic/documents / ArcticReportCard_full_report2017.pdf](ftp://ftp.oar.noaa.gov/arctic/documents/ArcticReportCard_full_report2017.pdf).

УДК 551.587

ДЕМОНСТРАЦИОННЫЙ ПАКЕТ СПРАВОЧНЫХ АЭРОКЛИМАТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК НА САЙТЕ ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД»

*Л. Ф. Козлова¹, А. С. Лавров², Т. В. Руденкова³,
А. А. Тимофеев⁴, А. В. Хохлова⁵*

*ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский институт
гидрометеорологической информации – Мировой центр данных»,
¹ kozlovalida@meteo.ru, ² floricid@yandex.ru, ³ lae@meteo.ru,
⁴ arseni@developitbest.com, ⁵ anna_x@meteo.ru*

Введение

В состав аэроклиматических справочников входит достаточно большое количество различных характеристик. Последний полный аэроклиматический справочник по данным российских станций был создан почти 40 лет назад – в 1979–1981 годах [8] – на основе данных за период 1961–1970 гг. За прошедшее с тех пор время регулярно возникает потребность в аэроклиматических данных по более современным наблюдениям. Потребителю нужны аэроклиматические характеристики за более длинные ряды наблюдений – 30-летний период, рекомендованный ВМО, или с учётом последних лет. В свободной атмосфере это статистические характеристики метеопараметров на стандартных изобарических поверхностях или на стандартных геометрических высотах, свойства тропопаузы, изотерм, сдвигов ветра, струйных течений. В пограничном слое атмосферы это приземные и приподнятые инверсии, скорость ветра в приземном слое, категории устойчивости атмосферы, высота слоя перемешивания и другие характеристики.

Поскольку работы по созданию аэроклиматического справочника в полном объёме в настоящее время не предполагаются, в ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД» разработан комплекс методик и программных средств, позволяющий получать прикладную аэроклиматическую продукцию, востребованную в различных отраслях, и определять основные аэроклиматические характеристики для отдельных

станций. Расчёт аэроклиматических характеристик производится на основе накопленных к настоящему времени архивов многолетних глобальных аэрологических наблюдений и может быть выполнен для любой станции, данные которой содержатся в архиве.

В настоящей работе рассмотрены примеры аэроклиматических характеристик, включённых в демонстрационный аэроклиматический пакет для нескольких российских аэрологических станций. Полный пакет аэроклиматических характеристик даже для одной станции имеет значительный объём, поэтому в статье представлены только отдельные примеры.

1. Базовые аэрологические массивы Госфонда (массивы АЭРОСТАВ и АЭРОСТАС)

Аэроклиматические характеристики определяются на основе создаваемых архивов радиозондовых данных. Создание российского архива аэрологических данных началось в 50-е годы прошлого столетия. Первоначально техническим носителем были перфокарты. Технология формирования развивалась вместе с развитием вычислительной техники и информационных технологий. Начиная с июня 1978 г. создание и пополнение глобального массива срочных радиозондовых наблюдений (массив АЭРОСТАВ) стало проводиться на основе телеграмм, поступающих по каналам связи в Среднеазиатском региональном вычислительном центре (САРВЦ, г. Ташкент).

В 1992 г. система сбора текущей аэрологической информации с каналов связи начала функционировать во ВНИИГМИ-МЦД на основе ЭВМ серии ЕС. Начиная с 1995 г. система сбора, обработки и архивации аэрологической информации, функционирующая во ВНИИГМИ-МЦД, была переведена на ПЭВМ. С 1993 г. создание и пополнение глобального массива срочных радиозондовых наблюдений стало проводиться по разработанному во ВНИИГМИ-МЦД формату АЭРОСТАВ. До 2011 г. массив имел бинарный формат. Массивы, полученные в САРВЦ с каналов связи за период 06.1978–02.1993 гг. с данными текущих аэрологических наблюдений [4], были переведены в бинарный формат массива АЭРОСТАВ.

В 2010 г. в связи с переходом на новую технологию архивации данных, поступающих по каналам связи, был разработан новый формат массива [10]. Формат является символьным и включает в себя ряд новых элементов, отражающих метаданные станций. Символьный формат является более удобным для восприятия и обработки. Начиная с 2011 г. архивация аэрологических данных ведётся в этом формате и массив называется АЭРОСТАС.

Параллельно с созданием массива развивались и совершенствовались методы и технологии контроля качества аэрологической информации [1]. В процессе создания архивного файла аэрологические данные проходят процедуру комплексного контроля качества, включая гидростатический, горизонтальный и вертикальный контроль качества. После прохождения контроля качества каждому метеоэлементу массива присваивается признак качества.

К настоящему времени общий объём массива составляет около 30 Гб, ежемесячно поступают данные примерно с 900 аэрологических станций. Данные 12 российских станций, входящих в глобальную систему наблюдений за климатом (ГСНК), и аэроклиматические характеристики по этим станциям представлены в открытом доступе на сайте ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД» (<http://meteo.ru/data/167-radiosonde-observations>).

Массив сопровождается каталогом метаданных, в котором отражены индексы станций, географические координаты и высота над уровнем моря, а также количество зондирований на станциях за каждый месяц каждого года, имеющееся в базовом массиве. В каталоге имеются функции поиска по заданному индексу или названию станции и по географическим координатам.

2. Состав справочных аэроклиматических характеристик

В состав аэроклиматических характеристик входит большое число различных параметров, характеризующих как свободную атмосферу, так и пограничный слой. Так, аэроклиматический справочник 1979–1981 гг. состоит из 11 томов, в которых приведены сведения по 146 станциям бывшего СССР.

Демонстрационная версия аэроклиматического справочника, выставленная на сайте ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД», включает данные

по трём российским станциям: Москва (Долгопрудный), Мурманск и Барнаул. Выбор станций обусловлен различным географическим положением станций и наличием качественных измерений. Расчёты проведены за десятилетний период с 2008 по 2017 год.

В состав представленной аэроклиматической продукции входят следующие величины:

- статистические характеристики метеоэлементов (геопотенциальная высота, температура воздуха, влажность относительная и удельная, скорость ветра и компоненты скорости ветра, направление и скорость результирующего вектора ветра) на стандартных изобарических поверхностях;
- статистические характеристики метеоэлементов (давление, температура воздуха, влажность относительная и удельная, скорость ветра и компоненты скорости ветра, направление и скорость результирующего вектора ветра, плотность воздуха) на стандартных геометрических высотах;
- статистические характеристики метеоэлементов (давление, температура воздуха, влажность относительная и удельная, скорость ветра и компоненты скорости ветра, направление и скорость результирующего вектора ветра) на уровне земли;
- характеристики тропопаузы и изотерм;
- характеристики приземных и приподнятых инверсий;
- характеристики скорости ветра в приземном слое;
- характеристики устойчивости атмосферы и высота слоя перемешивания.

В число статистических характеристик метеоэлементов входят среднее значение, среднеквадратическое отклонение, 25 и 75 % квантили, минимальное и максимальное значение, коэффициенты асимметрии и эксцесса.

3. Свободная атмосфера

3.1. Статистические характеристики метеопараметров на стандартных изобарических поверхностях

Статистические характеристики метеоэлементов рассчитываются на стандартных изобарических поверхностях: 1000, 925, 850, 700, 500, 400, 300, 250, 200, 150, 100, 70, 50, 30, 20, 10 гПа

и на уровне земли. Расчёты производятся с применением статистического пакета SAS в несколько этапов:

- ввод данных;
- выборка достоверных результатов наблюдений на основе имеющихся флагов качества;
- формирование расчётных характеристик (компоненты скорости ветра, относительная и удельная влажность, плотность воздуха);
- расчёт статистик;
- вывод результатов в таблицы и графики.

На сайте ВНИИГМИ-МЦД статистические характеристики метеозлементов представлены в виде таблиц и графиков. Примеры графиков можно видеть на рис. 1 и 2, где даны вертикальные профили средних значений, медианных, минимальных и максимальных значений температуры и скорости ветра за два много-летних месяца (январь и июль) по станции Москва.

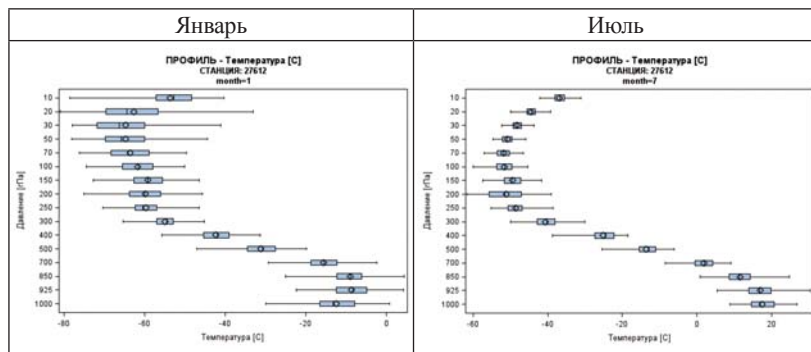


Рис. 1. Вертикальный профиль статистических характеристик температуры на стандартных изобарических поверхностях на станции Москва за январь и июль.

Обозначения: границы прямоугольника – квартили 25 и 75 %, границы «усов» – максимальное и минимальное значение, полоса, разделяющая прямоугольник, – медиана, ромб внутри прямоугольника – среднее значение.

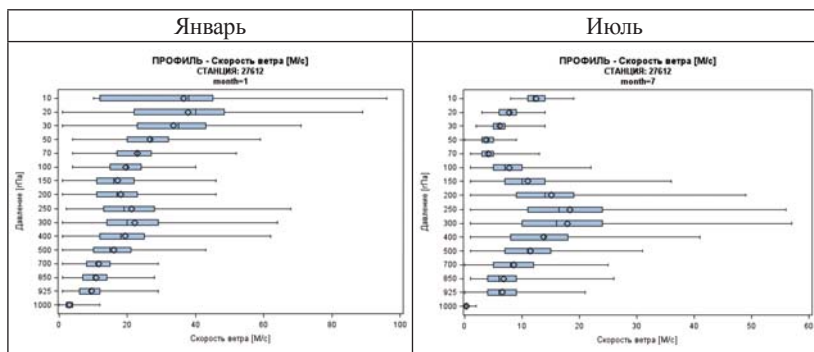


Рис. 2. Вертикальный профиль статистических характеристик скорости ветра на стандартных изобарических поверхностях, станция Москва, январь и июль. Обозначения те же, что на рис. 1.

3.2. Статистические характеристики метеопараметров на стандартных геометрических высотах

Для расчета статистик метеорологических параметров на стандартных геометрических высотах из массива срочных аэрологических данных формируется массив срочных аэрологических данных на стандартных геометрических высотах. Геометрическая высота H_g определяется по формуле [2]

$$H_g = \frac{R_z \cdot H}{R_z - H},$$

где $R_z = 6\,356\,787$ м, радиус Земли; H – геопотенциальная высота.

В массив включены также расчётные характеристики: относительная и удельная влажность воздуха, компоненты скорости ветра, плотность воздуха. Расчёт метеорологических элементов на стандартных геометрических высотах выполняется путём линейной интерполяции между двумя близлежащими уровнями. Статистические характеристики рассчитываются аналогично расчётам на стандартных изобарических поверхностях.

Ниже приведены примеры вертикальных профилей статистик метеоэлементов на станции Мурманск за два месяца (январь и июль).

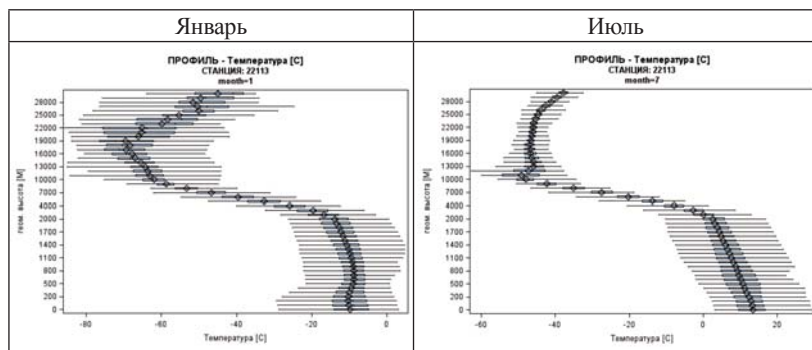


Рис. 3. Вертикальный профиль статистических характеристик температуры на стандартных геометрических высотах, станция Мурманск, январь и июль. Обозначения те же, что на рис. 1.

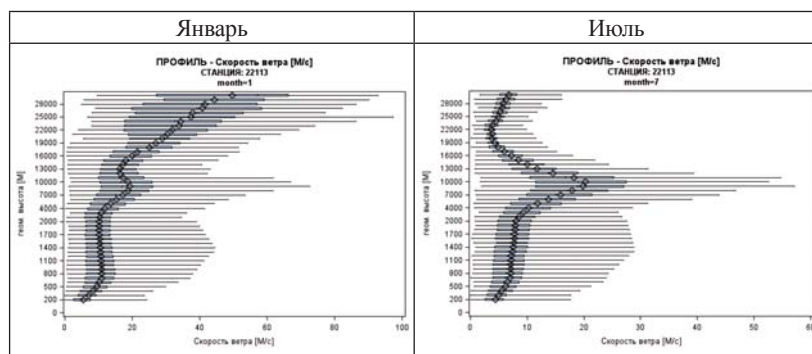


Рис. 4. Вертикальный профиль статистических характеристик скорости ветра на стандартных геометрических высотах, станция Мурманск, январь и июль. Обозначения те же, что на рис. 1.

3.3. Характеристики тропопаузы

Тропопауза отвечает за процессы обмена между стратосферой и тропосферой по вертикали и многие другие процессы в атмосфере. Точная информация о характеристиках тропопаузы и её многолетних изменениях требуется для решения различных научных и прикладных проблем. Прогноз высоты тропопаузы и температуры на этом уровне является составной частью краткосрочного прогноза, необходимого для метеорологического обеспечения авиации.

Кроме того, по изменению характеристик тропопаузы можно судить о глобальных климатических изменениях.

На настоящий момент в связи с улучшением качества радиозондовых данных и увеличением длительности временных рядов появилась возможность более детального изучения характеристик тропопаузы. Для оценки характеристик тропопаузы был разработан специальный комплекс программ и методик, позволяющий оценивать структуру климатических полей характеристик тропопаузы, а также отслеживать тенденции изменения её характеристик [6].

По запросам пользователей в ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД» могут быть выполнены расчёты традиционных, порядковых статистик метеовеличин на уровне тропопаузы, расчёты характеристик годового хода, трендов, исследование феномена множественности тропопаузы и прочих аэроклиматических характеристик по данным отдельных станций.

В демонстрационный пакет включены среднегодовые и среднемесячные значения высоты и температуры нижней границы тропопаузы. На рис. 5 показан временной ход многолетних средних значений температуры (слева) и высоты (справа) на уровне нижней границы тропопаузы для станции Барнаул. На рисунках видна тенденция понижения температуры и увеличения высоты нижней границы тропопаузы в период 2008–2017 гг., хотя десятилетний период, безусловно, является недостаточным для оценки многолетних тенденций изменчивости.

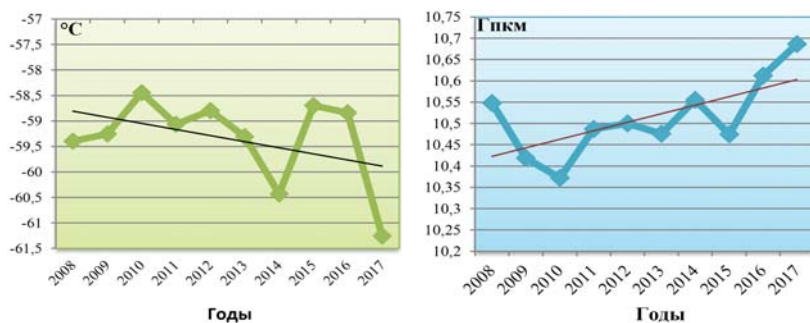


Рис. 5. Временной ход среднегодовых значений температуры (слева) и высоты (справа) на уровне нижней границы тропопаузы для станции Барнаул за 2008–2017 гг.

3.4. Высота изотермических поверхностей

Изотермы представляют собой поверхности одинаковых температур, с помощью которых удобно оценивать и сравнивать климатические особенности тех или иных регионов планеты. Сведения о высоте нулевой изотермы, т.е. о высоте изотермической поверхности с температурой 0°C , весьма существенны для авиационного обслуживания. Высота нулевой изотермы в переходный сезон года используется для прогноза фазового состояния осадков.

Демонстрационный пакет включает данные о среднемесячных значениях геопотенциальной высоты, давления и дефицита точки росы для изотермических поверхностей с температурой 0°C и -10°C . Пример характеристик изотермической поверхности с температурой 0°C представлен на рис. 6, где показан годовой ход многолетних средних значений высоты (слева) и давления (справа) изотермической поверхности с температурой 0°C для станции Москва.

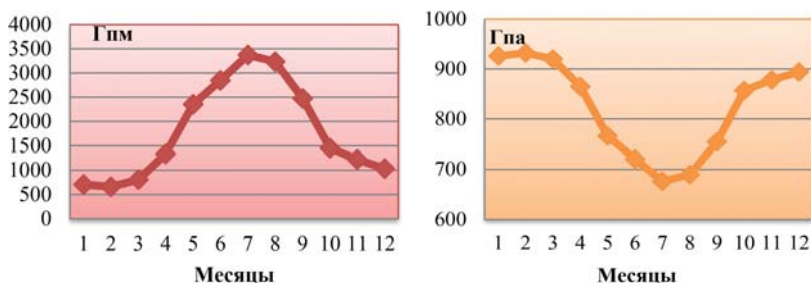


Рис. 6. Годовой ход многолетних средних значений высоты (слева) и давления (справа) изотермической поверхности с температурой 0°C для станции Москва за 2008–2017 гг.

4. Пограничный слой атмосферы

4.1. Температурные инверсии

Характеристики инверсий являются одним из метеорологических факторов, определяющих перенос и рассеяние примеси в атмосфере и формирование следа выпадений на земле.

Проектные расчёты для объектов, потенциально загрязняющих окружающую среду, всегда выполняются с учётом климатических характеристик стратификации атмосферы, в том числе температурных инверсий.

Основными характеристиками инверсий температуры являются их повторяемость, мощность и интенсивность.

Специальные программные средства, разработанные в ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД», позволяют для заданной станции и заданного периода времени анализировать температурные профили, выявлять наличие или отсутствие температурных инверсий в профиле, получать для каждого профиля характеристики приземных и приподнятых инверсий и определять их статистические характеристики. Инверсия температуры определяется по характеру вертикального температурного градиента, отрицательного в случае наличия инверсии [7].

В пакете аэроклиматических характеристик представлены следующие сведения об инверсиях: повторяемость, мощность и интенсивность приземных инверсий, высота нижней границы, повторяемость, мощность и интенсивность для приподнятых инверсий. Расчёты выполнены отдельно для сроков 00 и 12 часов.

Пример статистических характеристик приподнятых инверсий приведён на рис. 7. Здесь даны особенности годовых изменений повторяемости приподнятых инверсий с нижней границей в слое 0,01–2 км за срок 00 и 12 ч для станции Мурманск.

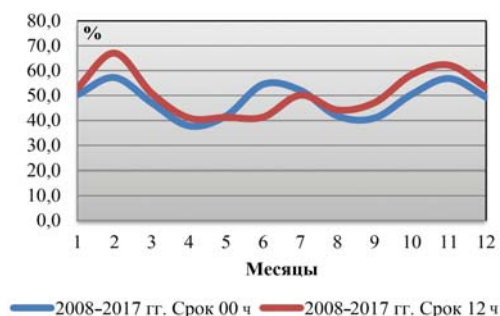


Рис. 7. Годовой ход многолетних средних значений повторяемости приподнятых инверсий с нижней границей в слое 0,01–2 км для станции Мурманск

4.2. Скорость ветра в приземном слое

Скорость ветра в приземном слое атмосферы на высотах до 120–200 м от уровня земли, как правило, требуется для различных расчётных проектов, а также для определения категорий устойчивости атмосферы. Аэрологические наблюдения обычно не обеспечивают измерений на этих высотах, поэтому расчёт скорости ветра в нижнем приземном слое выполняется с использованием известных эмпирических зависимостей скорости ветра от высоты [3, 12].

$$V = V_f \cdot \left(\frac{Z}{Z_f} \right)^a,$$

$$V = V_f \frac{\ln\left(\frac{Z}{k_0}\right)}{\ln\left(\frac{Z_f}{k_0}\right)}.$$

Здесь V – скорость ветра на высоте Z ; V_f – скорость ветра на высоте флюгера Z_f ; a – показатель степени; k_0 – параметр шероховатости.

Описание алгоритма определения скорости и направления ветра в нижнем слое приведено в [11]. Скорость ветра на заданной высоте определяется для каждого зондирования в два этапа. Сначала по двум нижним измерениям производится оценка показателя степени или параметра шероховатости, затем путем интерполяции/экстраполяции рассчитывается скорость ветра на заданной высоте. Направление рассчитывается с помощью линейной интерполяции или с применением закона Экмана. При этом могут быть получены также средние оценки величин, входящих в эмпирические формулы.

Знание характеристик ветра на заданной высоте позволяет получать средние значения и повторяемость по направлениям и градациям (розы ветров). В демонстрационном пакете приведены распределения скорости ветра по направлениям и значениям для четырёх центральных месяцев сезонов на высотах 25, 50 и 100 м, а также средние значения параметра шероховатости и показателя степени. Распределения даны как в табличном, так и в графическом виде.

Примеры показаны на рис. 8, где даны розы ветров для станции Москва на высотах 25 и 100 м за 00 и 12 ч за январь и июль. Повторяемость штилей приведена в верхней части рисунков.

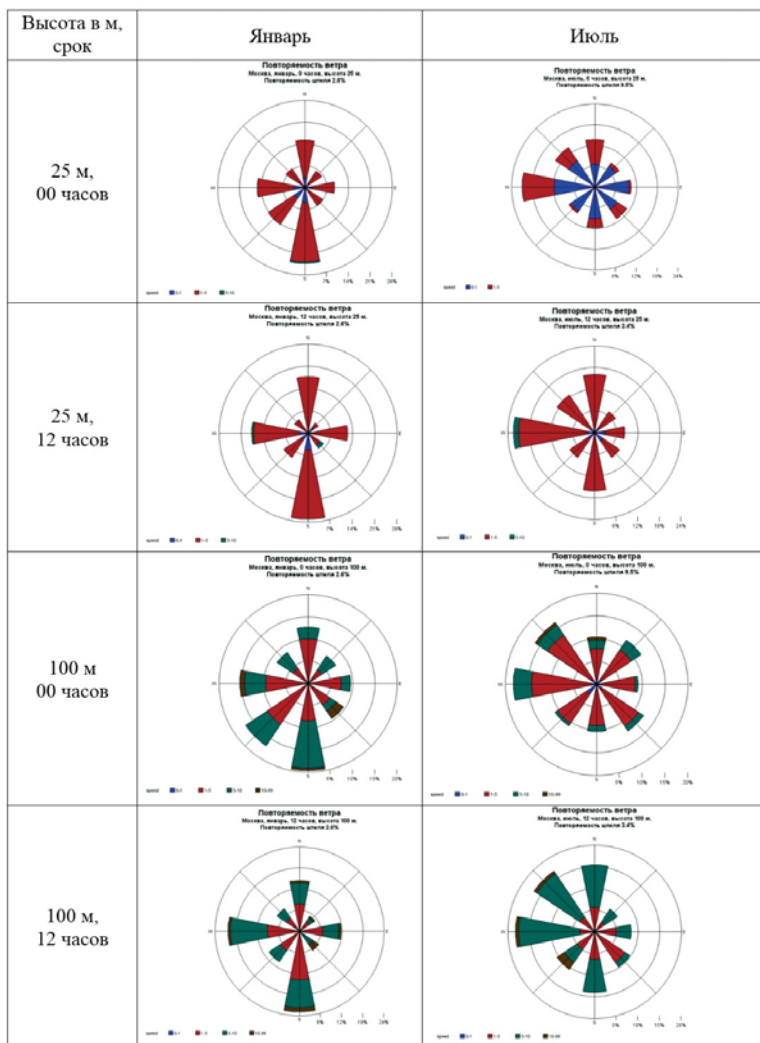


Рис. 8. Распределения скорости ветра по данным станции Москва по направлениям и значениям (розы ветров) на высоте 25 и 100 м за сроки 00 и 12 ч в январе и июле.

В табл. 1 приведены полученные средние по всему периоду значения параметров шероховатости и показателей степени в формулах зависимости скорости ветра от высоты для трёх станций.

Таблица 1

**Показатель степени a и параметр шероховатости k_0
в формулах степенной и логарифмической зависимости
скорости ветра от высоты**

Станция	a	k_0
Москва	0,20	1,30
Мурманск	0,12	0,39
Барнаул	0,19	1,06

4.3. Повторяемость классов (категорий) устойчивости и слой перемешивания

Знание климатических характеристик устойчивости атмосферы в нижнем слое атмосферы требуется при проектировании различного рода объектов. В пограничном слое атмосферы происходит наиболее полное перемешивание примесей, поступающих от источников загрязнения. Основными характеристиками устойчивости атмосферы являются класс устойчивости и максимальная высота слоя перемешивания. Класс А характеризует наиболее неустойчивое состояние атмосферы, при котором наиболее развита турбулентность, класс F – наиболее устойчивое, когда в условиях слабого ветра или штиля и наличия температурной инверсии турбулентного перемешивания практически не происходит.

В настоящее время существуют два способа определения класса устойчивости (степени турбулентности) атмосферы: с использованием синоптической информации и с использованием информации о высотном изменении метеорологических параметров [9].

В демонстрационный аэроклиматический пакет входят следующие характеристики: повторяемость классов устойчивости по месяцам и за весь период, средняя высота слоя перемешивания по месяцам и за весь период. Класс устойчивости определяется по радиозондовым данным по комплексу параметров, в который входит значение скорости ветра на уровне земли и вертикальный градиент температуры воздуха в нижнем слое до 300 м [9].

Для характеристики устойчивости атмосферы в метеорологической практике используется также максимальная высота слоя перемешивания (ВСП), в котором градиент температуры воздуха приближается к сухадиабатическому или даже превышает его. Непосредственно над этим слоем наблюдается резкое уменьшение градиента или инверсионное распределение температуры [5]. В соответствии с этим высота слоя перемешивания определяется как высота пересечения профиля температуры с сухой адиабатой, а при влажности более 92 % – с влажной адиабатой. При наличии приземной инверсии слой перемешивания отсутствует.

Повторяемость классов устойчивости и средняя высота слоя перемешивания за весь период без разбивки по месяцам даны в табл. 2. В последнем столбце таблицы в скобках приведена также высота слоя перемешивания по данным [5]. Аналогичные расчёты могут быть выполнены для отдельных сезонов и месяцев года.

Таблица 2

**Повторяемость классов устойчивости в %
и высота слоя перемешивания H**

Станция	Класс устойчивости						H , км
	A	B	C	D	E	F	
Москва	7,7	15,5	15,9	35,2	3,8	19,8	1,03 (1,33)
Мурманск	1,8	7,1	10,7	61,8	6,2	9,9	0,77 (0,80*)
Барнаул	1,6	8,5	12,1	30,1	9,6	28,6	1,10 (1,17)

Примечание. * – ВСП для Архангельска, т. к. для Мурманска данных в [5] не приведено.

Заключение

Разнообразная аэроклиматическая продукция по длинным рядам наблюдений с учётом современных данных по отдельным регионам и станциям пользуется постоянным спросом. Глобальные радиозондовые данные, собираемые и хранящиеся в ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД», дают широкие возможности для различных направлений в области исследования свободной атмосферы и пограничного слоя, в том числе для определения аэроклиматических справочных величин. В связи с тем, что издание аэроклиматического справочника, аналогичного изданному ранее, в 80-х годах прошлого века, в настоящее время не предусмотрено, а аэроклиматическая продукция необходима потребителю, в ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД»

проведены специальные разработки и создан комплекс программных средств, позволяющих вычислить требуемые характеристики.

Приведённые в статье и на сайте ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД» результаты расчётов для трёх аэрологических станций являются демонстрацией возможности определения справочных аэроклиматических характеристик по накопленным к настоящему времени радиозондовым данным. Аналогичные расчёты могут быть выполнены за необходимый период для любой станции, имеющейся в архивах, при этом перечень аэроклиматических характеристик может быть расширен.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алдухов О. А., Черных И. В. Методы анализа и интерпретации данных радиозондирования атмосферы. Том. 1. Контроль качества и обработка данных. Обнинск: ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД», 2013. 306 с.
2. Атмосфера стандартная. Параметры. ГОСТ 4401-81. М.: Изд-во стандартов, 2004. 182 с.
3. Гладкий В. Ф. Динамика конструкции летательного аппарата. М.: Наука, 1969. 496 с.
4. Казначеева В. Д., Руденкова Т. В. Организация текущих аэрологических данных на магнитных лентах ЕС // Труды ВНИИГМИ-МЦД. 1985. Вып. 115. С. 91–108.
5. Климатические характеристики условий распространения примесей в атмосфере / Под ред. Э. Ю. Безуглой, М. Е. Берлянда. Л.: Гидрометиздат, 1983. 327 с.
6. Козлова Л. Ф., Стерин А. М. Исследование многолетней изменчивости параметров тропопавзы над территорией РФ по радиозондовым данным // Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2014. Вып. 178. С. 47–60.
7. Козлова Л. Ф., Хохлова А. В. Климатические характеристики приземных температурных инверсий по данным аэрологических измерений на станциях Мурманск и Смоленск // Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2018. Вып. 181. С. 120–125.
8. Новый аэроклиматический справочник свободной атмосферы над СССР. Пояснительный текст / Под ред. И. Г. Гутермана. М.: Гидрометиздат, 1979. 28 с.
9. Романов В. И. Прикладные аспекты аварийных выбросов в атмосферу. Справочное пособие. М.: Физматкнига, 2006. http://www.litres.ru/pages/biblio_book/?art=6980421.
10. Руденкова Т. В. Формат архивации текущих аэрологических данных, поступающих по каналам связи для ПЭВМ // Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2010. Вып. 174. С. 41–63.
11. Хохлова А. В. Оценка климатических характеристик скорости ветра в приземном слое атмосферы по радиозондовым измерениям // Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2018. Вып. 182.
12. Хргиан А. Х. Физика атмосферы. М.: Изд-во Московского университета, 1986. 328 с.

УДК 551.583

К ВОПРОСУ ОЦЕНКИ СТАТИСТИЧЕСКОЙ ОДНОРОДНОСТИ КЛИМАТОЛОГИЧЕСКИХ ДАННЫХ

А. А. Воронцов¹, С. Р. Степаненко²

*ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский институт
гидрометеорологической информации – Мировой центр данных»,
¹ vorv@meteo.ru, ² stepanenko.1941@mail.ru*

Введение

Для разработки моделей климата и оценки их адекватности необходимо использовать климатологические однородные временные ряды. В системе создания государственного фонда данных по гидрометеорологии и загрязнению окружающей среды [4] используются методы проверки статистической однородности данных первичных наблюдений. Проверка климатической однородности обычно осуществляется визуально в процессе климатологической обработки с помощью карт или графиков временных рядов. Надежные методы проверки климатической однородности на этапе создания и пополнения фонда данных в настоящее время отсутствуют как в России, так и за рубежом.

Цель настоящей статьи – привести эффективный метод оценки статистической однородности климатических (усреднённых по времени) данных, позволяющий обнаруживать грубые отклонения при незначительном количестве ложных ошибок (ошибок 1-го рода: ошибка считается ложной, если правильное значение идентифицировано как ошибочное; ошибки 2-го рода возникают в случае, если выборка по используемому критерию считается однородной, хотя на самом деле эта выборка неоднородна).

Понятие «статистическая однородность» применяется только к данным, в которых отсутствует пространственная и временная автокорреляции, т. е. являются физически однородными в пространстве и во времени. Реальные данные гидрометеорологических наблюдений таковыми не являются. Поэтому для выявления грубых

ошибок одной из первоочередных задач является устранение пространственной и временной автокорреляции. Другой важной задачей является выбор критерия для выявления грубых ошибок.

Выбор статистических критериев

Рассмотрим вначале выбор критерия для выявления грубых ошибок, предполагая, что совокупность данных не содержит закономерных компонент.

Классический подход [1] основан на сравнении эмпирической статистики с теоретическим значением. Статистика – это соотношение двух функционалов выборки. Например, статистика $d = cao/s$ характеризует соотношение среднего абсолютного отклонения (cao) и среднеквадратического отклонения (s), а статистика $\zeta^+ = \max |y_i - \bar{y}|/s, i = 1, 2, \dots, N$ характеризует соотношение между наибольшим по модулю отклонением от среднего значения $\bar{y}$ и среднеквадратическим отклонением s этой же выборки.

Теоретическое значение статистики определяется методами теории вероятностей для заданного закона распределения случайной величины y и значений уровня вероятности α . Если эмпирическое значение выбранной статистики больше теоретического значения при заданном уровне вероятности, то исходную совокупность можно признать статистически неоднородной. Чем больше значение α , тем выше степень надёжности этого вывода.

Основная проблема использования этого подхода связана с адекватным выбором закона распределения случайной величины y_i и выбором наилучшей статистики. Обычно предполагается, что значения y_i распределены по нормальному закону, что далеко не всегда является обоснованным. Чем больше распределение y_i отклоняется от постулированного закона, тем менее надёжными будут выводы об однородности (или неоднородности) совокупности.

Вопрос о том, какую статистику надо взять для проверки однородности часто не имеет однозначного ответа. Это связано с тем, что причиной неоднородности выборки может быть не одно крайнее значение вариационного ряда.

Если выборка содержит несколько грубых ошибок, то это значит, что контролируемая совокупность представляет композицию

двух или более законов распределения. В этом случае задача оценки однородности становится настолько сложной, что она может быть решена лишь при активном участии эксперта с привлечением достоверных данных, получение которых требует больших затрат ручного труда и времени.

Здесь предлагается подход оценки статистической однородности, основанный на предположении, что закон распределения заданной совокупности является инвариантным относительно времени начала её получения.

Пусть, например, имеется совокупность случайных событий $y_1, y_2, \dots, y_N$, полученных в моменты времени $t_1, t_2, \dots, t_N$. Разобьём весь период измерений на m интервалов и представим совокупность $\{y_k\}$ в виде матрицы η_{ij} , $i = 1, n, j = 1, m, n = N/m$. Для каждого j упорядочим значения η_{ij} по неубыванию и для простоты сохраним за ними те же обозначения.

Если следовать классическому подходу, то гипотезу о статистической однородности необходимо проверить независимо для каждого столбца η_{ij} . При этом надёжность проверки тем меньше, чем больше m (чем меньше объём каждого столбца). Сущность метода контроля на основе инвариантности закона распределения выборок η_{ij} состоит в следующем.

Упорядочим каждый столбец матрицы η_{ij} по неубыванию и сохраним за ними те же обозначения. При увеличении m каждая порядковая статистика η_{ij} стремится к математическому ожиданию $\bar{\eta}_i$, так что все $\bar{\eta}_i$, $i = 1, n$ образуют обычную функцию, т.е. математическое ожидание совокупности вариационных рядов η_{ij} . Примем без доказательства, что каждый вариационный ряд можно представить в виде

$$\eta_{ij} = a_j + b_j \bar{\eta}_i + e_{ij}, \quad (1)$$

где e_{ij} – случайные отклонения.

Если коэффициент детерминации (1) не слишком мал, например больше 0,5, то при отсутствии грубых ошибок отклонения $|e|_1, |e|_n$, очевидно, будут существенно меньше размаха $R_\eta = \max\{\bar{\eta}_i\} - \min\{\bar{\eta}_i\}$. Поэтому η_{kj} , $k = \{1, n\}$ можно признать грубой ошибкой, если справедливо условие:

$$\varsigma_4 = |e|_k / (\bar{\eta}_n - \bar{\eta}_1) > 1. \quad (2)$$

Если условие (2) выполняется хотя бы для одного столбца матрицы e_{ij} , то исходная совокупность $\{y_i\}$ может быть признана неоднородной.

Отметим два основных преимущества изложенного подхода.

1. Деление совокупности $\{y_i\}$ на реализации η_{ij} в значительной степени позволяет избавиться от пакетных ошибок в контролируемой совокупности и проверку гипотезы об однородности свести к проверке однородности двух крайних членов вариационного ряда, что существенно упрощает алгоритм автоматической идентификации грубых ошибок.

2. Соотношение (1) не зависит от закона распределения случайной величины y_i . Если n и m не слишком малы (например, $n > 20$, $m > 3$), то при отсутствии ошибок коэффициент детерминации (1) будет высоким, например больше 0,8. Это позволяет использовать для контроля не результат проверки статистической гипотезы, который сильно зависит от выбора уровня вероятности (субъективный фактор) и закона распределения вероятностей, а простой и понятный критерий (2), согласно которому отклонение от уравнения регрессии по модулю не должно быть больше размаха функции $\bar{\eta}_i$.

Для сравнения критерия ζ_4 и классических критериев из работы [1] $\zeta_1(a, \sigma) = |x - a|_{\max}/\sigma$; $\zeta_2(\bar{\eta}, \sigma) = |x_x - \bar{x}|_{\max}/\sigma$; $\zeta_3(\bar{\eta}, s) = |x_x - \bar{x}|_{\max}/s$, где σ – генеральное среднееквадратическое отклонение; $\bar{\eta}$, s – среднее и среднееквадратическое отклонение по выборке η_i выполним расчёты по нормальной совокупности смоделированных данных с параметрами (0, 1) объёмом $N = 200\,000$ элементов. Внесём в эту совокупность в случайные номера 0,5 % ошибок $\pm 3,5\sigma$, $\sigma = 1$.

Результаты сравнения по количеству ошибок 1-го и 2-го рода в % к модельному количеству приведены в таблице, откуда видно, что предложенный критерий (2) для модельной совокупности, в отличие от классических критериев, не приводит к ошибкам 1-го и 2-го рода.

Результаты гидрометеорологических наблюдений состояния природной среды не являются независимыми и их функции распределения вероятностей, как правило, существенно отличаются

от нормального закона. Рассмотрим алгоритм оценки гипотезы H_0 (данные являются физически однородными) на примере наблюдений температуры воды и воздуха на побережье Крыма.

Обозначим через $x(i, j, k, l)$ – значения температуры воды в i -тый день j -того месяца k -того года на l -той станции. Для каждого месяца заданного года найдём отклонения от среднепентадных значений (последняя пентада может быть меньше или больше 5 дней). В итоге за весь период получим временной ряд отклонений y_i , статистическую однородность которого оценим по критерию (2).

Т а б л и ц а

Количество ошибок 1-го и 2-го рода

Критерий	% ошибок 1-го рода	% ошибок 2-го рода
$\zeta_1(a, \sigma)$	69,9	0,0
$\zeta_2(\bar{\eta}, \sigma)$	68,0	20,6
$\zeta_3(\bar{\eta}, s)$	21,4	87,9
ζ_4	0,0	0,0

Пространственная верификация статистически неоднородных данных по времени

Статистически неоднородные значения, выявленные по критерию (2), можно верифицировать путём анализа данных по пространству. Пусть y_ζ – это значения, которые определены как выбросы временного ряда за i^* -тый день j^* -того месяца k^* -того года в точке l^* . Рассмотрим поле $u(i^*, j^*, k^*, l)$ в окрестности точки l^* , включая эту точку. Разложим поле $u(i^*, j^*, k^*, l)$ на синхронную и асинхронную составляющие [3], т. е. представим его в виде

$$u(i^*, j^*, k^*, l) = b_0 + b l \bar{u}(l) + \varepsilon(l), \quad (3)$$

где $\bar{u}(l)$ – среднemesячное многолетнее поле.

Значимость синхронной составляющей зависит от времени года. Годовой ход температуры воды на побережье Крыма (рис.) согласуется с физическими процессами. Наибольшее значение синхронная составляющая имеет в зимнее время, когда основным фактором изменения температуры воды является выхолаживание.

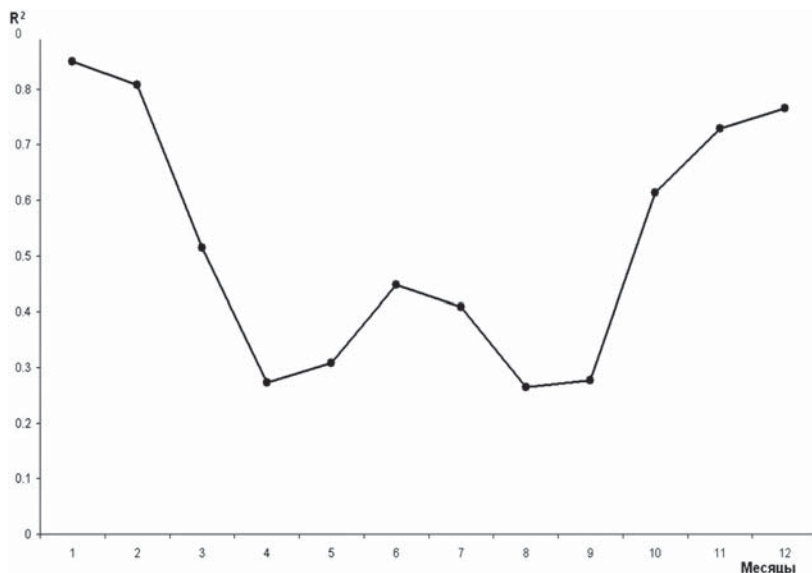


Рис. Годовой ход среднего коэффициента детерминации разложения полей температуры воды на синхронную и асинхронную составляющие

По мере прогревания моря, синхронность колебаний уменьшается вследствие разных физических условий на станциях.

Значение $y_{\zeta} = y(l^*)$ будем считать неоднородным по пространству, если наибольшей по модулю является невязка $\varepsilon(l^*) = \max\{|\varepsilon(l)|\}$ и статистика $\zeta_3[\varepsilon(l^*), s] = |\varepsilon(l^*)|/s$ превышает критическое значение.

Таким образом, выбросами будем считать только такие значения, которые можно считать статистически неоднородными по времени и по пространству.

Результаты анализа

Анализ данных наблюдений температуры воздуха и воды на поверхности моря по изложенному алгоритму на 11 прибрежных станциях Крыма за период 1977–2013 гг. не выявил ни одной ложной ошибки (ошибки 1-го рода).

Заключение

Изложенный метод можно использовать в системах первичной обработки метеорологических данных и данных прибрежных станций. Ранее в [2] было показано, что аналогичный метод можно использовать и для контроля судовых метеорологических наблюдений в Мировом океане. Очевидно, что на основе этого метода необходимо разработать автоматизированную систему контроля для создания и пополнения Государственного фонда данных.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Большев Л. Н., Смирнов Н. В.* Таблицы математической статистики. М.: Наука, 1983. 416 с.
2. *Воронцов А. А., Степаненко С. Р.* Новый подход решения проблемы качества данных по морской природной среде // Наука и современность. 2012. Часть 1. Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2012. С. 29–35.
3. *Воронцов А. А., Степаненко С. Р.* Физико-статистический метод разложения гидрометеорологических полей и сравнение его с методом естественных ортогональных функций // Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2018. Вып. 181. С. 150–154.
4. *Шаймарданов М. З., Пуголовкин В. В.* Государственный фонд данных по гидрометеорологии и загрязнению природной среды. Санкт-Петербург: Гидрометеониздат, 2003. 117 с.

УДК 551.501:681.3.016

СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫЙ МАССИВ ДАННЫХ СРЕДНЕМЕСЯЧНОГО ДАВЛЕНИЯ ВОЗДУХА НА УРОВНЕ МОРЯ ДЛЯ КЛИМАТИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Н. В. Швець¹, В. Н. Разуваев², Л. Т. Трофименко³

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

¹ schvets@meteo.ru, ² Razuvaev@meteo.ru, ³ llt@meteo.ru

Введение

Вопрос об изменениях климатической системы входит в число наиболее интересующих человечество вопросов. Одним из инструментов оценки изменений климата является эмпирико-статистический анализ данных наблюдений. Работы в этом направлении не теряют актуальности сейчас и будут востребованы в будущем.

С другой стороны, в условиях усиливающейся уязвимости и подверженности опасным явлениям растёт потребность в использовании климатической информации для более эффективного обслуживания потребителей. Эта концепция была сформулирована на Всемирной климатической конференции-3 в 2009 году в виде Глобальной рамочной основы для климатического обслуживания. В данном документе оговорено, что предоставление климатической информации будет способствовать процессу принятия решений отдельными лицами и организациями. И фактические данные наблюдений, включающие в себя основные климатические параметры, играют здесь главенствующую роль.

В России накоплен значительный объём данных за весь период метеонаблюдений. Данные эти хранятся в Государственном фонде данных Росгидромета (Госфонд Росгидромета). Формат хранения часто затрудняет оперативное использование этих данных. Поэтому возникла идея создания специализированных массивов данных.

Изложенная в Климатической доктрине РФ на период до 2020 года программа научных исследований климата активизировала в Росгидромете работы по созданию климатических баз данных. Одно из основных требований – доступность. Это напрямую согласуется с положениями Глобальной рамочной основы о бесплатном и открытом обмене данными. В настоящее время в свободном доступе на Web-сайте ВНИИГМИ-МЦД размещены порядка 18 специализированных массивов данных.

Основные требования к организации специализированного массива

При создании специализированного массива данных среднемесячного давления, приведённого к уровню моря, учитывались основные принципы формирования специализированных массивов, изложенные в [1]:

- Доступность. Размещение массива данных на Web-сайте ВНИИГМИ-МЦД для широкого и бесплатного доступа.
- Качество данных. В специализированных массивах данных устранены грубые ошибки; количество пропусков в данных, по возможности, сведено к минимуму.
- Обязательное наличие метаданных, как описывающих саму базу данных, так и дополнительные сведения, позволяющие устранить неоднородность в рядах данных (перенос станций, изменение методик наблюдений или расчётов и т. д.).
- Регулярное пополнение баз данных.

Описание специализированного массива данных среднемесячного давления на уровне моря

Наименование массива. Специализированный массив данных среднемесячного давления, приведённого к уровню моря. Краткое название массива – P_m .

Содержание массива. Массив P_m содержит осредненные за месяц значения давления с приземных наблюдательных станций Российской Федерации. Массив P_m создавался по данным, находящимся на технических носителях Госфонда Росгидромета, по данным из опубликованных источников [2–4].

Тип массива. Массив P_m – открытый, так как его объём все время возрастает за счёт пополнения данных. Как и предыдущие специализированные массивы, массив данных P_m регулярно пополняется. Вносятся исправления выявленных ошибочных данных. Информацию о внесённых исправлениях можно будет найти на сайте в разделе «Обнаруженные и исправленные ошибки».

Пространственное размещение. Массив содержит данные для 503 станций Российской Федерации. Перечень станций составлен на основании списка станций Росгидромета, которые включены в Глобальную сеть наблюдений за климатом (утверждённого Руководителем Росгидромета 25 марта 2004 года) и списка реперных метеорологических станций, подготовленного в Главной геофизической обсерватории им. А. И. Воейкова (исполнитель – зав. ОМРЭИ ГГО В. И. Кондратюк).

Временное представление. Массив содержит данные от начала наблюдений на станции по 2017 год.

Описание данных. Давление на уровне моря – не наблюдаемая характеристика, оно вычисляется по измеренному на метеорологической станции давлению воздуха. Методика вычисления давления на уровне моря до конца семидесятых годов прошлого века заключалась в следующем. По данным атмосферного давления и температуры воздуха на станции по специальным таблицам, составленным в ГМО для каждой конкретной станции, находилась поправка. Эту поправку наблюдатель прибавлял к давлению, измеренному на станции, и получал давление на уровне моря.

Формулы для расчёта поправок не отличались большой точностью, и станции, расположенные выше 500 м, не приводили давление к уровню моря, а сообщали высоту ближайшей основной изобарической поверхности [5].

В настоящее время формулы расчёта таблиц для приведения атмосферного давления к уровню моря стали более точными, в них учитывается влажность воздуха, современные стандарты на изменение силы тяжести с высотой. По ним можно рассчитывать давление на уровне моря для всех станций, высота которых не более 1000 м над уровнем моря.

В вычислительных центрах Госкомгидромета по заявке УГКС для каждой отдельной станции рассчитываются таблицы поправок; при расчётах исходными данными являются географическая широта станции, высота барометра над уровнем моря, а также пределы изменения атмосферного давления и виртуальной температуры воздуха.

Для приведения атмосферного давления к уровню моря, а также для вычисления высот изобарических поверхностей используется барометрическая формула для политропной атмосферы, которая представляет собой модель атмосферы с линейным изменением температуры воздуха с высотой. В [6] приведена формула расчёта атмосферного давления на уровне моря, полученная путём интегрирования уравнения состояния атмосферного воздуха для слоя от уровня станции до уровня моря при предположении, что $T_{vz} = T_{v0} - \gamma z$:

$$p_m = p_z \left(\frac{T_{vz} + \gamma z}{T_{vz}} \right)^{\frac{g}{R_c \gamma}} = p_z \left(1 + \frac{\gamma z}{T + \Delta T_v} \right)^{\frac{g}{R_c \gamma}}, \quad (1)$$

где p_m – атмосферное давление на уровне моря, мбар; p_z – атмосферное давление на высоте станции, мбар; T_{vz} – виртуальная температура воздуха на высоте станции, К; ΔT_v – виртуальный добавок на высоте станции, °С; z – высота барометра над уровнем моря, м; γ – вертикальный градиент виртуальной температуры, принимаемый равным $\pm 0,0065$ °С/м; R_c – газовая постоянная сухого воздуха, равная $287,05 \text{ м}^2/(\text{с}^2 \cdot \text{К})$; g – ускорение свободного падения на станции, $\text{м}/\text{с}^2$.

В принятой модели температура сухого воздуха заменяется виртуальной температурой влажного воздуха, таким образом мы учитываем и влажность воздуха, и изменение влажности с высотой.

Поправки на приведение давления в вычислительных центрах Госгидромета вычисляют в соответствии с формулой (1):

$$\Delta p = p_z \left(1 + \frac{\gamma z}{T + \Delta T_v} \right)^{\frac{g \varphi z}{R_c \gamma}} - p_z, \quad (2)$$

где $g_{\varphi z}$ – ускорение свободного падения на станции, оно в свою очередь рассчитывается с учётом географической широты станции(φ) и её высоты над уровнем моря.

Все значения метеорологических величин в массиве представлены в натуральном виде.

Структура записи. Массив состоит из записей постоянной длины с символом конца строки; длина записи – 94 байта. Каждая запись содержит 14 полей с фиксированным положением в записи и фиксированной длиной. Все поля в записи разделены между собой при помощи символа «пробел».

Такое «двойное» форматирование позволяет использовать любой способ разделения полей («comma separate» или «fixed length fields») во время ввода в программные средства хранения (СУБД), электронные табличные процессоры, пакеты расчёта статистик или средства графики.

Описание формата записи приведено в табл. 1.

Таблица 1

Формат записи в массиве данных

Номер поля	Позиция	Длина поля	Наименование поля	Примечание
1	1–5	5	Индекс ВМО станции	
	6	1	Пробел	
2	7–10	4	Год	
	11		Пробел	
3	12–17	6	Давление воздуха на уровне моря в январе	В мб с точностью 0,1 мб
	18	1	Пробел	
4	19–24	6	Давление воздуха на уровне моря в феврале	-/-
	25	1	Пробел	
5	26–31	6	Давление воздуха на уровне моря в марте	-/-
	32	1	Пробел	
6	33–38	6	Давление воздуха на уровне моря в апреле	-/-
	39	1	Пробел	
7	40–45	6	Давление воздуха на уровне моря в мае	-/-

Окончание табл. 1

Номер поля	Позиция	Длина поля	Наименование поля	Примечание
	46	1	Пробел	
8	47–52	6	Давление воздуха на уровне моря в июне	-/-
	53	1	Пробел	
9	54–59	6	Давление воздуха на уровне моря в июле	-/-
	60	1	Пробел	
10	61–66	6	Давление воздуха на уровне моря в августе	-/-
	67	1	Пробел	
11	68–73	6	Давление воздуха на уровне моря в сентябре	-/-
	74	1	Пробел	
12	75–80	6	Давление воздуха на уровне моря в октябре	-/-
	81	1	Пробел	
13	82–87	6	Давление воздуха на уровне моря в ноябре	-/-
	88	1	Пробел	
14	89–94	6	Давление воздуха на уровне моря в декабре	-/-
	95	1	Символ конца строки	

Фрагмент файла данных приведен ниже:

```

20046 1966 1013.0 1026.0 1024.1 1031.9 1005.3 1009.6 1011.5 1009.3 1000.6 1015.0 1007.9
20046 1967 1010.0 1002.6 1006.2 1003.4 1017.3 1008.2 1012.1 1014.3 1002.5 997.4 1006.0
20046 1968 1012.6 1008.6 1002.2 1013.4 1013.3 1004.5 1010.1 1008.9 1013.3 1014.2 1021.7 1009.2
20046 1969 1026.8 1019.7 1018.4 1018.0 1021.4 1014.6 1016.0 1013.5 1011.7 1009.7 1000.6 1008.3
20046 1970 1017.1 1018.6 1024.0 1020.9 1013.4 1004.2 1010.9 1013.0 1014.5 1008.6 1010.8 1006.1
20046 1971 1003.6 1019.8 1015.2 1019.0 1010.4 1014.5 1012.1 1006.7 1005.6 1004.3 1000.1 1009.0
20046 1972 1009.5 1006.0 1012.9 1009.9 1020.2 1021.8 1010.4 1006.8 1014.8 1007.3 1025.3 1004.7
20046 1973 1004.4 997.9 1003.7 1023.2 1010.5 1006.2 1011.1 1007.8 1012.8 1007.9 1011.4 1008.2
20046 1974 1013.4 1020.6 1010.0 1008.6 1019.2 1014.1 1011.8 1012.9 1011.7 1015.8 1017.4 1002.0

```

На сервере ВНИИГМИ-МЦД доступ к массиву данных, выборка данных по интересующим пользователя станциям, их просмотр и копирование обеспечиваются специализированной технологией АИСОРИ (<http://meteo.ru/tech/aisori.php>), автор – канд. физ.-мат. наук В. М. Веселов.

Контроль качества данных. Специализированный массив P_m частично создавался на данных, взятых из архивных массивов. А первый контроль массивы метеоданных проходят на этапе формирования их на технических носителях. Затем они проходят технологический контроль, описанный в [7]. Сами данные подвергались статическому контролю [8], логическому контролю на согласование полей метеоэлементов. Массив контролирован на экстремальные значения.

Информацию об ошибках в данных и их исправлениях можно найти на сайте в разделе «Обнаруженные и исправленные ошибки». В табл. 2 представлен пример этого раздела на сайте.

Таблица 2

Обнаруженные и исправленные ошибки

Синоптический индекс станции	Название станции	Год	Месяц	P_m старое	P_m новое
20069	О. Визе	1985	1	1018,7	1017,7

В разделе «Основные требования к организации специализированного массива» говорилось о том, что при подготовке климатических баз данных, помимо метаданных, описывающих саму базу данных, для климатических исследований необходима информация, позволяющая устранить возможную неоднородность в рядах метеорологических элементов (сведения о переносе станции, информация о смене приборов, изменения в окружающем ландшафте и т. д.). Поэтому нами подготовлен и помещён на сайт раздел «Каталог станций», фрагмент которого приведен в табл. 3.

Таблица 3

Каталог станций

№	Индекс	Название станции	Координаты		Нстан.	Начало набл.	Примечание
			широта	долгота			
11	20891	Хатанга	71°59'	102°28'	31	1946	12.01.1951 г. перенос на 800 м к ЮЮЗ
12	20946	Им. Е. К. Федорова	70°27'	59°05'	13	1961	До 1983 г. наз. Болванский Нос
13	20982	Волочанка	70°58'	94°30'	37	1971	

Окончание табл. 3

№	Индекс	Название станции	Координаты		Нстан.	Начало набл.	Примечание
			широта	долгота			
14	21432	Остров Котельный	76°00'	137°52'	12	1933	14.09.2003 г. перенос на 1,2 км к З
15	21611	Терпий-Тумса	73°33'	118°40'	12	1961	Законсервирована в 1997 г.

Удалённый доступ к специализированному массиву

Как уже отмечалось выше, структура специализированного массива данных описана средствами языка описания гидрометеорологических данных (ЯОД). Проблема локального доступа к ЯОД-файлам данных, выборка данных по интересующим пользователя станциям, их просмотр и копирование во ВНИИГМИ-МЦД успешно решена средствами специализированной технологии АИСОРИ [9, 10]. Авторы этой разработки – канд. физ.-мат. наук В. М. Веселов и канд. техн. наук И. Р. Прибыльская. За счёт использования АИСОРИ можно получать любые табличные выборки с весьма высокой скоростью. Эта технология работает под управлением Web-сервера приложений Байконур [11]. Доступ пользователей к данным осуществляется по сетям Интернет/Инtranет с помощью браузера общего назначения, установленного на компьютере пользователя. И конфигурация компьютера, и установленная на нём операционная система могут быть любыми.

Выводы

Создание специализированного массива среднемесячного давления, приведённого к уровню моря, расширяет список климатических баз данных, которые составляют основу для проведения широкомасштабных работ по изучению климата России. Расширение баз метеорологических наблюдений, доступных для широкого круга потребителей, будет способствовать дальнейшему развитию потенциала пользователей и специалистов, улучшению использования и эффективности климатического обслуживания в процессе принятия решений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Булыгина О. Н., Коришкова Н. Н., Разуваев В. Н. Специализированные массивы данных для климатических исследований // Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2014. Вып. 177. С. 136–148.
2. *Климатический справочник СССР*. Метеорологические данные за отдельные годы. Выпуски 1–34. Л.: Гидрометеиздат, 1952–1957.
3. *Справочник по климату СССР*. Метеорологические данные за отдельные годы. Выпуски 1–34. Л.: Гидрометеиздат, 1966–1970.
4. *Метеорологический ежемесячник СССР*. Выпуски 1–34, ч. 2. 1961–1990.
5. *Наставление гидрометеорологическим станциям и постам*. Л.: Гидрометеиздат, 1969. Вып. 3. Ч. 1. С. 29–30.
6. *Методические указания по приведению атмосферного давления к уровню моря и вычислению высот изобарических поверхностей на метеорологических станциях*. Л.: Гидрометеиздат, 1979. С. 4–5.
7. Веселов В. М. Архивы Госфонда на ПЭВМ и технология их организации // Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2002. Вып. 170. С. 16–30.
8. Трофименко Л. Т. Шевченко Н. Н. Анализ полей асимметрии и эксцесса как средство контроля качества архивных данных // Труды ВНИИГМИ-МЦД. 1985. Вып. 116. С. 67–77.
9. Веселов В. М., Прибыльская И. Р. АИСОРИ – Web-технология «удаленный доступ к ЯОД-архивам» // Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2002. Вып. 170. С. 163–172.
10. Веселов В. М., Прибыльская И. Р. Система электронного обслуживания пользователей ЕГФД с использованием Интернет-технологий // Обзор деятельности ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД» за 2011 год. 2012. С. 68–72. <http://meteo.ru/publications/123-vniigmi-mtsd-review>.
11. *Серверы приложений и средства для быстрой разработки Интернет-приложений*. Официальный сайт компании Epsilon Technologits. <http://www/demo.ru>.

УДК 551.583:[551.501.724+551.501:771]+551.508.822 (985)

ДОЛГОПЕРИОДНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРНО-ВЛАЖНОСТНОГО РЕЖИМА В НИЖНЕЙ ТРОПОСФЕРЕ НАД ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНОЙ АРКТИКИ РФ ПО ДАННЫМ РАДИОЗОНДИРОВАНИЯ

О. А. Алдухов¹, И. В. Черных²

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

1. Введение

В связи с происходящими изменениями климата [1–3] важно знать особенности изменения линейных трендов метеорологических величин в атмосфере с высотой [3, 4], в частности для её нижнего двухкилометрового слоя, т.к. аэрологические данные в этом слое необходимы для решения многих научных и прикладных задач, например при анализе изменений климата [2], при геоэкономическом обосновании строительства атомных и тепловых электростанций, для нужд авиации и судоходства [5–8]. Поскольку изменения климата в Арктике проявляются наиболее заметно и сопровождаются уменьшением площади морского льда [1, 2], исследование распределения трендов температуры и влажности с высотой в нижнем слое тропосферы над Арктикой РФ (АРФ) крайне важно.

Для улучшения оценок параметров нижнего двухкилометрового слоя атмосферы могут быть использованы данные стандартного радиозондирования атмосферы после их специальной обработки [3, 5, 9]. В [3, 5] проведено сравнение результатов использования различных методов интерполяции [10–12] для работы с данными в слое 0–2 км над уровнем земли, показано: точность расчётов его параметров зависит от выбора метода интерполяции, и наилучшие результаты получены с использованием метода сплайновой интерполяции на базе кубического сплайна Акимы [11, 12].

Данная работа является продолжением исследований авторов, например [3, 13], распределения метеопараметров в атмосфере, в

частности температуры и влажности воздуха и их долгопериодных изменений над АРФ по результатам радиозондирования. Предметом изучения в ней является слой тропосферы 0–2 км над уровнем земли. Рассмотрена задача о пространственно-временных долгопериодных изменениях статистической структуры температуры (T), относительной (RH) и абсолютной влажности (AH) воздуха за период 1964–2016 гг. Для изучаемых метеопараметров получены оценки линейных трендов аномалий средних значений и среднеквадратических отклонений для разного временного масштаба осреднения, показана неоднородность их пространственно-временного распределения, определены месяцы/сезоны и высоты с их максимальными изменениями в слое 0–2 км над прибрежной зоной АРФ.

2. Данные и методы

Для расчётов использованы данные массива CARDS (Comprehensive Aerological Reference Data Set) [9, 14], дополненного текущими данными из массивов АЭРОСТАБ [15] и АЭРОСТАС [16]. Предварительно данные массивов прошли процедуру комплексного контроля качества [14, 17], были проверены на наличие и полноту. В результате анализа были отобраны три российские аэрологические арктические прибрежные станции с наиболее полными временными рядами, расположенные в разных климатических районах АРФ [3]: Североевропейском (Мурманск, 22113), Западно-Сибирском (о. Диксон, 20674) и Восточно-Сибирском (Тикси, 21824).

Перед расчётом статистических характеристик параметров нижнего слоя тропосферы для учёта особенностей решаемой задачи была проведена специальная обработка исходных данных радиозондирования, а именно по вертикальным профилям радиозондовых измерений были получены значения изучаемых метеовеличин на стандартных высотах в рамках этого слоя: 0; 0,05; 0,1; 0,15; 0,2 км и далее с интервалом 0,1 км до высоты 2 км над уровнем земли; затем был проведён дополнительный контроль качества данных с акцентом именно на слой 0–2 км [5, 17]. В результате для расчётов были использованы данные

35 609, 29 315 и 31 760 зондирований, проводимых на станциях Мурманск, о. Диксон и Тикси соответственно.

При интерполяции был использован метод сплайновой интерполяции на базе кубического сплайна Акимы [11, 12], который обеспечивает для большинства аэрологических параметров наиболее точную интерполяцию с наименьшей погрешностью по сравнению с другими её видами [10–12, 17].

Для анализа долгопериодных тенденций изменения температуры и параметров влажности проведён анализ с использованием классического метода расчёта трендов (метода наименьших квадратов). Значимость трендов проверялась по критерию Стьюдента.

Результаты расчёта трендов метеовеличин, определённых по данным радиозондовых измерений, зависят от исходного массива данных, длины временного ряда и методов анализа [3, 4, 17]. Ниже для включения месяца в расчёты трендов требовалось наличие 10 измерений за месяц и 10 лет за период наблюдений. При вычислении аномалий за базовый период (период осреднения при расчёте среднего значения метеовеличин, относительно которого рассчитываются аномалии) был выбран полный 52-летний период наблюдений (1964–2016 гг.). Это обусловлено тем, что в конце 1950-х – начале 1960-х гг. результатов радиозондирования атмосферы на глобальной аэрологической сети недостаточно для климатических расчётов [3, 4, 17].

Для анализа пространственно-временных особенностей трендов аномалий многолетних средних и среднеквадратических отклонений температуры и параметров влажности воздуха в слое 0–2 км, разности их средних значений в срок 12 и срок 0 ч ВСВ (в статье указано Всемирное скоординированное время) расчёты выполнены для сроков 0 и 12 ч и за сутки в целом для месяцев, сезонов и за год в целом. Тренды рассчитаны по станционным данным радиозондирования для стандартных высот изучаемого слоя, затем проведено двукратное сглаживание по трём точкам, при котором центральной точке присваивался двойной вес, а двум крайним – единичный вес. Использование сглаженных трендов позволяет более наглядно представить климатические изменения в изучаемом слое.

Анализ трендов аномалий как средних значений метеопараметров, так и их среднеквадратических отклонений обусловлен тем, что вопрос о том, становится ли наблюдаемый климат Земли более изменчивым, является одним из ключевых в обзорных докладах Межправительственной группы экспертов по изменению климата [2, 3]. Это связано с увеличением частоты наблюдаемых экстремальных гидрометеорологических явлений [2, 3].

3. Результаты

3.1. Внутригодовые долгопериодные изменения температуры и влажности в слое 0–2 км

На рис. 1–3 показаны сглаженные тренды с учётом их значимости для аномалий многолетних средних и среднеквадратических отклонений температуры, относительной и абсолютной влажности воздуха в слое 0–2 км для разных месяцев, сезонов и за год в целом для изучаемых станций. Соответствующие диапазоны внутригодовых изменений трендов аномалий среднемесячных значений и среднеквадратических отклонений на высотах в слое 0–2 км представлены в табл. 1.

Таблица 1

Диапазоны внутригодовых изменений трендов аномалий среднемесячных значений (Δ) и среднеквадратических отклонений ($\Delta\sigma$) температуры (T , °C/10 лет), относительной (RH , %/10 лет) и абсолютной (AH , $(100 \times \text{г/м}^3)/10$ лет) влажности воздуха в нижнем слое тропосферы 0–2 км для станций в разных климатических районах АРФ за 1964–2016 гг.

Станция	Δ_T	Δ_{RH}	Δ_{AH}	$\Delta\sigma_T$	$\Delta\sigma_{RH}$	$\Delta\sigma_{AH}$
Мурманск	0,1– 0,5	-1,8–0,3	-3,1–13,2	-0,2–0,1	0,2– 1,6	-0,8–2,2
о. Диксон	0,1– 1,0	-0,2–0,3	-5,5– 17,0	-0,2–0,2	0,3– 1,3	-3,3–7,5
Тикси	0,1– 0,7	-1,0–0,4	0,5–10,2	-0,1–0,2	-0,1– 0,9	-1,8–3,6

Примечание. Тренды со значимостью не менее 95 % отмечены жирным шрифтом.

На рис. 1–3 редкими наклонными линиями отмечены тренды со значимостью не менее 50 %, а сеткой – не менее 95 %; синими и розовыми отрезками отмечены максимальные и минимальные значения трендов соответственно. Тонкими чёрными и синими

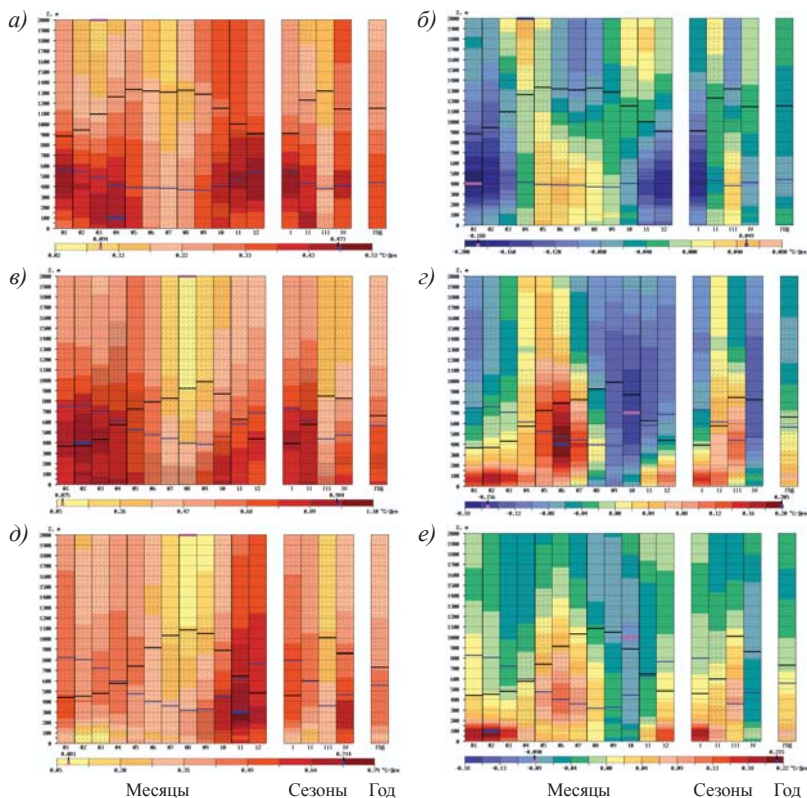


Рис. 1. Тренды аномалий температуры T (а, в, д; $^{\circ}\text{C}/10$ лет) и её среднеквадратических отклонений (б, г, е; $^{\circ}\text{C}/10$ лет) в слое атмосферы 0–2 км для каждого месяца, сезона и за год.

Тренды рассчитаны методом наименьших квадратов по данным радиозондирования за период 1964–2016 гг. на станциях Мурманск (а, б), о. Диксон (в, г), Тикси (д, е)

горизонтальными линиями на рисунках отмечены многолетние средние значения высоты уровня перемешивания (HML) и высоты приземной инверсии (HSI) соответственно. При анализе рисунков следует учитывать, что высоты уровня перемешивания были определены в 52, 30 и 29 %, а высоты приземной инверсии – в 22, 35 и 39 % зондирований для Мурманска, о. Диксон и Тикси соответственно.

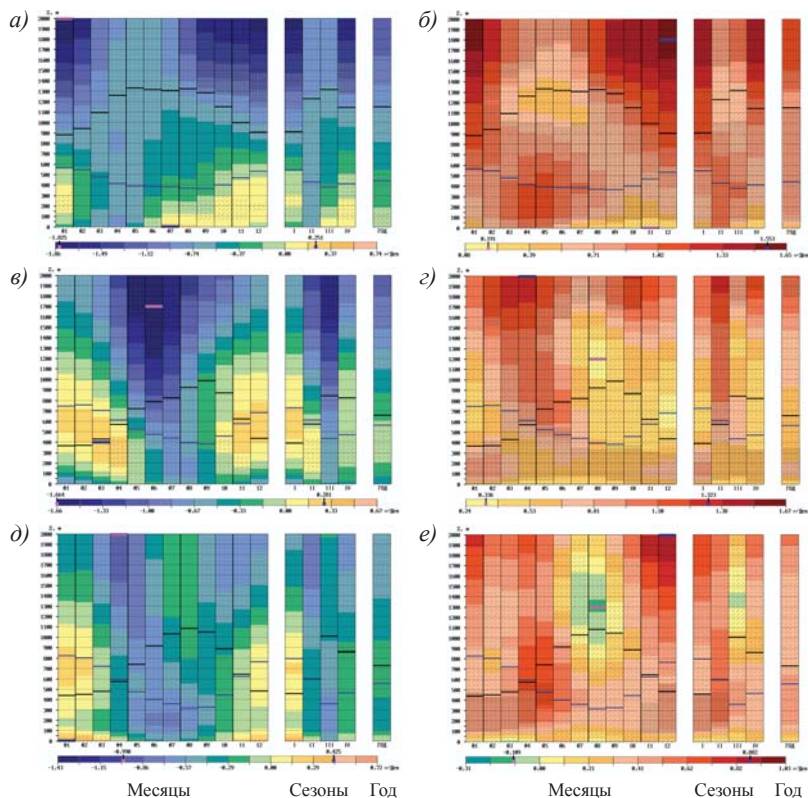


Рис. 2. Тренды аномалий относительной влажности RH воздуха (а, в, д; %/10 лет) и ее среднеквадратических отклонений (б, г, е; %/ 10 лет) в слое атмосферы 0–2 км для каждого месяца, сезона и за год. Тренды рассчитаны по данным радиозондирования за период 1964–2016 гг. на станциях Мурманск (а, б), о. Диксон (в, г), Тикси (д, е)

За год в целом (рис. 1–3) температура и абсолютная влажность воздуха возрастают в основном в слое 0–1,2 км, относительная влажность убывает во всём слое 0–2 км, наиболее существенно – в слое 1,3–2 км. Среднеквадратические отклонения температуры для Мурманска в слое 0–2 км и для о. Диксон и Тикси в слое 0,6–2 км убывают, а в слое 0–0,5 км – возрастают; для абсолютной влажности они возрастают для всех станций во всём слое 0–2 км,

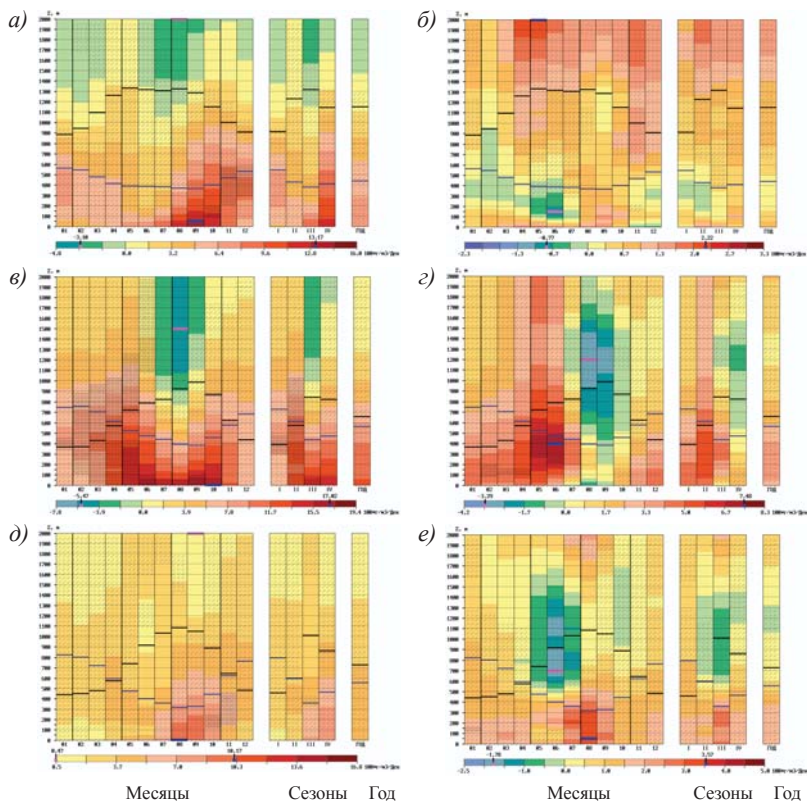


Рис. 3. Тренды аномалий абсолютной влажности воздуха АН (а, в, д; $(100 \times \text{г}/\text{м}^3)/10 \text{ лет}$) и их среднеквадратических отклонений (б, г, е; $(100 \times \text{г}/\text{м}^3)/10 \text{ лет}$) в слое атмосферы 0–2 км для каждого месяца, сезона и за год. Тренды рассчитаны по данным радиозондирования на станциях Мурманск (а, б), о. Диксон (в, г), Тикси (д, е) за период 1964–2016 гг.

за исключением слоя 1,1–1,3 км для Тикси, в котором видно слабое их убывание; для относительной влажности видно их возрастание во всём слое 0–2 км, наиболее значительное – в слое 1,3–2 км.

Диапазоны внутригодовых изменений трендов аномалий среднемесячных значений (табл. 1) температуры, относительной и абсолютной влажности воздуха в слое атмосферы 0–2 км для рассматриваемых станций составляют 0,1–1,0 °C/10 лет,

-1,8–0,4 %/10 лет и -5,5–17,0 ($100 \times \text{г/м}^3$)/10 лет, а для среднеквадратических отклонений: -0,2–0,2 °C/10 лет, -0,1–1,6 %/10 лет и -3,3–7,5 ($100 \times \text{г/м}^3$)/10 лет соответственно.

Амплитуда внутригодовых изменений в слое 0–2 км трендов аномалий среднемесячных значений и среднеквадратических отклонений для температуры составляет 0,4; 0,9; 0,6 и 0,3; 0,4; 0,3 °C/10 лет, для относительной влажности воздуха – 2,1; 0,5; 1,4 и 1,4; 1,0; 1,0 %/10 лет и для абсолютной влажности воздуха 16,3; 22,5; 9,7 и 3,0; 10,8; 5,4 ($100 \times \text{г/м}^3$)/10 лет соответственно для Мурманска, о. Диксон и Тикси. Таким образом, наибольшая амплитуда внутригодовых изменений в слое 0–2 км трендов аномалий среднемесячных значений и среднеквадратических отклонений для температуры и абсолютной влажности воздуха определена для о. Диксон, а относительной влажности – для Мурманска.

Максимальные тренды аномалий среднемесячных значений температуры воздуха в слое атмосферы 0–2 км составляют для Мурманска, о. Диксон и Тикси 0,5; 1,0 и 0,7 °C/10 лет соответственно (табл. 1), уровень их значимости – не менее 95 %, т. е. наибольшее потепление отмечено на станции о. Диксон, расположенной в Западно-Сибирском районе АРФ и являющейся самой северной из рассматриваемых станций. *Основные особенности распределения трендов аномалий температуры* воздуха в зависимости от сезона/месяца, высоты в слое 0–2 км и района АРФ (рис. 1 а, в, д) заключаются в следующем: в Североевропейском и Западно-Сибирском районах наиболее значительное потепление определено зимой, весной и осенью в слое 0–0,9 км, но максимальные тренды (отмечены синим отрезком) зафиксированы для Мурманска в апреле на высоте 0,1 км, а для о. Диксон – в феврале на высоте 0,4 км; в Восточно-Сибирском районе наиболее значительное потепление определено осенью в слое 0–0,5 км и максимальные тренды зафиксированы в Тикси – в ноябре на высоте 0,3 км.

Наибольшие положительные тренды аномалий относительной влажности воздуха в слое тропосферы 0–2 км составляют для Мурманска и о. Диксон 0,3 %/10 лет, для Тикси – 0,4 %/10 лет,

а наибольшие по модулю отрицательные тренды составляют -1,8; -0,2 и -1,0 %/10 лет для Мурманска, о. Диксон и Тикси (табл. 1). Таким образом, наибольшее уменьшение относительной влажности определено для Мурманска, а её увеличение – для Тикси. Следует отметить существенное *увеличение изменчивости относительной влажности*: максимальные положительные тренды аномалий её среднеквадратических отклонений составляют 1,6; 1,3; 0,9 %/10 лет для Мурманска, о. Диксон и Тикси соответственно. Видно, что изменчивость относительной влажности уменьшается в восточном направлении.

Основные особенности распределения трендов аномалий относительной влажности воздуха в зависимости от сезона/месяца, высоты в слое 0–2 км и района АРФ (рис. 2 а, в, д) заключаются в следующем: наиболее значительное уменьшение относительной влажности для всех изучаемых станций видно в слое 1,2–2 км, но для Мурманска – зимой и осенью, для о. Диксон – в конце весны и летом, для Тикси – весной; максимальные по модулю отрицательные тренды аномалий среднемесячных значений относительной влажности определены для Мурманска в январе, о. Диксон – в июне, Тикси – в апреле на высотах 2; 1,7; 2 км; максимальные тренды аномалий её среднеквадратических отклонений видны для Мурманска в декабре, для о. Диксон – в апреле и Тикси – в декабре на высотах 1,8; 2; 2 км соответственно.

Наибольшие положительные тренды аномалий многолетних средних и среднеквадратических отклонений для абсолютной влажности определены в конце лета и осенью в слое 0–0,4 км для средних значений и в слое 1,6–2 км для среднеквадратических отклонений. Наибольшие положительные тренды аномалий средних значений абсолютной влажности составляют 13,2; 17,0; 10,2 ($100 \times \text{г/м}^3$)/10 лет и среднеквадратических отклонений составляют 2,2; 7,5; 3,6 ($100 \times \text{г/м}^3$)/10 лет соответственно для Мурманска, о. Диксон и Тикси. Таким образом, наибольшие тренды аномалий как среднемесячных значений, так и среднеквадратических отклонений определены для абсолютной влажности для о. Диксон в Западно-Сибирском районе АРФ, для которого определено наибольшее потепление (табл. 1).

3.2. Внутригодовые изменения трендов аномалий разницы среднемесячных значений для сроков 12 и 00 ч температуры и влажности

С целью выяснения, в дневной или ночной срок наблюдается большее потепление и изменение влажности, были рассчитаны тренды аномалий разницы (d) средних значений для сроков 12 и 00 ч температуры и характеристик влажности воздуха, их среднеквадратических отклонений в слое 0–2 км для разных месяцев, сезонов и за год в целом.

Среди изучаемых станций только для Мурманска сроки 12 и 00 ч ВСВ приходятся на дневной и ночной срок по местному времени, т.к. сдвиг локального времени составляет 02 ч. Для станций о. Диксон и Тикси он составляет 5 и 9 ч соответственно. Поэтому на рис. 4 сглаженные тренды аномалий разницы средних значений для сроков 12 и 00 ч изучаемых метеовеличин и их среднеквадратических отклонений в слое 0–2 км для разных временных масштабов с учётом значимости трендов показаны для Мурманска. Он демонстрирует пространственно-временную неоднородность распределения трендов аномалий разницы средних значений для сроков 12 и 00 ч температуры и характеристик влажности в слое 0–2 км, их среднеквадратических отклонений. В табл. 2 представлены диапазоны внутригодовых изменений трендов аномалий разницы среднемесячных значений для сроков 12 и 00 ч температуры и характеристик влажности, их среднеквадратических отклонений ($\Delta^d\sigma$) в слое 0–2 км.

Таблица 2

Диапазоны внутригодовых изменений трендов аномалий разницы среднемесячных значений (Δ^d) для сроков 12 и 00 ч для температуры T , °С/10 лет, относительной влажности RH, %/10 лет, абсолютной влажности AH, ($100 \times \text{г/м}^3$)/10 лет в слое атмосферы 0–2 км и их среднеквадратических отклонений ($\Delta^d\sigma$). Тренды рассчитаны для Мурманска по данным радиозондирования за 1964–2016 гг.

Станция	Δ^d			$\Delta^d\sigma$		
	T	RH	AH	T	RH	AH
Мурманск	-0,2–0,1	-1,5–0,5	-11,5–0,0	-0,1–0,1	-0,5–0,5	-3,3–1,7

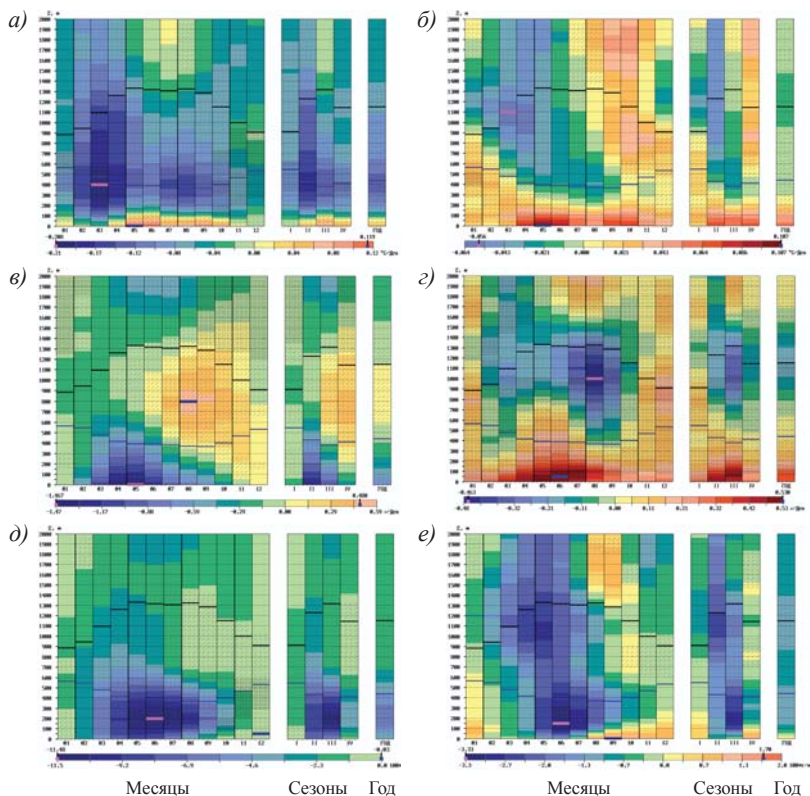


Рис. 4. Тренды аномалий разницы средних значений для сроков 12 и 00 ч температуры и характеристик влажности воздуха (а, в, д), их среднеквадратических отклонений (б, г, е) в слое атмосферы 0–2 км для каждого месяца, сезона и за год. Тренды рассчитаны по данным радиозондирования за 1964–2016 гг. на станции Мурманск. а, б – для температуры T ($^{\circ}\text{C}/10$ лет); в, г – для относительной влажности RH ($\%/10$ лет); д, е – для абсолютной влажности AH ($(100 \times \text{г}/\text{м}^3)/10$ лет).

Тренды аномалий разницы средних значений температуры для Мурманска (рис. 4а) за год в целом, для весны, лета и осени (с апреля по октябрь) в слое 0–0,1 км положительны, а в слое 0,1–2 км – отрицательны, т.е. в слое 0–0,1 км потепление усиливается днём больше, чем ночью, а в слое 0,1–2 км – наоборот, потепление ночью усиливается больше, чем днём; в конце осени,

зимой, в начале весны (с ноября по март) тренды отрицательные во всём слое 0–2 км, т.е. ночное потепление усиливается больше дневного во всем слое 0–2 км. *Тренды аномалий разницы среднеквадратических отклонений температуры* для сроков 12 и 00 ч (рис. 4б) за год в целом в слое 0–0,2 км положительные, т.е. изменчивость в 12 ч увеличивается больше, чем в 0 ч, а в слое 0,2–2 км – наоборот, изменчивость в срок 0 ч увеличивается больше, чем в 12 ч. Осенью изменчивость температуры возрастает днём больше практически во всём слое 0–2 км, зимой, весной и летом – в слоях от уровня земли до высот 0,9; 0,3; 0,2 км соответственно.

Тренды аномалий разницы средних значений относительной влажности для сроков 12 и 00 ч для Мурманска (рис. 4в) за год в целом, летом и осенью в слоях 0,6–1,1; 0,5–1,2; 0,2–1,5 км, соответственно, положительные, т.е. увеличивается разность её средних значений в срок 12 ч и срок 0 ч, особенно осенью; в остальных случаях эта разность уменьшается. Весной и летом в слое 0–0,4 км видно уменьшение разницы средних значений относительной влажности для сроков 12 и 00 ч, при этом увеличивается разница их среднеквадратических отклонений.

Абсолютная влажность увеличивается быстрее в срок 0 ч, чем в срок 12 ч во всём слое 0–2 км за год в целом и во все сезоны (рис. 4д). Весной и осенью для *разницы средних значений* абсолютной влажности в срок 12 ч и срок 0 ч наиболее существенное уменьшение видно в слое от уровня земли до высоты приземной инверсии (0–0,5 км), а для разницы их среднеквадратических отклонений (рис. 4е) наиболее существенное уменьшение видно весной в слое толщиной 0,4 км под высотой слоя перемешивания (на высотах 0,9–1,3 км), а летом – ниже от уровня земли до высоты приземной инверсии (0–0,5 км). Увеличение разницы среднеквадратических отклонений в срок 12 ч и срок 0 ч зимой и осенью видно в приземном слое, а также в августе и сентябре в слое выше высоты слоя перемешивания (на высотах 1,3–2 км).

3.3. Межгодовые изменения температуры и влажности воздуха на высоте 0,5 км

Для всех исследуемых станций максимальные значения трендов аномалий температуры и абсолютной влажности воздуха и их среднеквадратических отклонений определены в основном на высотах 0–1,2 км, поэтому более детально рассмотрим тенденции межгодовых изменений температуры и влажности воздуха на высоте 0,5 км м над уровнем земли с учётом сезона.

Временные ряды, линейные тренды, рассчитанные методом наименьших квадратов, и сглаженные временные ряды, полученные после десятикратного сглаживания временных рядов по трём точкам, сезонных аномалий температуры, абсолютной и относительной влажности на высоте 0,5 км для разных сезонов для Мурманска за 1964–2016 гг. представлены на рис. 5.

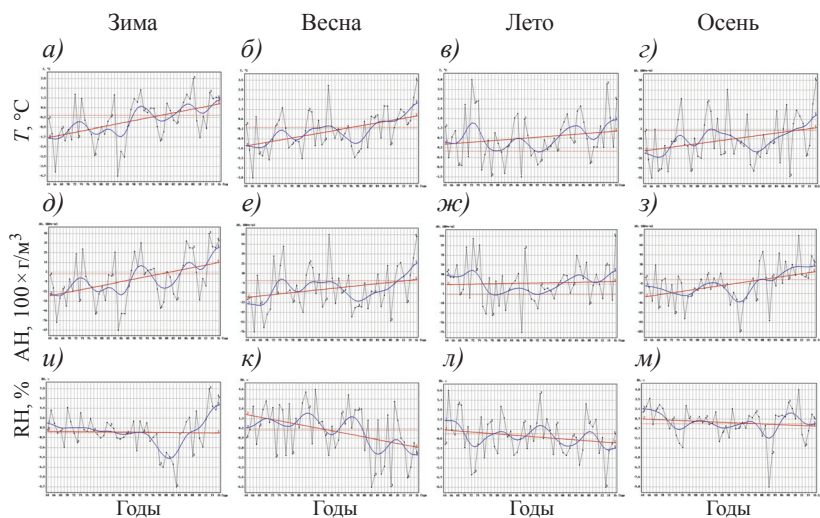


Рис. 5. Временные ряды (1 – чёрные линии, 3 – синие линии) и тренды (2 – красные линии) аномалий температуры T ($^{\circ}\text{C}/10$ лет) (а, б, в, г), абсолютной влажности AH ($(100 \times \text{г}/\text{м}^3)/10$ лет) и относительной влажности RH ($\%/10$ лет) на высоте 0,5 км для разных сезонов: З – зимы (а, д, и); В – весны (б, е, к); Л – лета (в, ж, л); О – осени (г, з, м) для Мурманска за 1964–2016 гг. 2 – линейные тренды, рассчитанные методом наименьших квадратов; 3 – сглаженные временные ряды, полученные после десятикратного сглаживания временных рядов по трём точкам.

Коэффициенты линейных трендов приведены в табл. 3. Рис. 5 показывает временную неоднородность долгопериодных изменений изучаемых параметров, существование квазипериодических колебаний для сезонных аномалий изучаемых метеовеличин.

Таблица 3

Линейные тренды Δ сезонных аномалий температуры T , абсолютной AH и относительной RH влажности на высоте 0,5 км над уровнем земли, рассчитанные методом наименьших квадратов по данным радиозондирования на станции Мурманск за 1964–2016 гг.

	Зима	Весна	Лето	Осень	Год
ΔT , °C/10 лет	0,49	0,43	0,14	0,40	0,37
ΔAH , (100 × г/м ³)/10 лет	7,61	5,14	1,12	1,12	5,83
ΔRH , %/10 лет	-0,06	-0,71	-0,30	-0,19	-0,34

Примечание. Тренды со значимостью не менее 95 % отмечены жирным шрифтом.

4. Заключение

На основе результатов радиозондирования за период 1964–2016 гг. получены новые данные о пространственно-временных особенностях долгопериодных изменений статистической структуры температуры и параметров влажности воздуха в слое атмосферы 0–2 км над российскими арктическими прибрежными станциями для разного временного масштаба осреднения.

Показано, что наблюдаемый климат нижнего двухкилометрового слоя атмосферы над прибрежной зоной Российской Арктики становится более изменчивым, распределения трендов температуры и параметров влажности воздуха неоднородны в пространстве и во времени.

Наиболее значительные долгопериодные изменения температуры и абсолютной влажности воздуха и их среднеквадратических отклонений определены в основном на высотах в слое 0–1,2 км, а для относительной влажности – на высотах в слое 1,3–2,0 км.

Полученные результаты могут быть полезны при климатических исследованиях, для нужд авиации и судоходства.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Оценочный доклад об изменениях климата и их последствий на территории Российской Федерации. Том 1. Изменения климата.* М.: Росгидромет, 2008. 227 с.
2. *Hartmann D. L., Klein Tank A. M. G., Rusticucci M. et al. Observations: Atmosphere and Surface.* /In: *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.* Cambridge, United Kingdom and New York, Cambridge University Press, 2013.
3. *Алдухов О.А., Черных И.В.* Методы анализа и интерпретации данных радиозондирования атмосферы. Т. 3. Влажность и температура в атмосфере: статистические характеристики. Обнинск: ВНИИГМИ-МЦД, 2015. 494 с.
4. *Стерин А.М.* О чувствительности оценок трендов температуры тропосферы и нижней стратосферы по данным радиозондирования. 1. Выбор массива данных, длины ряда и методов анализа // *Метеорология и гидрология.* 2004. № 5. С. 21–36.
5. *Алдухов О.А., Брюхань А.Ф.* Пакет программ статистической обработки аэрологических данных для оценки условий атмосферной дисперсии при геоэкономическом обосновании строительства АЭС и ТЭС // *Вестник МГСУ.* 2012. № 2. С. 188–193.
6. *Брюхань Ф.Ф., Иванов В.Н.* Концептуальная схема аэрометеорологических исследований при выборе пункта и площадки атомных станций // *Труды ИЭМ.* 1992. Вып. 55(155). С. 3–12.
7. *Бызова Н.Л., Гаргер Е.К., Иванов В.Н.* Экспериментальные исследования атмосферной диффузии и расчеты рассеяния примеси. Л.: Гидрометеиздат, 1991. 278 с.
8. *Соколов Ю.Ю.* Архив срочных аэрологических данных в пограничном слое на МЛ ЕС ЭВМ // *Труды ВНИИГМИ-МЦД,* 1987. Вып. 140. С. 48–55.
9. *Eskridge R. E., Alduchov O. A., Chernykh I. V. et al.* A comprehensive aerological reference dataset (CARDS): Rough and systematic errors // *Bull. Amer. Meteorol. Soc.* 1995. Vol. 76. P. 1759–1775.
10. *Гандин Л.С., Каган Р.Л.* Статистические методы интерпретации метеорологических данных. Л.: Гидрометеиздат, 1976. 359 с.
11. *Де Бор К.* Практическое руководство по сплайнам. М.: Радио и связь, 1985. 304 с.
12. *Стечкин С.Б., Субботин Ю.Н.* Сплайны в вычислительной математике. М.: Наука, 1976. 248 с.
13. *Алдухов О.А., Черных И.В.* Долгопериодные изменения скорости ветра в слое атмосферы 0–2 км над Российской Арктикой по данным радиозондирования за 1964–2016 гг. // *Метеорология и гидрология,* 2018. № 6. С. 52–66.
14. *Alduchov O. A. and Eskridge R. E.* Complex Quality Control of Upper Air Parameters at Mandatory and Significant Levels for the CARDS Dataset. Asheville, NC, National Climatic Data Center Report, 1996. 151 p.
15. *Алдухов О.А., Оржеховская В.А. и др.* Архив текущей аэрологической информации АЭРОСТАБ. Описание архива. Обнинск: ВНИИГМИ-МЦД, 1990. 28 с.
16. *Руденкова Т.В.* Формат архивации текущих аэрологических данных, поступающих по каналам связи для ПЭВМ // *Труды ВНИИГМИ-МЦД,* 2010. Вып. 174. С. 41–63.
17. *Алдухов О.А., Черных И.В.* Методы анализа и интерпретации данных радиозондирования атмосферы. Т. 1. Контроль качества и обработка данных. Обнинск: ВНИИГМИ-МЦД, 2013. 306 с.

УДК [556.535.2+551.577.6+632.123.1]

ОБЗОР ОПАСНЫХ ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЙ КРАСНОДАРСКОГО КРАЯ

Е. В. Гниломедов

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

Опубликовано большое количество работ, посвящённых проблеме изучения опасных гидрологических явлений (ОГЯ) в Северо-Кавказском, Причерноморском и Приазовском регионах Российской Федерации. В частности, в этих трудах затрагивается и территория Краснодарского края. Интерес авторов к данному району вызван уникальным сочетанием его экономической развитости, большой плотности постоянно проживающего и приезжающего в рекреационных целях населения и одновременно очень большим количеством опасных природных явлений, в том числе гидрологического характера.

Для Краснодарского края характерны следующие опасные и неблагоприятные гидрологические явления:

- приводящие к наводнениям половодья, паводки, заторы, зажоры, нагоны, прорывы плотин, запруд, завалов;
- нарушающие работу водозаборных сооружений и осложняющие навигацию на судоходных реках низкие уровни воды в межень;
- наносящие ущерб хозяйственным объектам или создающие опасность населённым пунктам сели и лавины;
- осложняющее навигацию раннее ледообразование.

Так, коллектив авторов из Московского государственного университета подробнейшим образом изучил генезис, возможность причиняемого ущерба и прочие характеристики наводнений в бассейне реки Кубань и других рек Восточного Приазовья и Черноморского побережья Кавказа [1]. Однако работ, полноценно рассматривающих весь спектр опасных гидрологических явлений

по Краснодарскому краю, не существует. Исправление данной ситуации и было поставлено целью настоящей статьи.

В статье также применена вероятностная оценка возникновения ОГЯ, связанного с высокими или низкими уровнями воды непосредственно на заданном участке реки. Исходным материалом в расчётах явились кривые обеспеченности максимальных и минимальных уровней воды на гидрологических постах Краснодарского края, которые были построены сотрудниками ОИТ ПОГИ по данным архивов ВНИИГМИ-МЦД.

Наводнения

В этом регионе наводнение – практически ежегодное стихийное бедствие, масштабы которого зависят от погодных условий. Также причины кроются в социальной сфере, в том числе в застроенности поймы, водоохранных зон и замусоренности русла реки, сильно заросшего на отдельных участках. В период паводков на территории края в зоны возможного затопления по данным 2013 года попадают 258 населённых пунктов, 42 431 дом, 16 107 человек, 59 мостов, 141 объект жизнеобеспечения, 71 объект социального назначения. Наиболее подвержены затоплениям территории муниципальных образований: Апшеронский, Лабинский, Курганинский, Мостовский, Новокубанский, Отраденский, Белореченский, Красноармейский, Славянский, Темрюкский, Туапсинский районы и гг. Армавир, Геленджик, Горячий Ключ, Новороссийск, Сочи (рис. 1).

Как свидетельствуют результаты исследования [1], в Краснодарском крае доминируют (по повторяемости, географическому охвату, масштабам последствий) стоковые наводнения, сопровождающие аномально высокие половодья и паводки, сбросы воды из водохранилищ, прорывы прудов и завальных озёр. Следом идут наводнения локально-ливневого генезиса, стоково-заторные и нагонные. Первые вызываются локальными и интенсивными дождевыми осадками (главным образом над урбанизированными территориями) и сопровождающими их мощными склоновыми потоками, «оживлением» временных водотоков и проблемами работы городской канализации; вторые – одновременным

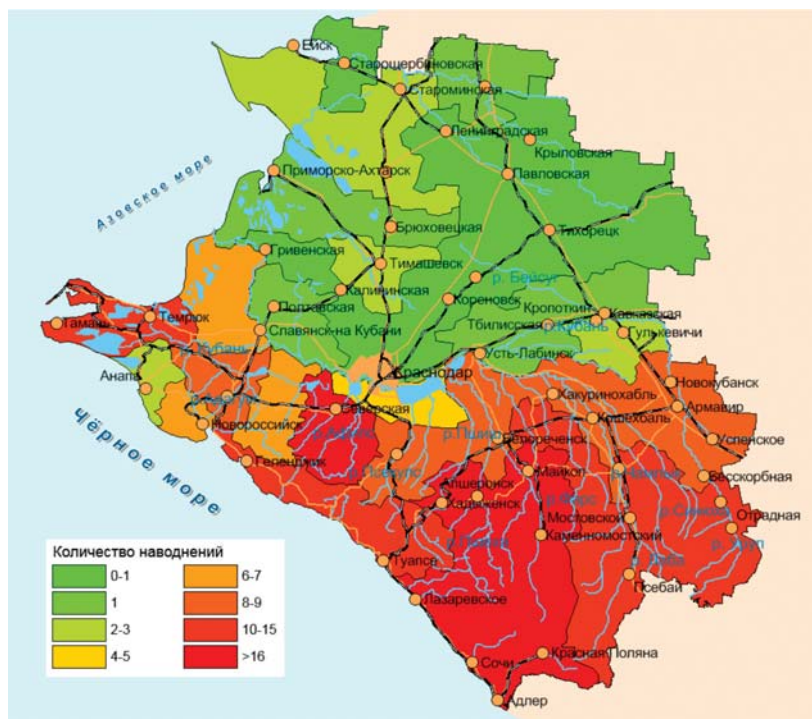


Рис. 1. Районирование Краснодарского края по числу наводнений стокового, стоково-заторного и локального ливневого генезиса за период с 1980 по 2015 г.

прохождением высоких паводков (или волны половодья) и формированием в речных руслах заторов льда или мощных заборов; третьи – морскими штормовыми нагонами. Минимальное число стоковых, смешанного типа и локально-ливневых наводнений характерно для районов равнинных и засушливых (к северу от р. Кубань), в пределах которых редка сеть постоянных водотоков, а имеющиеся реки сильно зарегулированы и имеют максимальный сток, главным образом, лишь во время короткого весеннего половодья (рис. 1). Их число и опасность возрастают в предгорной зоне, достигая максимума на юге Краснодарского края, как результат усложнения в этом направлении орографии и гидрографии местности, изменения водного режима рек (при

существенном увеличении доли дождевого стока, числа и мощности дождевых паводков), режима и количества атмосферных осадков и, в целом, увеличения числа факторов наводнений. Соотношение уровня выхода воды на пойму, отметки наступления ОЯ и максимального годового уровня воды различных обеспеченностей представлено в таблице.

Т а б л и ц а

**Возникновение ОЯ при высоких уровнях на водных объектах
Краснодарского края в пунктах наблюдения за водным режимом**

Код поста	Река – пункт	Максимальный годовой уровень воды различных обеспеченностей, см над «0» поста				Отметка наступления ОЯ, см над «0» поста (% обеспеч.)	Уровень выхода воды на пойму, см над «0» поста
		1%	5%	10%	25%		
82023	Куапсе – Мамедова щель	380	290	270	242	330 (1)	220
82026	Шахе – Солох-Аул	650	565	544	514	600 (2)	
82034	Сочи – с. Пластунка	710	636	614	578	650 (3)	
82039	Сочи – Сочи	447	381	358	321	360 (10)	
82046	Хоста – пос. Хоста	312	274	255	227	300 (2)	
82050	Мзымта – Красная поляна	409	360	337	305	430 (1)	290
82060	Мзымта – Казачий Брод	488	403	380	346	380 (10)	340
83161	Кубань – г. Армавир	840	617	564	505	550 (12)	500
83174	Кубань – ст. Ладожская	920	778	755	718	780 (5)	720
83286	Уруп – ст. Удобная	840	553	487	414	450 (15)	400
83338	Фарс – ст. Дондуковская	662	592	555	493	550 (11)	500
83348	Белая – Каменно-мостский	835	757	736	698	700 (23)	
83350	Белая – х. Грозный	640	550	519	465	400 (50)	
83372	Курджипс – Нижегородская	440	400	380	349	400 (5)	350
83378	Пшеха – г. Апшеронск	824	783	760	713	800 (3)	760
83385	Пшиш – г. Хадзыженск	960	860	797	720	800 (9)	600
83395	Псекупс – г. Горячий ключ	722	658	622	557	668 (4)	400

О к о н ч а н и е т а б л .

Код поста	Река – пункт	Максимальный годовой уровень воды различных обеспеченностей, см над «0» поста				Отметка наступления ОЯ, см над «0» поста (% обеспеч.)	Уровень выхода воды на пойму, см над «0» поста
		1%	5%	10%	25%		
83409	Афипс – Смоленская	1180	1138	1114	1071	1030 (43)	1000
83415	Убинка – ст. Северская	967	885	841	768	760 (27)	670
83801	Кубань – х. Тиховский	491	455	435	398	450 (6)	
83813	Кубань, рук. Петрушин – Темрюк	280	200	183	158	190 (7)	170
83818	Кубань, рук. Протока – г. Славянск-на-Кубани	444	425	412	384	450 (1)	

В последние 15 лет общее число наводнений увеличилось на 25 % по сравнению с периодом 1980–2000 гг. Состав факторов, пространственно-временные закономерности наводнений, величина и структура вызываемых ими ущербов и другие признаки позволяют разделить Краснодарский край на несколько крупных секторов – Восточное Приазовье, Черноморское побережье и бассейн р. Кубани.

Особенности наводнений в Восточном Приазовье

В Восточном Приазовье следует отдельно, во-первых, рассматривать морское побережье и лиманные устья Еи, Челбаса и Бейсуга, подверженные воздействию опасных морских нагонов и штормовых накатов (рис. 2). Они вызываются сильными западными и северо-западными ветрами. Большой ущерб, в том числе с человеческими жертвами, морские нагоны наносят г. Ейску и Ейской косе. Особым подрайоном являются устья рр. Ея, Челбас и Бейсуг. Это обширные заболоченные территории (плавни), периодические затопляемые речными (во время половодья) и морскими (во время штормовых нагонов) водами. В устье р. Еи нагоны способствуют проникновению в реку морских солоноватых вод из Ейского лимана (на расстояние около 8 км) и вызывает подъём воды у ст. Старощербиновской почти до 1 м [2].

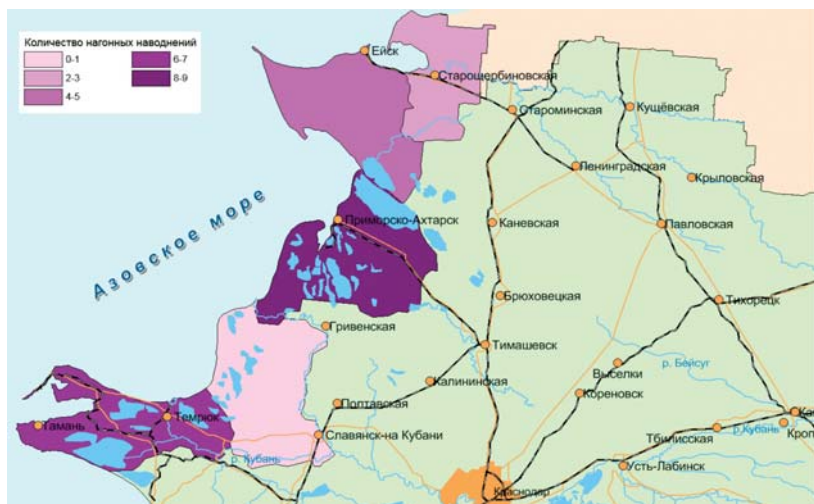


Рис. 2. Районирование территории Краснодарского края по числу нагонных наводнений за период 1980–2015 гг.

Второй участок – это долины рек Ея, Бейсуг, Челбас, Кирпили и их притоков. Здесь до недавнего времени основную угрозу представляли стоковые и стоково-заторные затопления во время весеннего половодья. Половодье здесь сравнительно непродолжительное и проходит обычно в марте. Оно отличается резким и кратковременным подъёмом, достигающим максимума за 4–5 дней. На пике половодья максимальная высота подъёма уровня над меженным варьирует от 1–2 м у большинства рек до 3–4 м в нижнем течении рек Ея и Куго-Ея. Это сравнительно немного, поскольку высота берегов на многих участках выше. Например, в среднем течении р. Бейсуг высота берегов 7–8 м, ниже по течению берега понижаются до 5–6 м [2]. В последние десятилетия максимальная высота подъёма уровня меньше в 2–3 раза. Во время половодья речные воды могут затопить пойму (обычно глубиной не более 0,5–1,5 м (до 40 % общей протяжённости); а на некоторых участках р. Ея – возможно, до 1–3 м), и уровень может даже достичь неблагоприятных и опасных отметок. Затопление поймы обычно кратковременно, например от 2 до 5 дней в районе ст. Дядьковской (р. Бейсуг).

В настоящее время рассматриваемые реки и их притоки регулированы многочисленными гидротехническими сооружениями (плотинами прудов и небольших водохранилищ, мостовыми переходами и переездами). Только в бассейне р. Ея насчитывается 732 таких сооружений; на р. Челбас и её притоках – 365 пруда; реки бассейна р. Бейсуг перегорожены 295 дамбами; на реках бассейна р. Кирпили – 363 перегораживающих сооружения. Единственное, что угрожает социально-хозяйственным объектам и сельхозугодьям вдоль этих рек – это стоковые затопления и наводнения вследствие стихийного прорыва плотин прудов и небольших водохранилищ на реках. Вероятность этого высока ввиду плохого состояния плотин, отсутствия у некоторых из них сбросных сооружений, сильного зарастания и заиления искусственных водоёмов (кое-где слой ила достигает 5–7 м) и др. Чтобы этого не произошло, весной организуются регулируемые прораны в плотинах, но не всегда успешно. В результате формируются волны прорыва и подтапливаются на р. Бейсуг и р. Левый Бейсужек станицы Брюховецкая, Дядьковская и Переясловская, пос. Киновия, хут. Лиманский и др., на р. Челбас – станица Новодеревянковская, населённые пункты Кубанская степь и Калинино, а также сельхозугодья.

На р. Кирпили в зоне риска находятся прибрежные территории г. Тимашевска, пос. Медведовское, на р. Ее – ст. Кущёвская. Ширина полосы затопления невелика – от нескольких десятков до сотен метров. В случае неконтролируемого прорыва плотины, что объективно возможно в силу вышеуказанных причин, зона затопления и масштабы ущерба будут существенно больше. Последнее крупное стоковое наводнение естественно-антропогенного происхождения было в марте 1998 г. Тем не менее ввиду большой высоты берегов и защищённости ряда пунктов дамбами протяжённость опасных участков существенно меньше (менее 1/3) протяжённости безопасных.

Третий фактор затопления – локальные ливневые осадки и быстрое таяние снежного покрова. В условиях малых уклонов местности, несовершенной ливневой канализации в населённых пунктах, в случае замёрзшей почвы, при высоком стоянии

уровней подземных вод они могут приводить к затоплению отдельных сельскохозяйственных угодий (на междуречье) и урбанизированных территорий. Так было в июне 1993 г. (Староминский район), в июле 2003 г. (Ейский район), в июле 2013 г. (Короновский и Динский районы).

В целом, в настоящее время это самый безопасный в плане наводнений сектор Краснодарского края. Это предусматривает в отношении данной территории ограниченный перечень мероприятий по снижению рисков наводнений. В первую очередь он должен включать меры по защите г. Ейска от нагонных наводнений, реконструкцию гидротехнических сооружений на реках и защитных дамб в районах населённых пунктов и на уязвимых участках.

Особенности наводнений на Черноморском побережье

Черноморское побережье РФ относится к территориям с очень высокими рисками наводнений. Но на побережье, несмотря на сравнительно небольшие его размеры, ситуация с опасностью наводнений также неодинакова. Наиболее безопасен Анапский район (рис. 1). В условиях равнинной и предгорной территории, малого количества осадков и редкой русловой сети они не могут конкурировать по числу и катастрофичности наводнений с остальными муниципальными районами Черноморского побережья. В Темрюкском и Анапском районах основную опасность формируют затопления при локальном и высокоинтенсивном выпадении ливневых осадков.

В Новороссийском, Геленджикском, Туапсинском и Сочинском районах чаще всего наводнения на освоенных участках речных долин вызывают экстремальные по своим характеристикам дождевые паводки и мощные склоновые потоки [3]. Их формируют главным образом продолжительные или высокоинтенсивные осадки (при прохождении мощных циклонов, атмосферных фронтов и, как особый случай, при выходе на сушу и разрушении так называемых водяных смерчей). Паводки формируются за короткое время, отличаются большой скоростью перемещения воды и наносов, что придаёт им огромную разрушительную силу. Незначительная часть наводнений на побережье была вызвана снеготалым стоком,

прорывом плотин водохранилищ или совместным действием нескольких факторов. Дополнительно для побережья возможны затопления во время штормовых нагонных накатов, причём той части суши, которая занята портовой инфраструктурой и объектами курортно-рекреационной отрасли. Иногда действуют одновременно два фактора – подпор со стороны моря, нагон и паводок на реке (пос. Сукко – август 2002 г., март 2011 г.).

Высокие риски наводнений в Новороссийском, Геленджикском, Туапсинском и Сочинском районах, помимо особенностей водного режима рек и большой густоты здесь речной сети, обусловлены также расположением основной части населённых пунктов, объектов промышленности, социальной сферы и курортной индустрии, транспортной инфраструктуры в долинах и устьях черноморских рек.

Формирование паводков, приводящих к наводнениям, возможно и в верхнем, и в среднем течении реки. В случае выпадения ливневых осадков в низовьях реки к затоплениям приводит не столько подъём уровня в русле реки (он просто не успевает достичь критических отметок), сколько мощные склоновые потоки, особенно в местах выхода так называемых щелей. Во время паводков затопляется всё днище речной долины. Поэтому вся эта территория – зона значительных рисков для природопользования.

Поскольку почти все черноморские реки имеют паводочный тип водного режима, экстремальные максимальные расходы воды могут формироваться неоднократно и в любое время года, но с явным преобладанием в осенне-зимние месяцы. Отличие в режиме имеет р. Мзымта, у которой значительную часть стока формируют талые воды ледников и высокогорных снежников в весенне-летний период. Несмотря на эти особенности режима черноморских рек, большая часть наводнений за последние 50–100 лет отмечалась в период лето–осень – 75 %. Вероятности (обеспеченности) возникновения ОЯ при высоких уровнях воды на Черноморском побережье Краснодарского края показаны на рис. 3.

Ущерб, наносимый населению и хозяйству региона наводнениями, очень велик вне зависимости от размеров территории и числа водосборов, охваченных осадками и подъёмом уровня



Рис. 3. Вероятность (обеспеченность) возникновения ОЯ (высокие уровни) на водных объектах Черноморского побережья Краснодарского края в окрестностях пунктов наблюдения за водным режимом

воды на реках. Это доказывают события прошлых лет. Самые катастрофические наводнения были в 1991 г. (Сочинский и Туапсинский р-ны), 2002 г. (Сочинский и Новороссийский р-н), 2010 г. (Туапсинский р-н) и 2012 г. (Геленджикский и Туапсинский р-ны). Ущерб от наводнений в августе 1991 г. оценили примерно в 230–345 млн дол., число жертв составило 27 чел.; в августе 2002 г. – в 58,2 млн дол. и 59 чел.; в октябре 2010 г. – в 30–90 млн дол. и 17 чел.; в августе 2012 г. – в 33 млн дол. и 4 чел. (только по Туапсинскому р-ну) [3].

Снижению риска стоковых затоплений, в первую очередь, будет способствовать проведение соответствующих противопаводковых мероприятий: реконструкция существующих и строительство новых защитных дамб, освобождение русел рек от отложений, увеличение площади поперечного сечения русла на участках мостовых переходов через русла рек, усиление надёжности и безопасности гидротехнических сооружений в бассейнах рек, мораторий на сведение горных лесов.

Особенности наводнений в бассейне Кубани

Бассейну присущи наводнения стоковые (во время половодья, дождевых и оттепельных паводков, одновременно паводков и половодья, аномально высоких сбросов из искусственных водоёмов или их прорыва), стоково-заторные, стоково-морфодинамические, нагонные, локально-ливневого генезиса, подтопления; естественного и естественно-антропогенного происхождения; во все месяцы и сезоны года [4, 5, 6]. Максимум числа наводнений приходится на июнь–июль, а минимум – на январь–февраль. Преобладают наводнения смешанного типа (дождевое + таяние снега), а число заторных наводнений значительно в феврале–апреле, а нагонных – октябре–декабре.

Согласно данным Г. А. Галкина, за 275-летний период (с 1700 по 1975 г.) больше всего наводнений в бассейне, упоминающихся в различных литературных источниках, было вызвано суммарным воздействием катастрофических дождевых паводков и аномально высокого половодья, обусловленного интенсивным таянием ледников. Следующие по повторяемости – это стоково-заторные и стоковые наводнения во время прохождения катастрофических дождевых паводков (3), интенсивного таяния сезонных снегов в результате резкой оттепели и дождей (4), аномально высокого половодья, обусловленного интенсивным таянием ледников (5), и нагонные (6). Локально-ливневого генезиса наводнения в этой работе не рассматривались. Чаще всего наводнения случались с марта по август, т. е. основным условием их возникновения всё же был максимальный речной сток во время половодья и паводков и опасные ледовые явления.

На ряде участков возможны опасные затопления, т. е. с превышением максимальных уровней воды в реке отметок неблагоприятного (НЯ) и даже опасного явления (ОЯ) (рис. 4, 5). Но, в целом, опасность и величина наводнений в этом районе мала в силу умеренных характеристик максимального стока и опасных ледовых явлений, морфологических ограничений (отсутствия поймы или её малых размеров), малой плотности и сравнительно безопасного расположения населённых пунктов, производственных объектов, сельхозугодий. Это – территория,

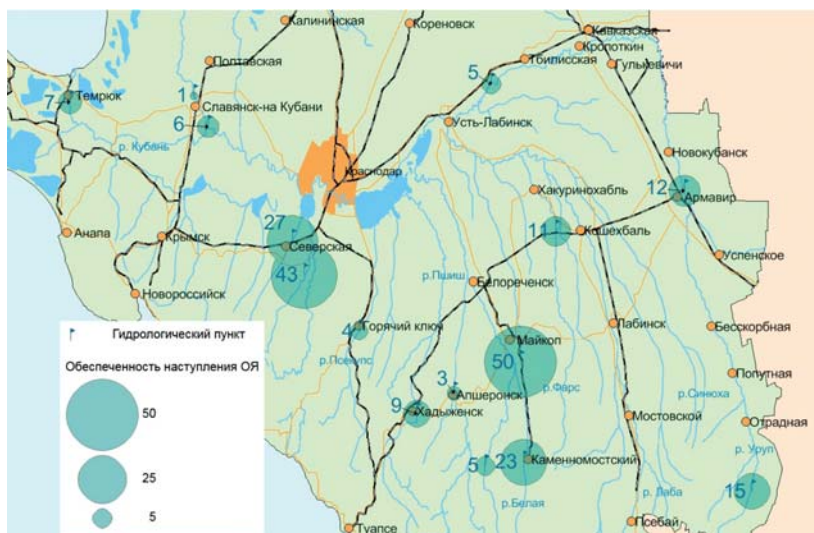


Рис. 4. Вероятность (обеспеченность) возникновения ОЯ (высокие уровни) на водных объектах бассейна р. Кубань в окрестностях пунктов наблюдения за водным режимом



Рис. 5. Карта опасности превышения отметки опасного явления (ОЯ) в бассейне р. Кубань

где главную опасность создают сели, обвалы, лавины, а также возможны прорывы завальных озёр.

Однако не при всех максимальных расходах отмечаются наводнения, а лишь когда их величина больше пропускной способности естественного русла. Так, на р. Кубань коренное русло ниже г. Краснодара вмещает объём воды с расходом $1\,000\text{ м}^3/\text{с}$, а при большем его значении начинается выход воды на пойму. Со строительством оградительных валов вдоль русла Кубани пропускная способность последнего увеличилась до $1\,500\text{ м}^3/\text{с}$, что резко сократило количество наводнений. Для предотвращения затопления в дельте р. Кубань построено Краснодарское водохранилище, с созданием которого практически прекратилось затопление в нижнем течении реки. Однако ливневые дожди (6–7 июля 2012 года), составившие за несколько часов пятимесячную норму осадков для г. Крымска способствовали катастрофическому наводнению.

На реках бассейна р. Кубань повсеместно отмечаются зажоры и заторы, наносящие значительный ущерб различным отраслям экономики, связанным с потреблением воды. Зажоры, как правило, развивающиеся при малой водности рек, не создают значительных наводнений, но вызывают местные подтопления, значительные затруднения для водоснабжения и работы ГЭС. Зажоры образуются на шугоносных реках осенью в период формирования ледового покрова. Формируются они в местах резкого изменения уклона реки, а также повышенной извилистости и сужения русла. Кроме того, зажоры образуются при ледоставе ниже больших полыней в результате заноса шуги под ледяной покров. На горных участках рек зажоры формируются при интенсивном шугоходе в местах недостаточной ледопроемной способности русла, наличии валунов, на которых образуются ледяные перемычки. В результате стеснения русла зажорами создаётся не только подпор, но и понижается скорость течения, и подплывающие шуговые скопления останавливаются без торошения и смерзаются. Толщина зажорных скоплений зависит от формы поперечного профиля русла и может достигать на р. Кубань 5 м, а длина скоплений – 13–10 км.

Средние подъёмы уровня воды, вызванные зажорами, на большинстве рек бассейна р. Кубань не превышают 10–20 см. В то же

время максимальные величины зажорного подъёма уровня достигают 70–100 см, но на некоторых реках максимальная величина зажорного подъёма составляет 100–200 см и даже более 300 (рис. 6). При значительных зажорах, особенно сопровождаемых оттепелью или выпадением обильных атмосферных осадков, наблюдаются подтопления населённых пунктов, а после прорыва зажора – наводнения.

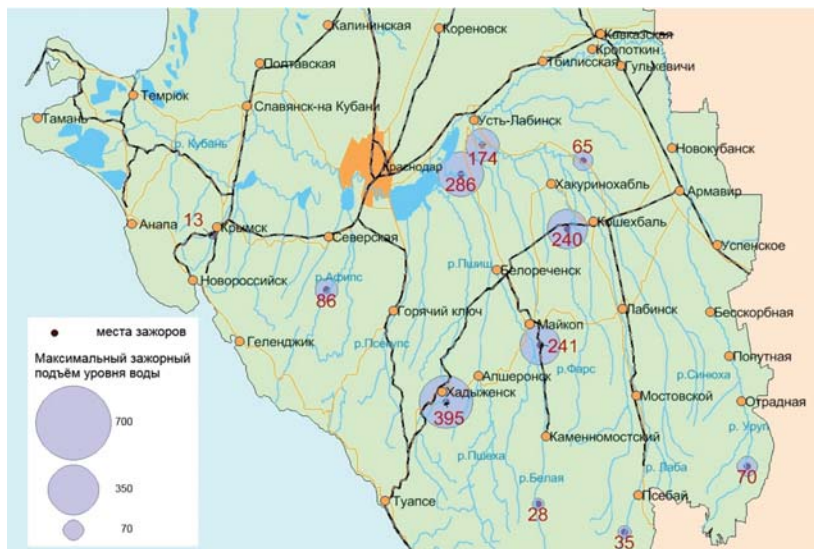


Рис. 6. Максимальная величина зажорного подъёма (см)

Значительные, нередко катастрофические наводнения вызывают заторы. Затор льда представляет собой многослойное скопление льдин в русле реки, вызывающие стеснение живого сечения и вызывающее подъём уровня воды на участках реки выше затора. При этом нередко образуется целая «цепочка» заторов и соответственно захватывается наводнением обширный район, как это было, например, на нижнем участке р. Кубань в январе 2002 г. (рис. 7).

Причинами образования заторов являются морфометрические особенности русла реки (сужения русла, извилистость, уклоны), прочность льда перед ледоходом, интенсивность ледохода и характер подъёма уровня воды в этот период. Наблюдаются заторы



Рис. 7. Динамика максимальных годовых уровней воды (Нмах годовой) и их соотношение с уровнем наступления ОЯ (Ноя), р. Кубань – г. Армавир

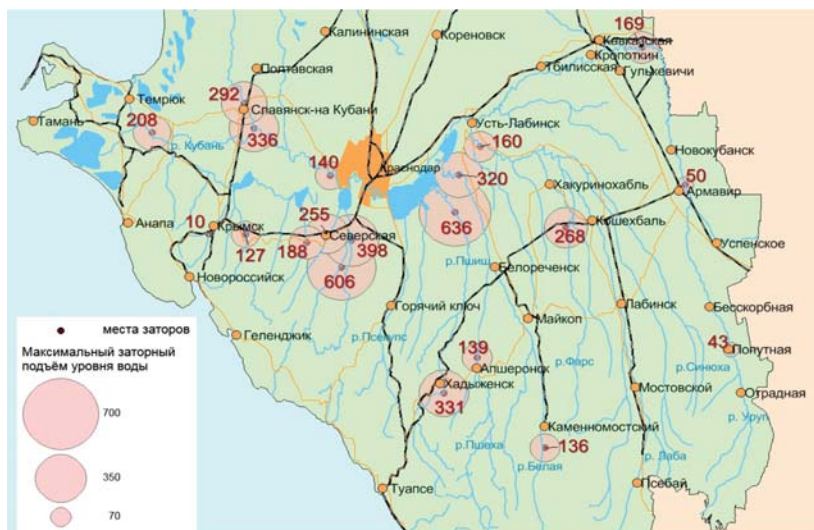
в тех же местах, где и зажоры (рис. 8). Протяжённость заторов в бассейне р. Кубань невелика и обычно не превышает 1–2 км.

Ниже заторов уровни воды понижаются, причём при значительных заторах отмечается резкое падение уровня воды до самого низкого его положения в году. Зона пониженного уровня обычно не превышает нескольких километров.

Продолжительность заторов льда в среднем не превышает 1–2 дней, иногда нескольких часов, но отмечены случаи, когда заторные явления продолжались непрерывно по 10–15 дней.

В целом необходимо отметить широкое развитие в бассейне р. Кубань зажоров и заторов, причём по среднему годовому числу их повторяемость примерно одинаковая. Общим для зажоров и заторов является сравнительно небольшая высота подъёма уровня при них. Исключение составляет низовье р. Кубань, а также нижние течения рек Фарса, Белой, Пшиша, Шебша и Убинки, где заторные уровни воды могут достигать весьма значительных величин (рис. 8).

В рассматриваемом регионе имеются водохранилища и озёра, периодически прорывающие свои плотины-запруды, однако значительных наводнений при этом не отмечалось. Прорыв плотин на водохранилищах (прудах) неоднократно наблюдался на реках бассейна р. Кубань. В связи с их небольшими объёмами наводнения не наносили серьёзного ущерба населённым пунктам и сельскохозяйственным постройкам.



Особый район в бассейне р. Кубань формирует её уникальная дельта. Причин затоплений в дельте р. Кубань особенно много, и они уже не раз приводили к крупным наводнениям [4, 7]. Последнее масштабное наводнение было зимой 2001/02 года. За последние 100 лет чаще всего наводнения в дельте р. Кубань случались во время зимних паводков и одновременно заторов льда (50–60 %). Следом по повторяемости идут наводнения стоковые (35–45 %) и нагонные (около 10 %) [1].

Наводнений при зажорах здесь случается гораздо меньше, поскольку зажорные уровни превышают предзажорные на 20–40 см и очень редко 60–130 см. Соответственно при зажорах формируются небольшие наводнения, охватывающие незначительные участки долин рек. Длительность зажорных наводнений непродолжительна, обычно не более 1–2 дней.

Наводнения 2001 и 2002 годов показали, что дельта р. Кубань хорошо защищена от дождевых и хуже от заторных и нагонных наводнений. Небольшие нагоны отмечаются ежегодно, а выдающиеся – один раз в 50–75 лет. При нагонах уровень воды повышается на 0,5–7,0 м и высота его зависит не только от

скорости ветра, но и от расстояния, на которое нагонная волна распространяется вверх по реке. При этом чем меньше уклон водной поверхности и больше глубина реки, тем большее расстояние охватывает повышение уровня. При максимальных нагонах их волна продвигается вверх по р. Кубань на 75 км.

Разливы речных вод, в том числе опасные, с трансформацией в наводнения могут происходить в дельте в любой сезон, поскольку критические максимальные расходы воды могут сопутствовать весенне-летнему половодью, дождевым и оттепельным паводкам и поэтому проходить в любое время года. Особенно часто максимальные расходы воды фиксировались в вершине дельты до 1972 г. в марте (13 %), в мае–июле (54 %), в декабре (11 %) и реже всего в сентябре (<1 %) [1].

Во второй половине XX в. и начале XXI в. число речных наводнений в дельте уменьшилось и особенно мало их стало с 1970-х годов. [4, 7]. Существенно уменьшились повторяемость, продолжительность и глубина затопления междомбовой поймы (например, на участке г. Славянск-на-Кубани соответственно с 70 до 3 %, с 10 до 3 сут., с 0,4 до 0,2 м, а максимальная глубина – с 1,1 до 0,2 м), а стоковых наводнений вообще больше не было, хотя в бассейне р. Кубань в 1980, 1989, 1992 гг. и особенно в 2002 г. они нанесли огромный ущерб (рис. 9). Это произошло благодаря масштабному обвалованию речных русел (их длина ~650 км), периодическим дноуглубительным работам и расчистке русел, регулирующей деятельности противопаводковых водохранилищ, интенсификации эрозионных процессов (особенно после сооружения Краснодарского водохранилища) и понижению уровней воды в реке и рукавах.

В результате вероятного в обозримом будущем потепления климата региона и связанных с ним гидрологических последствий ситуация с наводнениями в дельте р. Кубань изменится. Во-первых, увеличатся повторяемость и мощность осенне-зимних паводков и, наоборот, уменьшится водность летнего сезона. Во-вторых, может измениться характер заторообразования в водотоках дельты, причём в разных направлениях. Так, росту числа зим с заторами будут способствовать увеличение расходов воды в зимний сезон,



Рис. 9. Динамика максимальных годовых уровней воды (Нмах годовой) и их соотношение с уровнем наступления ОЯ (Ноя), р. Кубань, рук. Петрушин – г. Темрюк

количества шуги осенью и в начале зимы и повторяемости зажоров. Наоборот, уменьшению частоты и мощности заторов будут способствовать повышение температур воздуха и воды, сокращение числа суровых зим, количества, толщины и прочности ледяного покрова на реке, в рукавах дельты и на устьевом взморье. Со временем, в итоге, повторяемость и продолжительность заторов в низовьях и дельте р. Кубань должны уменьшиться.

Таким образом, как следует из вышеизложенного, в бассейне р. Кубань повсеместно отмечаются не только ежегодные, но и выдающиеся и катастрофические наводнения различного генезиса. В последние десятилетия их повторяемость увеличилась. Связано это не только с возрастанием количества атмосферных осадков в связи с потеплением климата, но и с ухудшением состояния защитных и гидротехнических сооружений, непродуманным строительством большого числа промышленных объектов, жилых домов, мостов в зонах, подверженных стихийным бедствиям.

На территории Краснодарского края, на территории 29 муниципальных образований реализована автоматизированная система мониторинга паводковой ситуации (АСМПСКК). Система состоит из 190 автоматических гидрологических комплексов (АГК), системы сбора, обработки и визуализации данных, подсистемы экстренного оповещения должностных лиц и устройств светозвуковой сигнализации оперативных дежурных ЕДДС о наступлении неблагоприятных или опасных явлений.

В штатном режиме функционирования АСМПСКК гидрологическая информация, содержащая текущие уровни воды в реках и водоёмах в режиме реального времени, поступает в Центр сбора и обработки данных (ЦСОД). В ЦСОД вся поступающая информация анализируется и сравнивается с заданными для каждого гидропоста значениями, соответствующими неблагоприятному или опасному уровням воды.

Низкая межень

Помимо наводнений не меньшую опасность для природы, населения и хозяйственного комплекса Краснодарского края представляют маловодья. Эти явления нарушают нормальный режим водоснабжения населённых пунктов и промышленных предприятий, затрудняют функционирование оросительных систем и водного транспорта, снижают урожайность сельскохозяйственных культур, приводят к уменьшению степени обводнения лиманов, вызывают ухудшение условий обитания гидробионтов, способствуют ухудшению качества воды.

Естественные причины маловодий – продолжительное сохранение жаркой и сухой погоды, в результате чего истощаются запасы воды в русловой сети, водоёмах и подземных водоносных горизонтах. Ситуация сильно усугубляется во время серии маловодных лет и при хозяйственном изъятии части водного стока.

У каждого водопользователя и водопотребителя своё понимание маловодья, допустимого или критического минимального объёма стока, минимальных уровней и расходов воды. Работу водного транспорта в период межени лимитируют малые глубины. Для миграции, прохода на нерест, размножения и нагула промысловых и рыб ценных пород необходимы достаточные объёмы водного стока, высокие уровни воды и затопление русловых, пойменных и лиманных естественных нерестилищ весной – летом (для некоторых видов рыб – осенью).

Нормальное (нормативная обеспеченность 75 %) функционирование обводнительных (опреснительных, рыбомелиоративных) систем зависит от расходов воды в рукавах в течение почти всего года. Бесперебойное, круглогодичное и нормативное (95 %-ная

обеспеченность) водоснабжение промышленных предприятий и населённых пунктов возможно в зависимости от источника поступления воды при достаточных запасах грунтовых и артезианских вод, при соответствующих уровнях и расходах воды.

Для любых водозаборных сооружений наиболее важной проектной характеристикой является критический уровень воды ($H_{кр}$) (или определяющий его расход воды $Q_{кр}$) в водотоке, а также многолетняя обеспеченность $H_{кр}$ и число дней в году с $H \leq H_{кр}$ (или $Q \leq Q_{кр}$). Ниже $H_{кр}$ невозможен или сильно затруднён отбор воды в канал или трубы. Функционирование водозаборных сооружений, кроме того, осложняет русловые деформации (горизонтальные, эрозия русла и сопутствующее ей понижение уровня воды в водотоке), заиление и зарастание магистральных каналов (например, Куликово-Курчанского и Пригибского), заиление подводящих (к шлюзу, к насосной станции) каналов [8].

Несоответствие между проектным режимом водопотребления и фактическими расходами воды в рукавах не раз нарушало нормальную работу водозаборных сооружений Краснодарского края. Например, при расходах воды на нижнем участке рукава Кубань менее $40 \text{ м}^3/\text{с}$ водозаборы в Таманский групповой и Анапский водоводы работают неустойчиво, и водоподача в них осуществляется с перебоями.

Ниже Краснодарского ГУ условия маловодья в основном отмечаются в осенне-зимние месяцы и в марте. Поэтому ситуация с «опасным» маловодьем обычно затрагивает лишь обводнительные системы, коммунальное и промышленное водоснабжение, которые функционируют круглый год. «Правилами эксплуатации Краснодарского и Тиховского гидроузлов» определено, что в маловодные периоды расходы воды в реке не должны быть меньше $80 \text{ м}^3/\text{с}$ (в рук. Кубань – $40\text{--}50 \text{ м}^3/\text{с}$, в рук. Протока – $40\text{--}30 \text{ м}^3/\text{с}$). Это, так называемые, минимально допустимые или санитарные расходы воды, при которых основные ГТС ещё могут осуществлять отбор воды из реки. В особо маловодные периоды «Правилами ...» допускается снижение санитарного расхода воды р. Кубань до $60 \text{ м}^3/\text{с}$.

При сбросах в рукава коллекторно-дренажных вод с полей, промышленных и коммунальных стоков (разной степени

очистки) требуется наличие достаточного количества речных вод, способных разбавить использованные воды до нормативных экологически приемлемых показателей. В маловодные периоды выполнение этих требований крайне затруднено. Эти проблемы в основном присущи участку рук. Протока ниже сбросов с Марьяно-Чебургольской ОС и Черноерковской ОС и рук. Кубань ниже сбросов из Варнавинского водохранилища и Темрюкской ОС. Кроме того, важно отметить, что сбросные сооружения этих систем расположены в дельте Кубани ниже по течению крупных водозаборов, существенно уменьшающих поступление «чистых» речных вод к проблемным участкам рукавов и их разбавляющую способность.

Навигация на Кубани в последнее время практически не осуществляется. Тем не менее нижний участок реки, рукава Протока и Кубань по-прежнему считаются судоходными, хотя и со сложными условиями для плавания, и входят в водно-транспортную систему Краснодарского края. После 1973 г. нормальную работу водного транспорта позволяют осуществлять соответствующие попуски из Краснодарского водохранилища, регулирование уровней и расходов воды Федоровским и Тиховским гидроузлами, дноуглубление перекатов и устьевых баров. Судоходные условия в нижнем течении Кубани обеспечиваются при попусках в нижний бьеф Краснодарского ГУ расходов воды не менее $430\text{--}450\text{ м}^3/\text{с}$ до Федоровского ГУ (за исключением ноября – $240\text{ м}^3/\text{с}$), а от ФГУ до Тиховского ВГУ – при расходах не менее $320\text{ м}^3/\text{с}$ [8].

Сооружение Краснодарского водохранилища в 1973 г. изменило меженный сток Кубани. В результате маловодья в низовьях и дельте реки перестали быть катастрофическими, как раньше.

Сели

Селевые потоки обусловлены в основном гидрометеорологическими, топографическими и геологическими факторами. Такие селеобразующие факторы, как крутизна склонов, уклоны русел, запасы рыхлого обломочного материала, горные породы бассейна, из года в год изменяются мало. Поэтому основным фактором,

определяющим образование селевых потоков, является гидрометеорологический, а именно следующие его характеристики: ливневые дожди, резкие повышения температуры воздуха, увлажнённость почвы, толщина снежного покрова. Степень селевой опасности зависит от следующих показателей: 1 – интенсивность проявления процесса, 2 – разрушительные свойства процесса, 3 – активность использования данного участка человеком.

Отдельно рассмотрим специфику образования селей в бассейне р. Кубань и на Черноморском побережье Краснодарского края.

Сели в бассейне Кубани

Значительная часть бассейна р. Кубань (47,8 %) является селеопасной, с различной степенью опасности. Всего в бассейне р. Кубань в пределах Краснодарского края в зоне селеопасности находятся 32 населённых пункта, объектов экономики, оздоровительных учреждений и 12 участков автомобильных и железных дорог.

Преобладающая часть селей в бассейне Кубани по генезису относится к дождевым (84 %), которые образуются при выпадении атмосферных осадков 75–100 мм за 12 часов. Нередко осадков выпадает больше, и тогда отмечается прохождение особо крупных селевых потоков, причём на значительной территории. Наряду с суточным количеством осадков большое влияние на образование селей оказывают суммы осадков за предшествующие месяцы, которые характеризуют увлажнённость территории. Ливневые осадки приводят к образованию селей в локальных районах, а фронтальные – на значительных территориях бассейна.

Образование гляциальных селей связано с высокими температурами воздуха, вызывающими активное таяние снега и льда на ледниках. Чаще всего отмечаются не чисто гляциальные сели, а смешанные, когда после нескольких дней с очень высокой температурой воздуха выпадает ливневой дождь, который и провоцирует образование гляциально-дождевого селя. Подобных селей в бассейне р. Кубань отмечается 9,0 % от их общего количества.

Отмечаются в бассейне лимногенные сели, образующиеся в результате прорыва естественных запруд. Лимногенные сели в бассейне составляют 2,0 % от их общего числа.

Селеопасный период на территории продолжается с середины марта по середину октября. Период наибольшей опасности приходится на летнее время, когда выпадает максимальное количество осадков и в высокогорной зоне интенсивно тают снег и лед. В этот период отмечается до 70 % всех селей и практически 100 % всех катастрофических селей. Однако на реках Псекупс, Афипс, Адагум селевые потоки отмечаются и в январе–марте, что связано с частыми здесь зимними оттепелями и паводками рек, вызываемых как значительными атмосферными осадками, так и таянием снега.

В бассейне преобладают наносоводные потоки (50,0 %). Они образуются по всей территории, но преобладают (более 90 %) в западной части бассейна (к западу от бассейна р. Белой). Грязекаменные сели составляют около 15,0 % от общего числа селей, которые образуются к востоку от р. Большая Лаба.

В бассейне р. Кубань зона высокой селевой опасности практически отсутствует. Зона средней селевой опасности охватывает узкой полосой район Главного хребта до р. Пшиш на западе. Эта зона характеризуется преимущественным развитием селевых очагов средних размеров с длиной очагов в 2–3 км и площадью их водосборов 3–4 км². Зона низкой селевой опасности расположена к северу от зоны средней селевой опасности восточнее рек Пшиш и Пшеха. Зона потенциальной селевой опасности включает всю территорию бассейна к западу от рек Пшиш и Пшеха. Здесь формируются небольшие наносоводные и грязевые селевые потоки, вызываемые интенсивными атмосферными осадками и активным снеготаянием.

Периодичность схода небольших и средних селевых потоков составляет один раз в 3–12 лет, а наиболее крупных – в 30–50 лет. В отдельные годы наблюдается массовый сход значительных селевых потоков, связанный всегда с выпадением большого количества атмосферных осадков редкой повторяемости. В большинство же лет отмечается прохождение 3–5 селевых потоков с объемом более 10 тыс. м³, в то время как небольших объемов (1–5 тыс. м³) сели бывают ежегодно во многих долинах рек Кубани.

Можно отметить повышение селевой активности, связанное с хозяйственной деятельностью, особенно горнорудной

промышленностью, нарушением травяного покрова из-за интенсивного выпаса скота и особенно вырубке лесов. Поэтому ожидается, что в ближайшие десятилетия активность селевых явлений повысится как в связи с антропогенной деятельностью в горах, так и с изменением климатических условий.

Сели на Черноморском побережье

Сели на Черноморском побережье проявляются не повсеместно, однако в связи с высокой плотностью застройки селеопасных долин, и в том числе пойм, степень селевой опасности в регионе весьма высока. Степень селевой опасности здесь изменяется от слабой до высокой и катастрофической [9] (рис. 10).

В Геленджикском районе Краснодарского края на склонах Маркотхского и Коцехурского хребтов высотой 700–900 м периодически действуют селеподобные водокаменные паводки.



Рис. 10. Карта селеопасных районов побережья Чёрного моря в Краснодарском крае. Условные обозначения: 1 – Новоросийский район селеподобных водокаменных паводков (слабая опасность); 2 – Туапсинский район селеподобных водокаменных паводков и селей (слабая и высокая опасность); 3 – Сочи-Краснополянский район типичных грязекаменных селей (высокая и катастрофическая опасность)

Селеподобные паводки генерируются посредством ливневых осадков; при их прохождении формируются разрушительные водокаменные потоки, часто достигающие побережья.

Катастрофический сель, прошедший 9 августа 2002 года по балке Широкая на полуострове Абрау, унёс жизни 59 отдыхающих на побережье вблизи устья балки, разрушил 490 и повредил 3 508 домов. Однако подобные случаи в данном районе уникальны, и в целом он имеет невысокий коэффициент селевой опасности.

Район селевой активности выделяется в бассейнах рек Шапсухо, Нечепсухо и Туапсе. Типично селевые бассейны имеют притоки Туапсе – реки Греческая, Мессажай и Цыпка. Сама Туапсе, а также реки Шапсухо, Нечепсухо, Паук, Кирпичная, Каштановая, скорее, являются водотоками с селеподобными водокаменными паводками. Роль источников селевого материала играют многочисленные оползни, а также делювиально-пролювиальные отложения, активно размываемые в местах площадных вырубок леса. Отложения аналогичных селеподобных паводков отмечаются также в бассейнах рек Ту, Аше, Куапсе, Псезуапсе.

Район распространения типичных селей отмечается в бассейнах рек Шахе, Сочи (высокая опасность), Мзымта (катастрофическая опасность) и Псоу. Здесь распространены грязекаменные сели с крупнообломочным материалом, поступающим преимущественно из оползневых очагов. Причиной селевой активности здесь является большое (до 3 000 м/год) количество осадков, выпадающих крайне неравномерно в течение года преимущественно в виде ливней. Селевой активности способствуют большие продольные уклоны русел, большее распространение обвально-осыпных, а главное, оползневых отложений. В высокогорной области сели формируются на склонах хребтов Хуко, Чура, Амуко, Игош, Ачишхо, Аибга в верховьях рек Шахе, Сочи, Мзымты и Псоу, а также их притоков (причём с катастрофической степенью опасности) Бзыч, Ачипсе, Бешенки, Чвежипсе и др.

Наиболее высокая селевая опасность отмечается в долинах Мзымты и её притоков. Она обусловлена как перечисленными выше естественными причинами, так и нерациональной

хозяйственной деятельностью в селеопасных участках долин – поймах, а иногда и руслах. Например, совмещённая автомобильно-железная дорога Адлер–Красная Поляна – самый дорогой олимпийский проект стоимостью 240 млрд рублей проходит непосредственно в русле, а также по пойме р. Мзымты, где периодически действуют сели с подъёмом уровня воды в русле до 6 м. В пойме Мзымты и Ачипсе уже построены гостиничные комплексы на несколько тысяч человек. Яркий пример – первый олимпийский объект, гостиничный комплекс «Роза Хутор». Его корпуса расположены на низкой пойме Мзымты буквально в 10 метрах от русла. Берег реки укреплён незначительно с помощью каменной отмотки до уровня низкой поймы (2,5 м). Периодически действующие на Мзымте грязекаменные сели способны разрушить здесь сразу несколько гостиничных корпусов и могут привести к масштабным человеческим жертвам.

Кроме этого в приустьевой части из русла Мзымты в промышленных масштабах отбирается галька для строительства. Это неизбежно приведёт к переуглублению русла в нижнем течении и увеличению объёма стока взвешенных, а в особенности влекомых наносов, и лишь усилит разрушительные способности селей.

Лавины

Горная территория и климатические условия Краснодарского края благоприятствуют лавинообразованию и частому сходу лавин. Важную роль в формировании лавин играет рельеф местности. По степени лавинной опасности в крае можно выделить 3 зоны (рис. 11).

В районах со значительной лавинной опасностью лавины сходят регулярно, ежегодно и по несколько раз в год, сеть лавин густая. К ним относятся районы альпийского высокогорья, среднегорные сильно расчленённые территории со значительной высотой снежного покрова (70 см и более), низкогорные районы с очень большой снежностью (15 см и более), высокие плато с резким глубоким расчленением многоснежных районов. Это в основном территории в верховьях рек Пшеха, Белая, М. Лаба, Мзымта.



Рис. 11. Степень лавинной опасности в Краснодарском крае

В районах со средней лавинной опасностью сеть лавин здесь либо разрежена, либо густая, но лавины сходят не ежегодно, не систематически, а в годы с повышенной снежностью или особыми метеорологическими условиями. Это в основном районы среднегорья, сильно расчленённого при сравнительно небольшой снежности (менее 70 см), средне- и слаборасчленённого при значительной снежности (более 70 см), низкогогорья (в условиях значительной снежности), платообразные поверхности с сильным приречным расчленением. Это в основном территории верховьев притоков вышеперечисленных речных бассейнов.

В районах со слабой лавинной опасностью сеть лавин очень редка. Лавины встречаются лишь на отдельных небольших по площади участках или сходят только в многоснежные годы, либо имеет место и то, и другое. Сюда относятся районы с небольшой в среднем мощностью снежного покрова, для которых характерны значительные колебания условий снежности и в отдельные годы бывает достаточно мощный для образования лавин снежный покров. К ним относятся территории в районе Главного Кавказского

хребта на участке между верховьями р. Афипс и левобережных истоков р. Пшеха, а также территории бассейнов рек остального региона, непосредственно примыкающие к районам со средней лавинной опасностью.

Около 70 % снежных лавин в Краснодарском крае формируются в высотном диапазоне от 2 000 до 3 000 м над уровнем моря. Однако на южном склоне Западного Кавказа основная зона формирования снежных лавин находится на высоте от 1 000 до 2 500 м над уровнем моря, но возможно их формирование и ниже 500 м, а на северном склоне Западного Кавказа лавины ниже 1 500 м образуются очень редко. В бассейне р. Кубань наибольшая относительная высота падения лавин колеблется в диапазоне высот от 700 до 3 900 м с крутизной склонов от 15 до 80 градусов. Наибольшая относительная высота падения лавин колеблется от 600 до 2 000 м. Более 70 % массы снега лавин останавливается на дне долин. Причём лавины наибольших объёмов наблюдаются на северном склоне Западного Кавказа в бассейне р. Белая.

Наибольшее количество лавин в Краснодарском крае сходит в марте, но массовый сход лавин может наблюдаться и в остальные месяцы холодного периода года. В бассейне реки Кубань самые первые лавины были отмечены в ноябре–декабре, а самые поздние – в апреле–мае. По состоянию снега при сходе лавин установлено, что большинство лавин сходит из сухого снега (53–70 %).

Раннее ледообразование

Появление льда и образование ледостава на судоходных реках, озёрах и водохранилищах в конкретных пунктах – в ранние сроки повторяемостью не чаще 1 раза в 10 лет. Появление льда и образование ледостава в более ранние сроки могут негативно сказываться на функционировании речного транспорта.

Основная судоходная река в Краснодарском крае – Кубань. Основное движение судов происходит в районе Краснодара и в Краснодарском водохранилище. Ледовый покров Кубани не устойчив. Бывают годы совсем без ледостава, в иные же зимы Кубань может несколько раз покрываться льдом, и наблюдаются несколько ледоходов. Период с ледовыми явлениями в среднем

течении Кубани обычно длится с начала декабря до середины марта (продолжительность 75–85 суток), в низовьях – с конца декабря до конца февраля (около 40 суток). Общая продолжительность ледостава – 30–50 суток. В плавнях р. Кубань наблюдается образование донного льда.

В дельте Кубани одновременно отмечено климатически обусловленное и под влиянием антропогенных факторов смягчение ледовых условий. По сравнению с прошлым веком в 2,5 раза сократилась длительность периода с ледовыми явлениями и в 3 раза – с ледоставом; чаще стали отмечаться годы с отсутствием ледостава (в 50 % случаев), шугохода и ледохода; примерно в 1,5 раза уменьшилась максимальная толщина льда; с 83 до 59 % (в целом для дельты и за годы с ледовыми явлениями) сократилась повторяемость заторобразования.

Все эти факторы наряду с малоинтенсивным судоходством снижают риск и актуальность данного опасного явления.

Заключение

Таким образом, в статье были сведены воедино и рассмотрены опасные гидрологические явления Краснодарского края. Проведено районирование территории края по числу наводнений с учётом их происхождения. Рассчитаны и графически представлены вероятности возникновения ОГЯ на конкретных участках речной сети. Охарактеризованы участки селевой и лавинной опасности.

Статья написана в рамках выполнения проекта «Разработка паспорта гидрометеорологической безопасности на примере двух географических районов».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Магрицкий Д. В., Самохин М. А., Юмина Н. М. Наводнения в Краснодарском крае и республике Адыгея // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). 2013. № 4. С. 44–63.
2. Борисов В. И. Реки Кубани. Краснодар, 1978. 80 с.
3. Магрицкий Д. В., Алексеевский Н. И., Крыленко И. Н., Юмина Н. М., Ефремова Н. А., Школьный Д. И. Риски наводнений в низовьях и устьях рек Черноморского

побережья России // Материалы Всероссийской научной конференции. Новочеркасск, 2013. С. 181–187.

4. *Гидрология дельты и устьевого взморья Кубани* / Под ред. В. Н. Михайлова, Д. В. Магрицкого, А. А. Иванова. М., 2010. 728 с.

5. *Коровин В. И., Галкин Г. А.* Генетическая структура наводнений и паводков на реках северо-западного Кавказа за 275-летний период // Изв. АН СССР. Сер. геогр. 1979. № 3. С. 90–94.

6. *Лурье П. М., Панов В. Д., Ткаченко Ю. Ю.* Река Кубань. Гидрография и режим стока. СПб, 2005. 500 с.

7. *Магрицкий Д. В., Иванов А. А.* Наводнения в дельте р. Кубани // Водные ресурсы. 2011. Т. 38. № 4. С. 387–406.

8. *Гидрология дельты и устьевого взморья Кубани* / Под редакцией В. Н. Михайлова, Д. В. Магрицкого, А. А. Иванова. М.: ГЕОС, 2010. 727 с.

9. *Трихунков Я. И.* Морфоструктура и опасные геоморфологические процессы Северо-Западного Кавказа: Дис. канд. геогр. наук. М.: ИГ РАН, 2009. 213 с.

УДК 551.510.522

КЛИМАТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРИПОДНЯТЫХ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ИНВЕРСИЙ ПО ДАННЫМ АЭРОЛОГИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ НА СТАНЦИЯХ ДОЛГОПРУДНАЯ И МУРМАНСК

Л. Ф. Козлова¹, А. В. Хохлова²

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

Введение

Перенос и рассеяние примеси в атмосфере в значительной степени определяются термической стратификацией в нижнем слое атмосферы до высоты 1000 м. Проектные расчёты для объектов, потенциально загрязняющих окружающую среду, всегда выполняются с учётом климатических характеристик стратификации атмосферы, в том числе температурных инверсий. Характеристики инверсий являются одним из метеорологических факторов, определяющих рассеяние примеси в атмосфере и формирование следа выпадений на земле. Возникновение инверсионного слоя может ограничивать подъём выбросов и способствовать их накоплению в приземном слое. Различные климатические характеристики условий распространения примесей, в том числе температурных инверсий, полученные по данным аэрологических наблюдений за 1959–1968 гг., приведены в [1].

В условиях изменяющегося климата и изменяющихся условий на подстилающей поверхности меняются и условия для формирования температурных инверсий. Наличие в ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД» многолетнего обновляемого глобального архива данных радиозондирования атмосферы даёт возможность создать справочную базу данных по температурным инверсиям на аэрологических станциях на основе более новых данных.

Настоящая работа является продолжением работы [2] и очередной ступенью на пути к созданию такой базы данных. В

статье рассмотрены климатические характеристики приподнятых инверсий по данным наблюдений на двух аэрологических станциях (Долгопрудная и Мурманск) за несколько последних лет. Выбор станций обусловлен их близостью к регионам, где для оценки распространения возможных загрязнений знание характеристик пограничного слоя атмосферы является особо актуальным. Проведено также сравнение полученных характеристик с аналогичными справочными данными за более ранний период [1].

1. Данные и их обработка

Анализ основных характеристик температурных инверсий выполнен на основе массива многолетних данных радиозондирования АЭРОСТАС [3]. Каждый файл массива содержит данные, поступившие за месяц по глобальной сети аэрологических станций. В процессе формирования архивных файлов данные проходят процедуру комплексного контроля качества [4].

Исследование характеристик температурных инверсий проведено для станций Долгопрудная и Мурманск за 2008–2017 гг. Были разработаны специальные программные средства, позволяющие для заданной станции и заданного периода времени анализировать температурные профили, выявлять наличие или отсутствие температурных инверсий в профиле, получать для каждого профиля характеристики приземных и приподнятых инверсий и определять их статистические характеристики. Инверсия температуры идентифицировалась по характеру вертикального температурного градиента, отрицательного в случае наличия инверсионного слоя [1].

Основными характеристиками инверсий температуры являются их повторяемость, мощность и интенсивность. В настоящей работе в число инверсий включалась также изотермия как частный случай инверсии с нулевой интенсивностью. Если при одном подъёме радиозонда фиксировалось несколько слоёв с инверсией и изотермией, то учитывался только один, самый нижний слой инверсии. Если за слоем инверсии следовал слой изотермии, то оба слоя рассматривались как один слой.

Повторяемость приподнятых инверсий $P_{ин}$ рассчитывалась в процентах от общего числа радиозондовых наблюдений по формуле

$$P_{ин} = \frac{N_{ин}}{N_p} \cdot 100,$$

где $N_{ин}$ – число случаев с инверсией; N_p – число случаев радиозондирования. В данной работе учитывались все приподнятые инверсии с нижней границей от 0,01 до 2,00 км. В зависимости от нижней границы высотные инверсии были разделены на следующие градации: 0,01–0,25; 0,26–0,5 и 0,01–2,00 км.

2. Климатические характеристики температурных инверсий

Особенности годовых изменений повторяемости приподнятых инверсий с нижней границей в слое 0,01–2 км для станций Долгопрудная и Мурманск показаны на рис. 1 и 2 соответственно. Сезонные изменения повторяемости приподнятых инверсий выражены довольно чётко. Максимальные значения повторяемости приподнятых инверсий фиксируются в холодный период. Наименьшее число случаев с высотной инверсией наблюдается в летний период (в июне). Кривые годового хода повторяемости приподнятых инверсий имеют схожие очертания с кривыми годового хода аналогичной характеристики, построенными по данным [1]. В справочном пособии представлен обширный табличный материал об инверсиях температуры по результатам наблюдений на аэрологических станциях. Значения повторяемости приподнятых инверсий для станции Долгопрудная за оба срока достаточно высоки, изменяются в течение года от 18 до 70 %, достигая максимальных значений в зимние месяцы (по данным [1] – от 14 до 82 %). Полученные значения повторяемости приподнятых инверсий для станции Долгопрудная за тёплый период в среднем на 8 % выше указанных в [1]. Напротив, значения повторяемости приподнятых инверсий за холодный период ниже значений, представленных в [1] в среднем на 6 % за оба срока.

Приподнятые инверсии с нижней границей в слое 0,01–2 км в среднем за год над станцией Долгопрудная имеют повторяемость 41,4 % (45,2 % – по справочным данным более ранних лет).

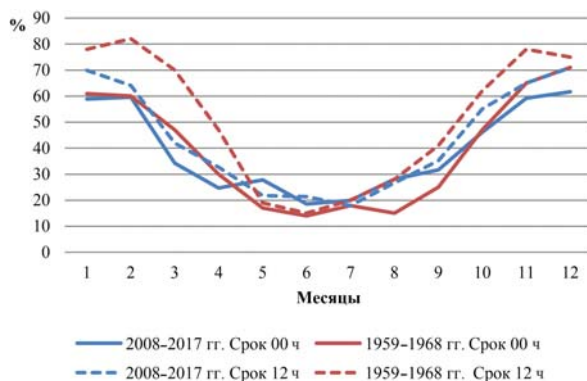


Рис. 1. Годовой ход многолетних средних значений повторяемости приподнятых инверсий с нижней границей в слое 0,01–2 км для станции Долгопрудная

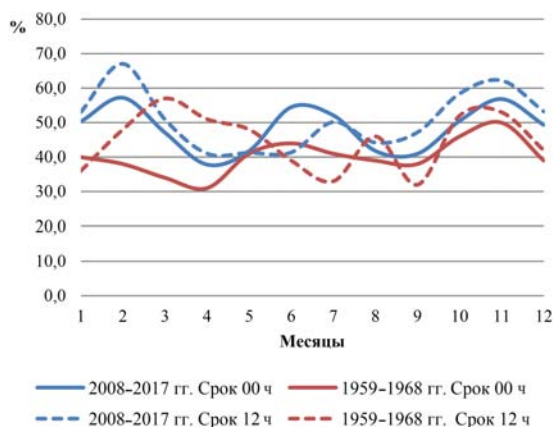


Рис. 2. Годовой ход многолетних средних значений повторяемости приподнятых инверсий с нижней границей в слое 0,01–2 км для станции Мурманск

Кривые годового хода повторяемости приподнятых инверсий для станции Мурманск имеют волнообразный характер с небольшой амплитудой. Полученные значения повторяемости приподнятых инверсий для станции Мурманск за срок 00 ч выше представленных в [1] примерно на 8 %. За срок 12 ч в отдельные месяцы (весенний период) получены более низкие значения повторяемости по

сравнению с результатами аналогичных исследований 1959–1968 гг. Приподнятые инверсии с нижней границей в слое 0,01–2 км в среднем за год над станцией Мурманск имеют повторяемость 49,6 % (42,4 % – по справочным данным более ранних лет).

В табл. 1 и 2 приводится годовой ход многолетних средних значений мощности приподнятых инверсий для станций Долгопрудная и Мурманск соответственно. Здесь же даны аналогичные характеристики из [1].

Таблица 1

Годовой ход многолетних средних значений мощности приподнятых инверсий (ΔH , км) с нижней границей в слое 0,01–2 км для станции Долгопрудная

Годы	Срок	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
2008–2017	00	0,39	0,37	0,26	0,23	0,25	0,21	0,21	0,23	0,23	0,27	0,34	0,35
1959–1968	00	0,47	0,48	0,42	0,33	0,35	0,31	0,29	0,27	0,32	0,43	0,50	0,49
2008–2017	12	0,37	0,34	0,20	0,16	0,15	0,12	0,10	0,15	0,20	0,25	0,31	0,33
1959–1968	12	0,55	0,56	0,42	0,35	0,32	0,33	0,30	0,31	0,36	0,46	0,48	0,50

Таблица 2

Годовой ход многолетних средних значений мощности приподнятых инверсий (ΔH , км) с нижней границей в слое 0,01–2 км для станции Мурманск

Годы	Срок	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
2011–2015	00	0,34	0,31	0,26	0,21	0,26	0,29	0,33	0,23	0,21	0,25	0,28	0,30
1959–1968	00	0,43	0,46	0,41	0,35	0,42	0,42	0,40	0,41	0,32	0,41	0,43	0,45
2011–2015	12	0,38	0,32	0,21	0,17	0,20	0,22	0,24	0,19	0,22	0,23	0,28	0,31
1959–1968	12	0,44	0,57	0,39	0,38	0,38	0,40	0,41	0,37	0,38	0,39	0,40	0,46

Примечательно, что над станцией Долгопрудная по данным последних лет мощность дневных инверсий уменьшилась в среднем практически в два раза, мощность ночных инверсий – в 1,5 раза (рис. 3). Среднее годовое значение мощности приподнятых инверсий над станцией Долгопрудная в слое 0,01–2 км составляет 0,25 км (0,4 км по данным [1]).

Для станции Мурманск полученные значения мощности приподнятых инверсий в дневные часы в среднем меньше указанных в [1] в 1,7 раза, в ночные часы – в 1,5 раза (рис. 4). Среднее

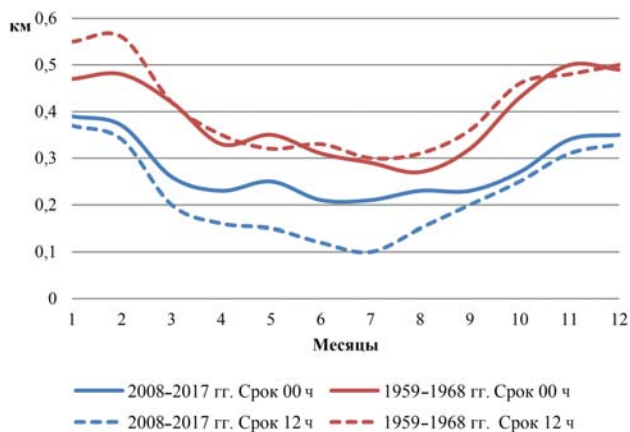


Рис. 3. Годовой ход многолетних средних значений мощности приподнятых инверсий для станции Долгопрудная

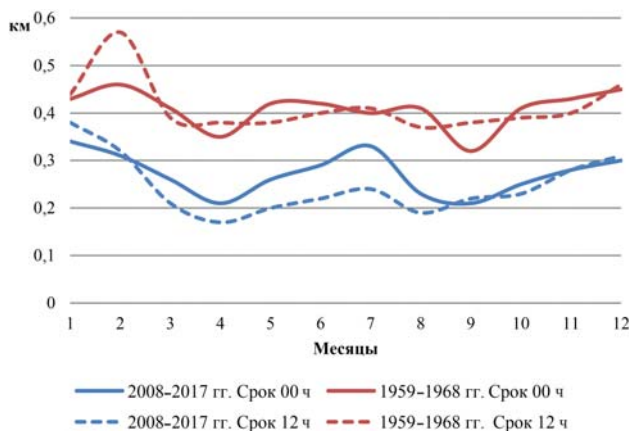


Рис. 4. Годовой ход многолетних средних значений мощности приподнятых инверсий для станции Мурманск

годовое значение мощности приподнятых инверсий над станцией Мурманск в слое 0,01–2 км составляет 0,26 км (0,41 км – по данным [1]).

В табл. 3 и 4 представлен годовой ход многолетних средних значений интенсивности приподнятых инверсий для станций Долгопрудная и Мурманск соответственно.

Таблица 3

Годовой ход многолетних средних значений интенсивности приподнятых инверсий (ΔT , °C) с нижней границей в слое 0,01–2 км для станции Долгопрудная

Годы	Срок	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
2008–2017	00	4,1	3,5	2,1	3,1	3,0	2,8	3,3	3,5	2,6	1,8	3,1	3,5
1959–1968	00	4,4	3,2	2,6	1,8	1,5	1,2	1,2	1,1	1,4	2,4	4,2	4,2
2008–2017	12	3,5	3,3	1,2	1,1	1,4	0,7	0,7	0,9	1,2	1,9	3,0	3,3
1959–1968	12	4,5	3	1,9	1,3	1	0,7	0,6	0,8	1,5	2,3	3,7	4

Таблица 4

Годовой ход многолетних средних значений интенсивности приподнятых инверсий (ΔT , °C) с нижней границей в слое 0,01–2 км для станции Мурманск

Годы	Срок	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
2008–2017	00	4,4	3,3	2,3	1,2	2,1	2,2	2,7	1,6	1,2	1,9	2,5	3,4
1959–1968	00	3,4	4	2	1,5	2	2	2,2	1,8	1,4	1,7	2,8	3,6
2008–2017	12	4,7	3,3	1,4	0,7	1,3	1,5	1,8	1,1	1,4	1,9	2,2	3,5
1959–1968	12	3,3	3,4	2	1,2	1,7	1,5	1,6	1,3	1,3	1,8	2,9	3

Годовой ход средних значений интенсивности инверсий в дневные часы для станции Долгопрудная в целом аналогичен годовому ходу по более ранним наблюдениям, однако для отдельных месяцев имеются различия. Так, в январе среднее значение интенсивности высотной инверсии по последним данным составляет 3,5 °C против 4,5 °C по данным [1]. Полученные значения интенсивности высотных инверсий в ночные часы в среднем в 2,5 раза превосходят значения аналогичной характеристики, представленной в [1] (за период с мая по сентябрь). Напротив, в холодный период (с сентября по январь) полученные значения интенсивности несколько ниже, нежели по данным [1], как в дневные, так и в ночные часы (рис. 5). Среднее годовое значение интенсивности приподнятых инверсий для станции Долгопрудная с нижней границей в слое 0,01–2 км составляет 2,4 °C (2,3 °C – по данным [1]).

Сравнивая полученные значения интенсивности приподнятых инверсий для станции Мурманск с результатами более ранних исследований, можно сказать, что характер годового

хода интенсивности ночных и дневных высотных инверсий сохранился (рис. 6). Высотные инверсии максимальной интенсивности наблюдаются в холодный период, минимальной – в летние месяцы. Максимальное среднее значение интенсивности ночных и дневных инверсий фиксируется в январе (ранее максимум интенсивности приходился на февраль).

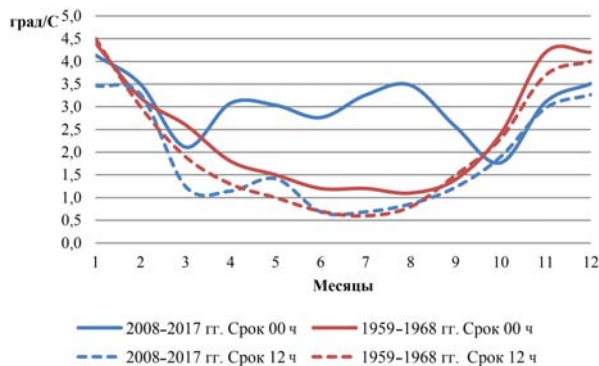


Рис. 5. Годовой ход многолетних средних значений интенсивности приподнятых инверсий для станции Долгопрудная

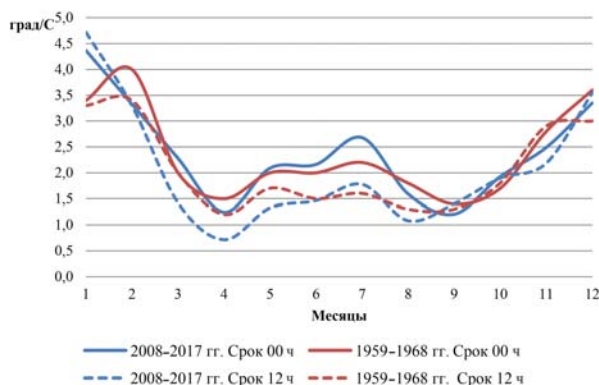


Рис. 6. Годовой ход многолетних средних значений интенсивности приподнятых инверсий для станции Мурманск

В целом полученные значения интенсивности для станции Мурманск отличаются от значений, указанных в [1], в среднем на $0,3^{\circ}\text{C}$ в большую или меньшую сторону.

Среднее годовое значение интенсивности приподнятых инверсий для станции Мурманск с нижней границей в слое 0,01–2 км совпадает с данными [1] и составляет 2,2 °С.

Заключение

Выполненный анализ повторяемости, мощности и интенсивности приподнятых инверсий по аэрологическим данным станций Мурманск и Долгопрудная позволил провести сравнение с аналогичными справочными характеристиками, полученными по данным за 1959–1968 гг. В целом полученная картина годового хода повторяемости приподнятых инверсий на станции Долгопрудная аналогична годовому ходу по более ранним наблюдениям. На станции Мурманск общий характер годового хода повторяемости также в целом подобен более раннему годовому ходу, но при этом наблюдается заметное увеличение повторяемости высотных инверсий в ночные часы. Можно также отметить значительное уменьшение мощности приподнятых инверсий по данным обеих станций. Для станции Долгопрудная было зафиксировано заметное увеличение интенсивности ночных инверсий в теплом полугодии.

Целесообразна подготовка справочных материалов по температурным инверсиям на основе более новых данных наблюдений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Климатические характеристики условий распространения примесей в атмосфере* / Под ред. Э. Ю. Безуглой, М. Е. Берлянда. Л.: Гидрометиздат, 1983.
2. *Козлова Л. Ф., Хохлова А. В.* Климатические характеристики приземных температурных инверсий по данным аэрологических измерений на станциях Мурманск и Смоленск // Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2018. Вып. 181. С. 120–125.
3. *Описание* символического формата хранения данных аэрологических наблюдений, поступающих по каналам связи для ПЭВМ (формат АЭРОСТАС) / Составитель Т. В. Руденкова. Обнинск, 2009.
4. *Алдухов О. А., Черных И. В.* Методы анализа и интерпретации данных радиозондирования атмосферы. Том 1. Контроль качества и обработка данных. Обнинск: ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД». 2013. 306 с.

УДК [551.583:551.510.52] + [551.557:551.508.822](985)

ТРЕНДЫ СКОРОСТИ ВЕТРА И ЕЁ СОСТАВЛЯЮЩИХ В ПОГРАНИЧНОМ СЛОЕ АТМОСФЕРЫ НАД АРКТИЧЕСКИМ РЕГИОНОМ РОССИИ ПО ДАННЫМ РАДИОЗОНДИРОВАНИЯ АТМОСФЕРЫ

О. А. Алдухов¹, И. В. Черных²

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

¹ aoa@meteo.ru, ² civ@meteo.ru

1. Введение

Для оценки условий атмосферной дисперсии [1, 2] при гео-экономическом обосновании строительства тепловых и атомных электростанций, для нужд авиации и судоходства, при климатических исследованиях [3] необходимы аэрологические данные в пограничном слое атмосферы [4, 5]. В связи с происходящими изменениями климата крайне важны знания о вертикальном распределении линейных трендов метеопараметров [6–8] в пограничном слое атмосферы.

В обзорных докладах Межправительственной группы экспертов по изменению климата [3, 6] одним из основных вопросов является вопрос о том, становится ли наблюдаемый климат Земли более изменчивым. Это объясняется увеличением частоты наблюдаемых экстремальных гидрометеорологических явлений и наносимым ими огромным ущербом природе и человечеству [3, 6, 7].

В аэрологических массивах данных, созданных в ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД», собраны данные радиозондирования атмосферы за период с 1964 г. [6, 9, 10–13]. Они ориентированы в основном на получение информации о состоянии свободной атмосферы [13], но после дополнительной обработки [1, 10] они могут быть использованы для улучшения оценок параметров пограничного слоя атмосферы. В [1, 10] было приведено сравнение результатов использования различных методов интерполяции [14–16] для работы с данными в пограничном слое атмосферы и показано, что точность расчётов его параметров зависит от выбора метода интерполяции.

Наилучшие результаты получены с использованием метода сплайновой интерполяции на базе кубического сплайна Акимы [15, 16].

Атмосферу по признаку взаимодействия с подстилающей поверхностью делят на свободную атмосферу и планетарный пограничный слой. Высота последнего может изменяться от нескольких сотен метров до 1–1,5 км в зависимости от стратификации слоя атмосферы и региона, в нём существенно выражен суточный ход в распределении метеовеличин [17]. Для прикладных работ наиболее часто необходимы аэрологические данные в нижнем слое атмосферы до 1–1,5 км с «запасом по высоте», поэтому ниже результаты расчётов приведены для атмосферного слоя от подстилающей поверхности до высоты 2 км.

Ранее авторами [6] были получены оценки статистик для температуры и характеристик влажности воздуха в свободной атмосфере и её нижнем двухкилометровом слое над регионами в разных климатических зонах и широтах, в частности над Арктикой РФ (АРФ), за период 1964–2014 гг. В [7] эти исследования продолжены для скорости ветра.

Предметом изучения в статье является слой тропосферы 0–2 км над АРФ. Рассмотрена задача о пространственно-временных долгопериодных изменениях статистической структуры скорости ветра (S), её зональной (U) и меридиональной (V) составляющих в слое тропосферы от подстилающей поверхности до высоты 2 км за 1964–2016 гг., представлены оценки линейных трендов, показана неоднородность их пространственно-временного распределения.

2. Данные и методы

Для расчётов были использованы данные массива КАРДС (CARDS: Comprehensive Aerological Reference Data Set) [13], пополненного текущими данными из массивов АЭРОСТАБ [9] и АЭРОСТАС [11]. Данные прошли процедуру комплексного контроля качества [10] и были проверены на полноту. Были отобраны континентальные и прибрежные станции, расположенные в разных климатических районах АРФ [6]: Североевропейском (СЕР), Западно-Сибирском (ЗСР) и Восточно-Сибирском (ВСР) с наиболее полными временными рядами.

Данные стандартного радиозондирования атмосферы содержат результаты наблюдений метеопараметров на стандартных изобарических поверхностях и на уровнях особых точек вертикальных профилей температуры, влажности и ветра. Внутри нижнего слоя тропосферы от поверхности земли до высоты 2,6 км имеются в среднем 8 уровней наблюдения [1, 10]. В основном это наблюдения на уровнях, где нарушается линейность изменения температуры и ветра – уровнях особых точек профилей температуры и ветра [10].

Для учёта особенностей решаемой задачи перед расчётом статистических характеристик метеопараметров для нижнего 0–2 км слоя тропосферы была проведена необходимая обработка исходных данных: по вертикальным профилям радиозондовых измерений были получены значения метеопараметров на стандартных высотах в рамках изучаемого слоя тропосферы; проведён дополнительный контроль качества данных с акцентом именно на этот слой [1, 10]. Под стандартными высотами в нём понимаются следующие: 0; 0,05; 0,1; 0,15; 0,2 км, и далее с шагом 0,1 км до 2 км над уровнем земли.

Для интерполяции данных в изучаемом слое тропосферы был использован метод сплайновой интерполяции на базе кубического сплайна Акимы [15, 16], который обеспечивает для большинства аэрологических метеовеличин наиболее точную интерполяцию [1, 10], т. е. интерполяцию с наименьшей погрешностью по сравнению с другими её видами [14–16].

Одним из главных вопросов в климатологии является вопрос о долгопериодных тенденциях изменения метеовеличин, характеризующих состояние климатической системы [18]. В данной работе, как и в большинстве исследований, например [18], анализ проводится с использованием классического метода расчёта трендов, метода наименьших квадратов, т. е. оценкой долгопериодных тенденций изменения осреднённых за относительно небольшие временные интервалы значений аномалий метеовеличин.

Анализ результатов радиозондовых наблюдений имеет особенность по сравнению с метеорологическими наблюдениями, т. к. на многих высотах в атмосфере имеется много пропущенных

измерений. Основная причина этого – недостаточная высота подъёма баллона радиозонда, а также причины, связанные с текущей технологией радиозондовых наблюдений, технологией производства оболочек зондов и датчиков измерения параметров атмосферы, воздействия реальных температур, влажности и ветра на техническое состояние радиозонда [6–8, 10, 13]. В тропосфере, и тем более в её нижнем слое, данные наблюдений являются более качественными, чем в стратосфере, как в отношении обеспеченности, так и относительно возникновения ошибок расчётов по этим данным, связанных с малой высотой полёта зондов [7, 8, 10].

В [6–8, 10] отмечается, что оценки трендов метеорологических величин, определённых по данным радиозондирования, зависят от массива данных, длины ряда, методов анализа. При расчётах для включения месяца в расчёты трендов требовалось наличие 10 измерений за месяц и 10 лет за период наблюдений. Аномалии вычислены с учётом срока наблюдения, т.е. для 00 и 12 ч ВСВ (ниже используется Всемирное скоординированное время). При вычислении аномалий за базовый период (период осреднения при расчёте среднего значения метеовеличины, относительно которого рассчитываются аномалии) выбран период наблюдений 1964–2016 гг. Выбор данного периода обусловлен тем фактом, что на глобальной аэрологической сети данных радиозондовых наблюдений в конце 1950-х – начале 1960-х годов недостаточно для климатических расчётов [6–8, 10].

Для исследования пространственно-временных особенностей трендов аномалий многолетних средних и среднеквадратических отклонений параметров ветра в слое 0–2 км расчёты выполнены для сроков 00 и 12 ч для месяцев, сезонов и за год в целом. Сначала были вычислены тренды на основе постанционных радиозондовых данных для перечисленных выше стандартных высот в сроки 00 и 12 ч для месяцев, сезонов и за год в целом, затем проведено двукратное сглаживание по трём точкам, при котором центральной точке присваивался двойной вес, а двум крайним – единичный. Использование сглаженных трендов позволяет наглядно представить климатические изменения в изучаемом слое тропосферы. Значимость трендов проверялась по критерию Стьюдента.

Для анализа межгодовых изменений скорости ветра были получены временные ряды сезонных аномалий скорости ветра и среднеквадратических отклонений, построены линейные тренды и сглаживающие тренды, полученные после десятикратного сглаживания по трём точкам.

3. Результаты

Внутригодовые долгопериодные изменения скорости ветра в слое тропосферы 0–2 км

Сглаженные тренды с учётом их значимости для аномалий многолетних средних и среднеквадратических отклонений скорости ветра на высотах в слое 0–2 км с учётом срока наблюдения для месяцев, сезонов и за год в целом для Мурманска (СЕР), Салехарда (ЗСР), Тикси, Жиганска (ВСР) показаны на рис. 1 и 2. Выбранные станции расположены в разных климатических районах Арктики РФ, в разных широтах, две из них прибрежные (Мурманск и Тикси) и две – континентальные, из двух станций в ВСР одна прибрежная и одна – континентальная. На рис. 1 и 2 редкими наклонными линиями отмечены тренды со значимостью не менее 50 %, а сеткой – не менее 95 %; синими и розовыми отрезками – соответствующие максимальные и минимальные значения трендов. В табл. 1 представлены диапазоны внутригодовых изменений трендов аномалий средних и среднеквадратических отклонений скорости ветра в слое 0–2 км.

Рис. 1, 2 и данные табл. 1 показывают, что скорость ветра и её среднеквадратические отклонения возрастают главным образом на высотах 0,4–0,6 и 0,4–0,8 км соответственно. Заметим, что именно на высотах в диапазоне 0,4–0,8 км происходит адаптация распределения метеовеличин в приземном слое атмосферы, в пределах которого метеовеличины резко изменяются с высотой, к распределению, характерному для свободной атмосферы. Видно, что изменения климата в слое 0–2 км в наибольшей степени затрагивают именно этот слой.

Согласно данным табл. 1 максимальные положительные тренды аномалий средних скорости ветра определены на уровне значимости не менее 95 % и изменяются для СЕР, ЗСР и ВСР в

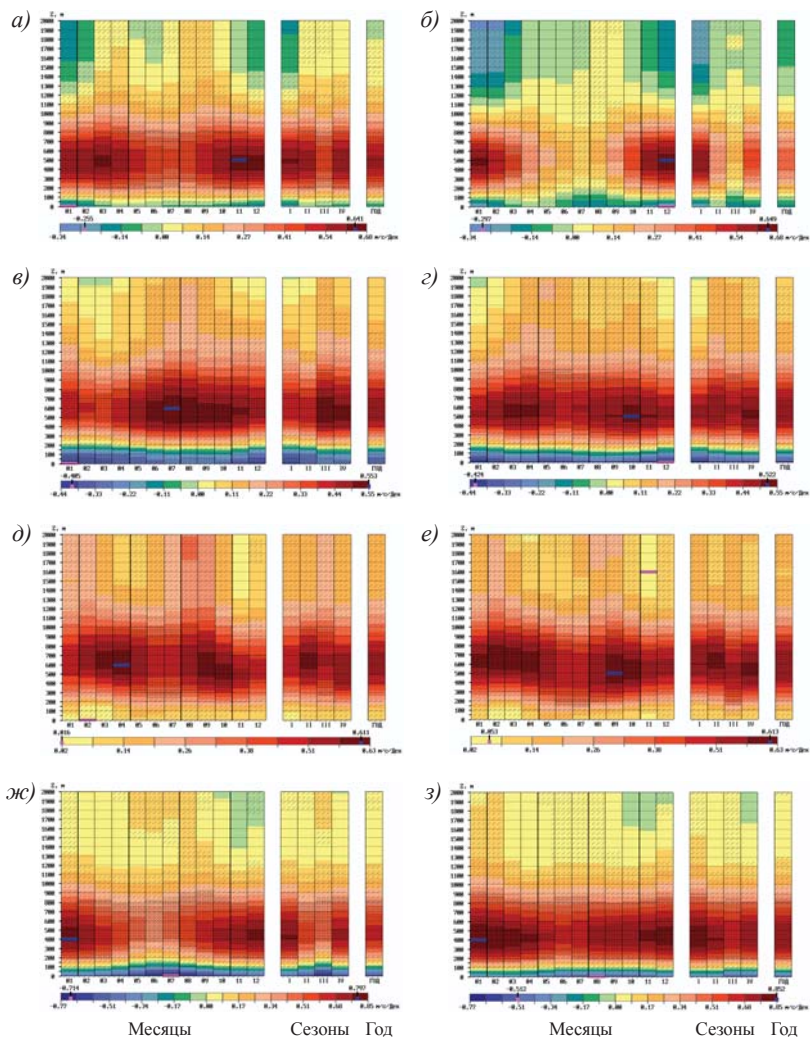


Рис. 1. Тренды аномалий скорости ветра S , м/с/десятилетие, в слое атмосферы 0–2 км, для срока 00 ч (а, в, д, ж) и 12 ч (б, г, е, з) для каждого месяца, сезона (I – декабрь, январь, февраль) и за год по данным радиозондирования за 1964–2016 гг. на станциях Мурманск (а, б), Салехард (в, г), Тикси (д, е), Жиганск (ж, з)

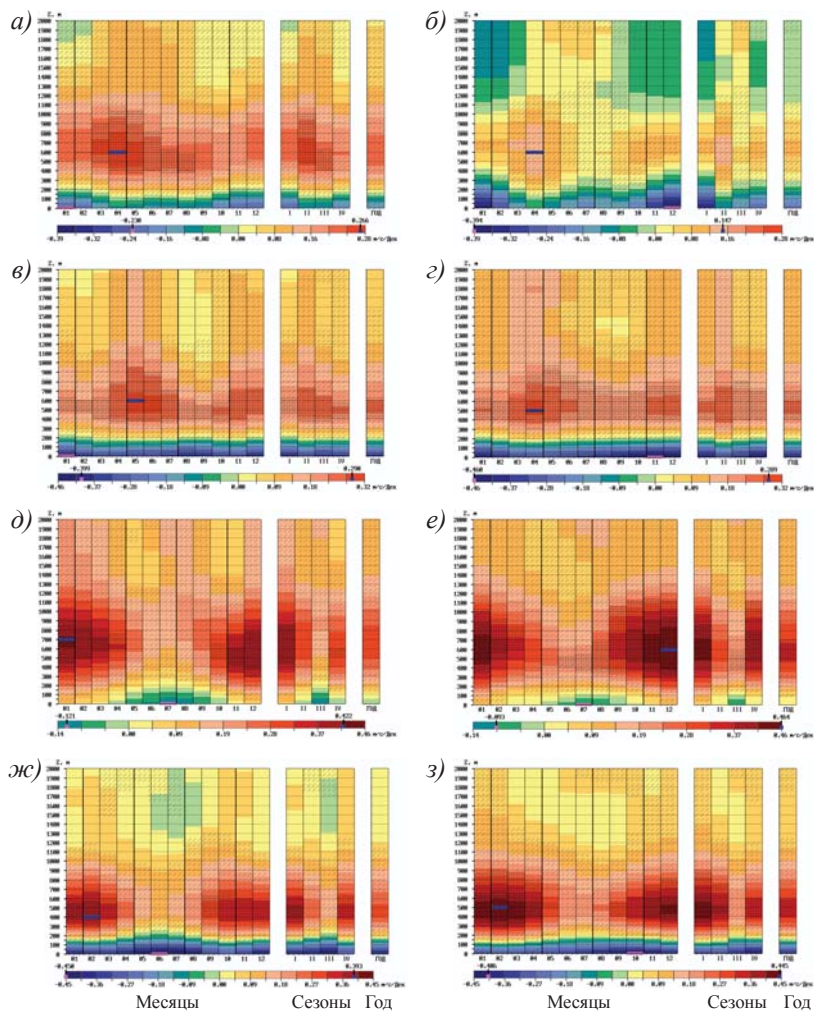


Рис. 2. Тренды аномалий среднеквадратических отклонений скорости ветра S , м/с/десятилетие, в слое атмосферы 0–2 км, для срока 00 ч (а, в, д, ж) и 12 ч (б, г, е, з) для каждого месяца, сезона и за год рассчитаны по данным радиозондирования за 1964–2016 гг. на станциях Мурманск (а, б), Салехард (в, г), Тикси (д, е), Жиганск (ж, з).

диапазонах 0,6–0,7; 0,5–0,6 и 0,5–0,9 м/с/десятилетие, а аномалий среднеквадратических отклонений S , определённых на уровне значимости не менее 95 %, изменяются для СЕР, ЗСР и ВСР в диапазонах 0,2–0,4; 0,3–0,4 и 0,2–0,5 м/с/десятилетие соответственно. Наибольшие тренды аномалий как средних, так и среднеквадратических отклонений скорости ветра получены в ВСР для станции Жиганск в срок 12 ч.

Таблица 1

Диапазоны внутригодовых изменений трендов аномалий среднемесячных значений и среднеквадратических отклонений скорости ветра S , м/с/десятилетие, в слое атмосферы 0–2 км для 00 и 12 ч для станций в разных климатических районах Арктики РФ за 1964–2016 гг.

Станция/ район АРФ	Диапазоны изменений трендов аномалий средних значений S , м/с/десятилетие		Диапазоны изменений трендов аномалий среднеквадратических отклонений S , м/с/десятилетие		Число наблюдений	
	00 ч	12 ч	00 ч	12 ч	00 ч	12 ч
Североевропейский район Арктики РФ						
Мурманск	-0,3– <u>0,6</u>	-0,3– <u>0,7</u>	-0,2– <u>0,2</u>	-0,4–0,2	16 352	15 180
Кандалакша	-0,3– <u>0,7</u>	-0,4– <u>0,6</u>	-0,4– <u>0,3</u>	-0,4– <u>0,2</u>	13 705	13 991
Шойна	-0,5– <u>0,6</u>	-0,3– <u>0,6</u>	-0,3– <u>0,3</u>	-0,3– <u>0,4</u>	12 116	13 869
Нарьян-Мар	-0,2– <u>0,6</u>	-0,2– <u>0,6</u>	-0,2– <u>0,4</u>	-0,1– <u>0,4</u>	15 910	13 607
СЕР	-0,2– <u>0,7</u>	-0,4– <u>0,7</u>	-0,4– <u>0,4</u>	-0,4– <u>0,4</u>	58 083	56 647
Западно-Сибирский район Арктики РФ						
Салехард	- <u>0,4</u> – <u>0,6</u>	- <u>0,4</u> – <u>0,5</u>	- <u>0,4</u> – <u>0,3</u>	- <u>0,5</u> – <u>0,3</u>	15 330	14 693
О. Диксон	-0,3– <u>0,5</u>	-0,2– <u>0,5</u>	-0,2– <u>0,3</u>	-0,2– <u>0,4</u>	11 402	11 802
Норильск	-0,6–0,5	-0,6–0,6	-0,3–0,3	-0,3–0,3	10 925	11 015
ЗСР	-0,6– <u>0,6</u>	-0,6– <u>0,5</u>	-0,4– <u>0,3</u>	- <u>0,5</u> – <u>0,4</u>	37 657	37 510
Восточно-Сибирский район Арктики РФ						
Оленёк	-0,3– <u>0,5</u>	-0,3– <u>0,6</u>	- <u>0,5</u> – <u>0,2</u>	- <u>0,4</u> – <u>0,2</u>	12 851	12 689
Тикси	0,0– <u>0,6</u>	0,1– <u>0,6</u>	-0,1– <u>0,4</u>	-0,1– <u>0,5</u>	12 241	14 115
Жиганск	- <u>0,7</u> – <u>0,8</u>	-0,5– <u>0,9</u>	-0,5– <u>0,4</u>	- <u>0,4</u> – <u>0,5</u>	13 479	11 547
Верхоянск	-0,3– <u>0,4</u>	-0,3– <u>0,5</u>	-0,4–0,2	- <u>0,4</u> –0,2	13 676	14 504
ВСР	- <u>0,7</u> – <u>0,8</u>	-0,5– <u>0,9</u>	- <u>0,5</u> – <u>0,4</u>	- <u>0,4</u> – <u>0,5</u>	52 247	52 855

Примечание. Тренды со значимостью не менее 95 % отмечены жирным шрифтом. Тренды, определённые на высотах 0,4–0,6 км над уровнем подстилающей поверхности, подчёркнуты, а на высотах 0,7–0,8 км отмечены курсивом.

Табл. 1 показывает, что для станций в СЕР, Мурманска и Кандалакши максимальные положительные тренды аномалий средних и среднеквадратических отклонений скорости ветра составляют 0,7 и 0,3 м/с/десятилетие, а для Шойны и Нарьян-Мара – 0,6 и 0,4 м/с/десятилетие. Заметим, что в оба срока 00 и 12 ч для станций Шойна и Нарьян-Мар максимальные положительные тренды аномалий средних скорости ветра совпадают и равны 0,6 м/с/десятилетие. Для обоих сроков в СЕР для аномалий среднеквадратических отклонений скорости ветра видно увеличение трендов в восточном направлении от 0,2 до 0,4 м/с/десятилетие.

В ЗСР трендов на уровне значимости не менее 95 % не определено только для Норильска, для него период наблюдений составляет 1978–2016 гг. Различие в периодах наблюдений может повлиять на оценки трендов, их величину и/или значимость.

Для большей части станций в ВСР максимальные положительные тренды аномалий средних скорости ветра в срок 12 ч больше чем в 00 ч. Для Верхоянска положительных трендов аномалий среднеквадратических отклонений скорости ветра на уровне значимости не менее 95 % не определено. К возможным причинам можно отнести сдвиг локального времени на 7–9 часов и особенности рельефа подстилающей поверхности.

Рис. 1 и 2 демонстрируют, что в нижнем (0,1–0,2 км) слое тропосферы определены в основном отрицательные тренды аномалий скорости ветра и её среднеквадратических отклонений в оба срока. Отрицательные тренды определены на уровне земли, их значимость не менее 95 % для станции Салехард и для станций Оленёк, Верхоянск и Жиганск (см. табл. 1) .

Межгодовые изменения скорости ветра на высоте 0,5 км

Для исследуемых станций максимальные значения трендов аномалий скорости ветра и её среднеквадратических отклонений определены в основном на высотах 0,4–0,6 и 0,4–0,8 км соответственно, поэтому более детально (см. табл. 2) рассмотрен вопрос о многолетних средних и среднеквадратических отклонениях скорости ветра на высоте 0,5 км над уровнем земли с учётом сезона и о тенденциях их межгодовых изменений.

Таблица 2

Многолетние средние значения и среднеквадратические отклонения σ скорости ветра S , м/с, на высоте 0,5 км над уровнем земли с учётом сезона для станций в разных районах Арктики РФ. 1964–2016 гг.

Станция	Зима		Весна		Лето		Осень	
	S , м/с	σ , м/с	S , м/с	σ , м/с	S , м/с	σ , м/с	S , м/с	σ , м/с
Североевропейский район Арктики РФ								
Мурманск	9,5	5,4	8,0	4,5	6,5	3,9	8,5	4,8
Кандалакша	7,7	4,5	6,7	3,8	6,0	3,5	7,1	4,1
Шойна	9,4	5,1	8,5	4,7	7,5	4,1	8,9	4,8
Нарьян-Мар	9,2	5,1	8,2	4,5	7,1	3,9	8,5	4,7
Западно-Сибирский район Арктики РФ								
Салехард	7,8	4,4	7,4	4,4	6,7	4,0	7,5	4,3
О. Диксон	8,7	4,8	8,3	4,6	7,7	4,1	8,3	4,5
Норильск	7,4	4,8	7,0	4,5	6,3	3,8	7,5	4,6
Восточно-Сибирский район Арктики РФ								
Оленёк	6,1	3,9	6,0	3,7	5,8	3,5	6,2	3,8
Тикси	6,7	4,6	6,4	4,2	6,3	3,8	6,9	4,6
Жиганск	6,2	4,3	6,3	4,2	6,4	4,0	6,4	4,3
Верхоянск	3,2	2,6	3,8	2,9	4,6	3,1	4,0	3,1

Данные, представленные в табл. 2, демонстрируют, что многолетние средние и среднеквадратические отклонения скорости ветра на высоте 0,5 км зависят от сезона и региона. Из её данных следует, что наибольшая и наименьшая величина изменений средних (6,3 и 3,1 м/с) и среднеквадратических отклонений (2,8 и 1,0 м/с) имеет место зимой и летом. Для всех сезонов средние и среднеквадратические отклонения для станций в ВСР существенно меньше, чем в СЕР и ЗСР.

На рис. 3 и 4 показаны временные ряды сезонных аномалий скорости ветра и среднеквадратических отклонений на высоте 0,5 км за 1964–2016 гг. для Мурманска, Салехарда, Тикси и Жиганска. Прямыми красными линиями показаны линейные тренды, их значения приведены в табл. 3; синими волнистыми линиями – сглаживающие тренды для сезонных аномалий, полученные после десятикратного сглаживания по трём точкам.

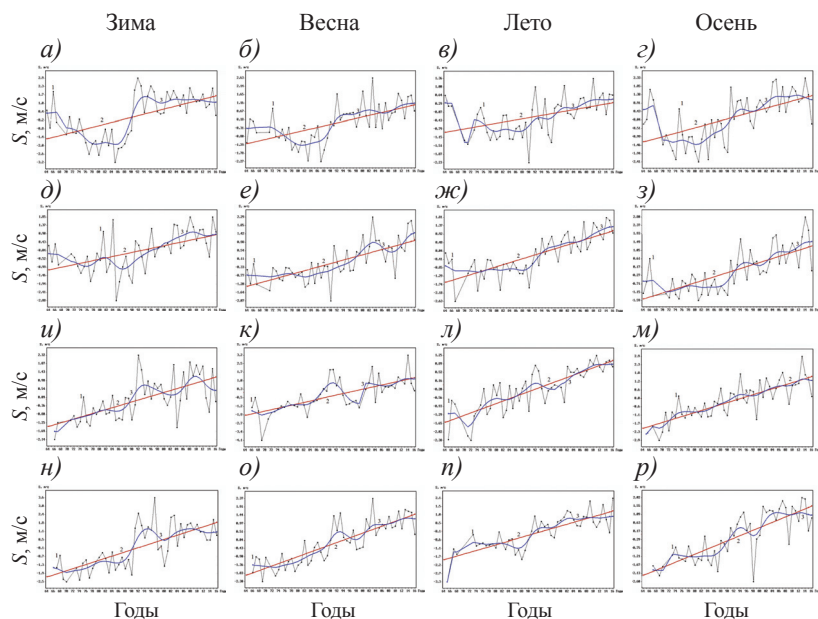


Рис. 3. Временные ряды и тренды аномалий скорости ветра S , м/с/десятилетие, на высоте 500 м для зимы (а, д, и, н), весны (б, е, к, о), лета (в, ж, л, п) и осени (г, з, м, р) за 1964–2016 гг. для станций: Мурманска (а–г), Салехарда (д–з), Тикси (и–м), Жиганска (н–р).

Видны квазипериодические колебания для сезонных аномалий скорости ветра и среднеквадратических отклонений.

Анализ рис. 3 и 4, табл. 3 показал, что величина трендов зависит от сезона и региона. Величина изменений трендов сезонных аномалий S максимальна зимой, а трендов сезонных аномалий среднеквадратических отклонений – зимой и осенью.

Для СЕР максимальные тренды сезонных аномалий скорости ветра, 0,6 м/с/десятилетие, отмечены зимой, весной или осенью в зависимости от станции, летом они минимальны для всех станций и изменяются в диапазоне 0,2–0,4 м/с/десятилетие. Максимальные тренды сезонных аномалий среднеквадратических отклонений, 0,4 м/с/десятилетие, отмечены весной для Шойны и осенью – для Нарьян-Мара.

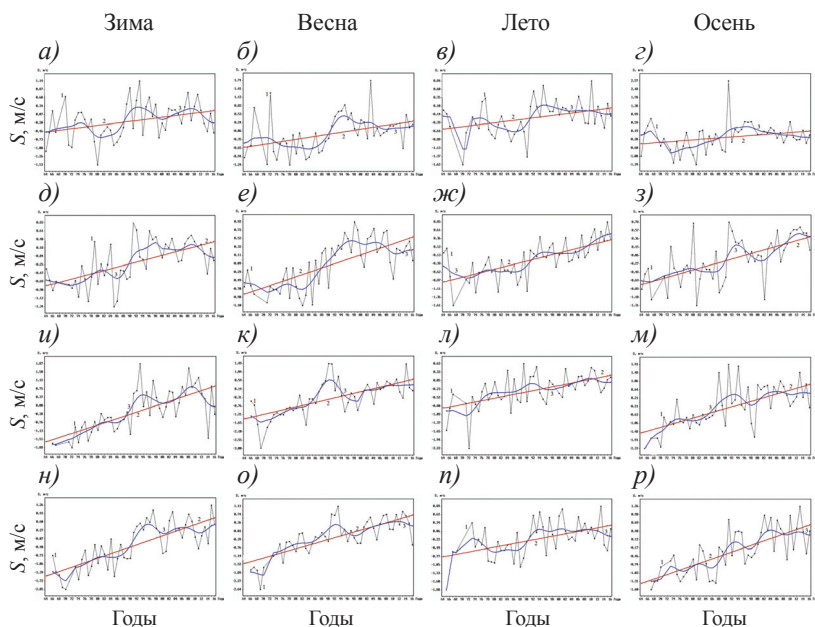


Рис. 4. Временные ряды и тренды аномалий среднеквадратических отклонений σ , скорости ветра S , м/с/десятилетие, на высоте 0,5 км для сезонов для станций: Мурманска (а–з), Салехарда (д–з), Тикси (и–м), Жиганска (н–р).

Для ЗСР максимальные тренды сезонных аномалий скорости ветра, 0,6 м/с/десятилетие определены летом для Норильска, для других станций они не превосходят 0,5 м/с/десятилетие для всех сезонов. Тренды сезонных аномалий среднеквадратических отклонений изменяются от 0,1 до 0,3 м/с/десятилетие. Их наибольшие значения определены в тёплые сезоны для всех станций: Салехарда и Норильска – весной, о. Диксон – летом.

Для ВСР, по сравнению с другими районами, определены наибольшие тренды сезонных аномалий как скорости ветра, так и средне-квадратических отклонений (0,8 и 0,5 м/с/десятилетие соответственно). Наиболее значительные изменения отмечены для Тикси и Жиганска. Для Тикси определено: в переходные сезоны, весной и осенью, скорость ветра увеличивается с декадными изменениями 0,6 и 0,7 м/с/десятилетие, её изменчивость зимой

и осенью – со скоростью 0,5 м/с/десятилетие. Для Жиганска зимой, весной и осенью видны значительные тренды сезонных аномалий как скорости ветра (0,7 и 0,8 м/с/десятилетие), так и среднеквадратических отклонений (0,4 м/с/десятилетие).

Таблица 3

Линейные тренды Δ , рассчитанные классическим методом наименьших квадратов, аномалий среднемесячных значений ΔS , м/с/десятилетие, и среднеквадратических отклонений $\Delta\sigma$ скорости ветра S , м/с/десятилетие, на высоте 0,5 км над уровнем подстилающей поверхности с учётом сезона для станций в разных климатических районах АРФ. 1964–2016 гг.

Станция	Зима		Весна		Лето		Осень	
	ΔS	$\Delta\sigma$	ΔS	$\Delta\sigma$	ΔS	$\Delta\sigma$	ΔS	$\Delta\sigma$
Североевропейский район Арктики РФ								
Мурманск	0,6	0,1	0,4	0,2	0,2	0,1	0,5	0,1
Кандалакша	0,5	0,1	0,6	0,2	0,4	0,2	0,5	0,1
Шойна	0,6	0,3	0,5	0,4	0,4	0,2	0,6	0,2
Нарьян-Мар	0,6	0,3	0,4	0,3	0,3	0,2	0,5	0,4
Западно-Сибирский район Арктики РФ								
Салехард	0,4	0,2	0,5	0,3	0,5	0,2	0,5	0,2
О. Диксон	0,3	0,2	0,4	0,2	0,4	0,3	0,5	0,2
Норильск	0,3	0,2	0,6	0,3	0,3	0,1	0,4	0,2
Восточно-Сибирский район Арктики РФ								
Оленёк	0,4	0,1	0,4	0,1	0,4	0,1	0,6	0,2
Тикси	0,5	0,5	0,6	0,4	0,5	0,2	0,7	0,5
Жиганск	0,8	0,4	0,7	0,4	0,6	0,2	0,7	0,4
Верхоянск	0,2	0,1	0,3	0,2	0,3	0,03	0,3	0,2

Примечание. Тренды со значимостью 55–98 % отмечены курсивом, значимость остальных трендов не ниже 99 %.

Внутригодовые долготериодные изменения зональной и меридиональной составляющих скорости ветра в слое 0–2 км

На рис. 5 и 6 показаны тренды для аномалий многолетних средних и среднеквадратических отклонений зональной и меридиональной составляющих скорости ветра на высотах в слое 0–2 км для срока наблюдения 0 ч для месяцев, сезонов и за год в целом за 1964–2016 гг. для Мурманска, Салехарда, Тикси

и Жиганска, расположенных в разных климатических районах АРФ. На рис. 5 и 6 (как на рис. 1, 2) редкими наклонными линиями отмечены тренды со значимостью не менее 50 %, а сеткой – не менее 95 %; синими и розовыми отрезками – соответствующие максимальные и минимальные значения трендов.

В табл. 4 приведены диапазоны внутригодовых изменений трендов аномалий среднемесячных значений и среднеквадратических отклонений зональной и меридиональной составляющих скорости ветра в слое 0–2 км.

Таблица 4

Диапазоны внутригодовых изменений линейных трендов, рассчитанных методом наименьших квадратов, аномалий многолетних среднемесячных значений и среднеквадратических отклонений σ зональной U , и меридиональной V , составляющих скорости ветра, м/с/десятилетие, в слое атмосферы 0–2 км для 00 ч для станций в разных климатических районах АРФ за 1964–2016 гг.

Станция/ район АРФ	U , м/с/десятилетие		V , м/с/десятилетие	
	тренды аномалий сред- них значений	тренды аномалий σ	тренды аномалий сред- них значений	тренды аномалий σ
Североевропейский район Арктики РФ				
Мурманск	-0,3– <u>0,3</u>	-0,2*– <u>0,5</u>	-0,2–0,2	-0,2*– <u>0,5</u>
Кандакша	-0,1*–0,3	-0,4*– <u>0,5</u>	-0,4– <u>0,1</u>	-0,3*– <u>0,5</u>
Шойна	-0,4–0,4	-0,3*– <u>0,5</u>	-0,2–0,3	-0,3*– <u>0,5</u>
Нарьян-Мар	-0,2– <u>0,3</u>	-0,3*– <u>0,5</u>	-0,2–0,3	-0,2*– <u>0,5</u>
СЕР	-0,4–0,4	-0,4*– <u>0,5</u>	-0,4–0,3	-0,3*– <u>0,5</u>
Западно-Сибирский район Арктики РФ				
Салехард	-0,3*–0,2	- <u>0,4</u> *– <u>0,5</u>	-0,2*–0,1	- <u>0,3</u> *– <u>0,5</u>
О. Диксон	-0,3–0,4	-0,2*– <u>0,5</u>	-0,2–0,2	-0,2*–0,3
Норильск	-0,5*–0,3	-0,4*– <u>0,3</u>	-0,4–0,4	-0,4*– <u>0,4</u>
ЗСР	-0,5*–0,4	- <u>0,4</u> *– <u>0,5</u>	-0,4–0,4	-0,4*– <u>0,5</u>
Восточно-Сибирский район Арктики РФ				
Оленёк	-0,2*– <u>0,3</u>	-0,3*– <u>0,4</u>	-0,2–0,2	-0,3*– <u>0,4</u>
Тикси	-0,4–0,3	-0,1*– <u>0,7</u>	-0,3–0,2	0,0*– <u>0,4</u>
Жиганск	-0,3–0,1	-0,3*– <u>0,3</u>	-0,3*– <u>0,3</u>	- <u>0,8</u> *– <u>0,8</u>
Верхоянск	-0,1–0,2	- <u>0,3</u> *–0,2	-0,1– <u>0,3</u>	-0,3*–0,4
ВСР	-0,4–0,3	- <u>0,3</u> *– <u>0,7</u>	-0,3– <u>0,3</u>	- <u>0,8</u> *– <u>0,8</u>

Примечание. Тренды со значимостью не менее 95 % отмечены жирным шрифтом. Тренды, определённые на высотах 0–0,2 км над уровнем земли, отмечены *, 0,3–0,6 км – подчёркнуты, а на высотах 0,7–0,8 км отмечены курсивом.

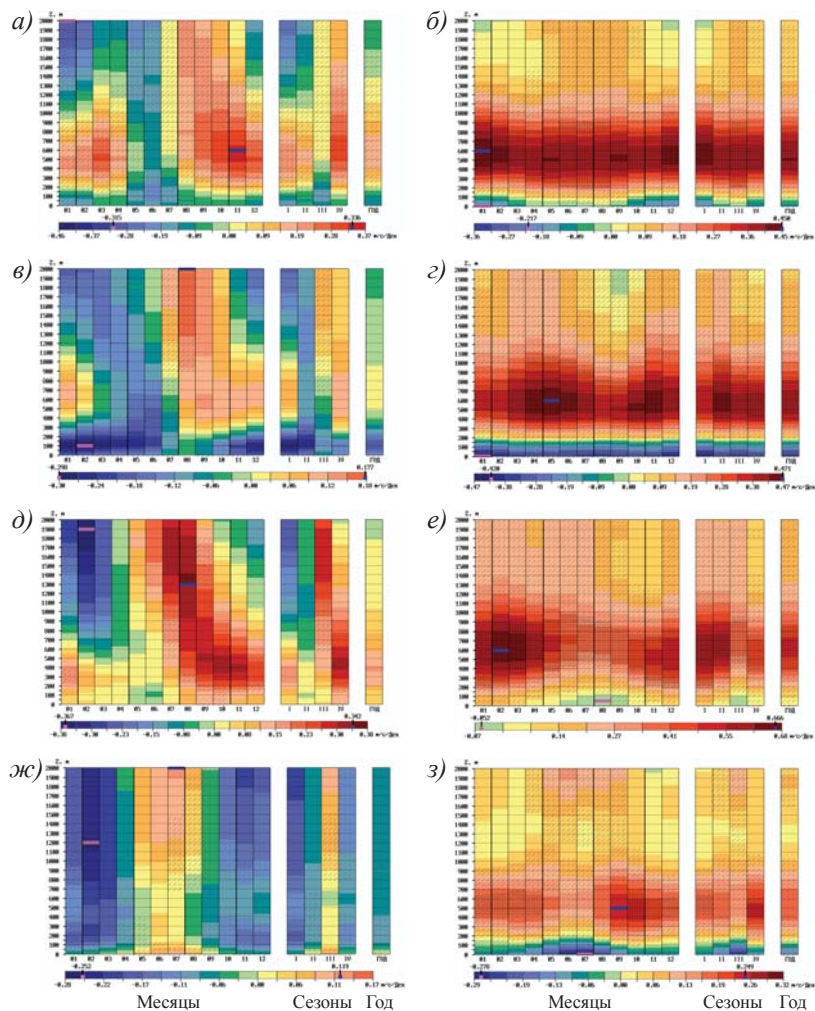


Рис. 5. Тренды аномалий (а, в, д, ж) зональной составляющей скорости ветра U , м/с/десятилетие, и (б, г, е, з) соответствующих среднеквадратических отклонений, м/с/десятилетие, в слое атмосферы 0–2 км, для срока 00 ч для каждого месяца, сезона и за год в целом за период 1964–2016 гг. на станциях Мурманск (а, б), Салехард (в, г), Тикси (д, е), Жиганск (ж, з).

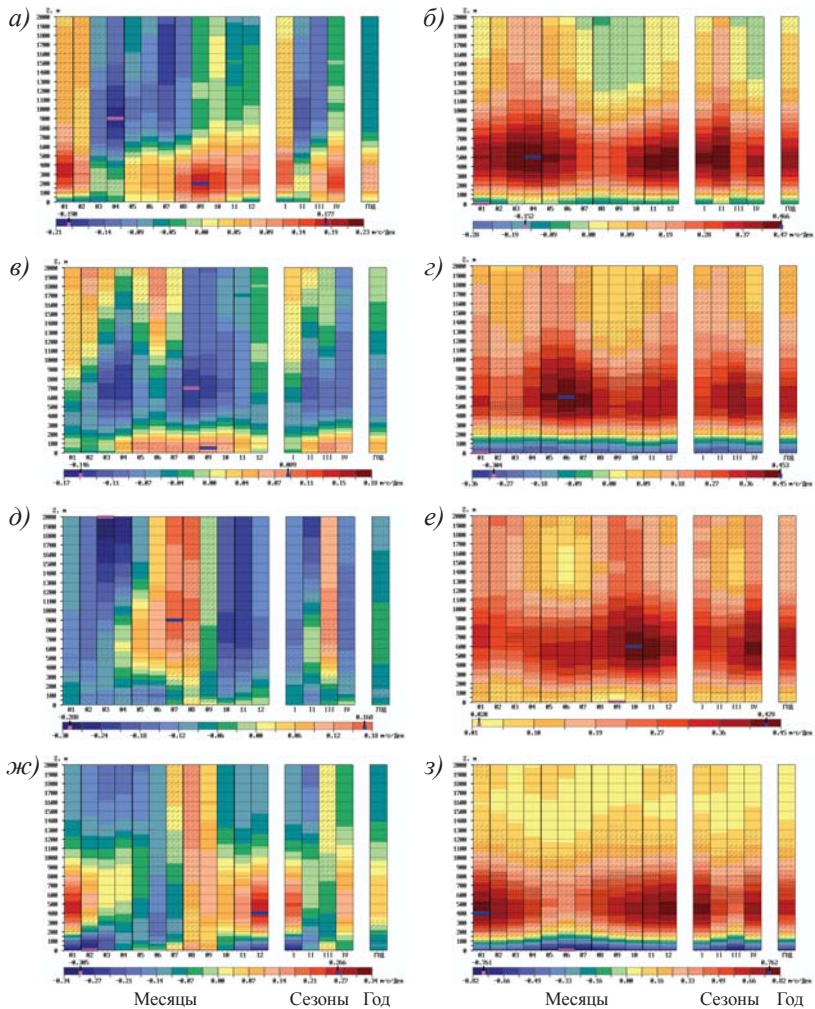


Рис. 6. Тренды аномалий (а, в, д, ж) меридиональной составляющей скорости ветра V , м/с/десятилетие, и (б, г, е, з) соответствующих среднеквадратических отклонений, м/с/десятилетие, в слое атмосферы 0–2 км, для срока 00 ч для каждого месяца, сезона и за год в целом за период 1964–2016 гг. на станциях Мурманск (а, б), Салехард (в, г), Тикси (д, е), Жиганск (ж, з).

Анализ данных рис. 5 (б, г, е, з) и 6 (б, г, е, з), табл. 4 показал следующее: среднеквадратические отклонения как зональной, так и меридиональной составляющих скорости ветра возрастают главным образом на высотах 0,4–0,8 км; максимальные значения в этом слое изменяются от 0,5 м/с/десятилетие в СЕР и ЗСР до 0,7 м/с/десятилетие в ВСР для зональной составляющей и от 0,4 м/с/десятилетие в СЕР и ЗСР до 0,8 м/с/десятилетие – в ВСР; значимость трендов в этом слое в основном больше 95 %. Максимальные тренды среднеквадратических отклонений зональной и меридиональной составляющих скорости ветра определены в ВСР: для зональной составляющей (0,7 м/с/десятилетие) – для станции Тикси и для меридиональной составляющей (0,8 м/с/десятилетие) – для станции Жиганск.

Периоды наибольшего возрастания среднеквадратических отклонений зональной и меридиональной составляющих скорости ветра различаются, виден сдвиг по времени примерно на сезон. Например, для Мурманска (рис. 5 б и 6 б) среднеквадратические отклонения зональной составляющей максимально возрастают зимой, а меридиональной составляющей – весной; для Салехарда (рис. 5 г и 6 г) – летом и осенью соответственно, для Тикси (рис. 5 е и 6 е) для зональной составляющей они максимально возрастают зимой и весной, а меридиональной составляющей – осенью; для Жиганска – осенью и зимой соответственно.

В слое 0–0,2 км в основном определены отрицательные тренды для аномалий среднеквадратических отклонений как зональной, так и меридиональной составляющих скорости ветра, диапазоны их изменения составляют для зональной и меридиональной составляющих -0,4...-0,1 и -0,8–0,0 м/с/десятилетие соответственно. Максимальные по модулю отрицательные тренды аномалий среднеквадратических отклонений для зональной и меридиональной составляющих отмечены на уровне подстилающей поверхности для всех станций, за исключением станции Тикси, для которой они отмечены на высоте 50 м для зональной составляющей. Для Мурманска и Салехарда максимальные по модулю отрицательные тренды аномалий среднеквадратических отклонений определены в январе для обоих составляющих скорости

ветра; для Тикси – в августе и сентябре, для Жиганска – в июле и июне для аномалий среднеквадратических отклонений зональной и меридиональной составляющих скорости ветра соответственно.

В результате анализа данных рис. 5 (а, в, д, ж) и 6 (а, в, д, ж), табл. 4 установлено следующее: диапазоны изменений трендов аномалий многолетних среднемесячных значений зональной и меридиональной составляющих скорости ветра на высотах в слое 0–2 км для рассматриваемых районов различаются слабо. Значимость трендов в основном более 50 и менее 95 %, трендов со значимостью более 95 % не определено.

4. Заключение

На базе данных радиозондирования получены новые данные о пространственно-временных особенностях долгопериодных изменений скорости ветра, её зональной и меридиональной составляющих в слое атмосферы 0–2 км над АРФ, определены высоты с максимальной изменчивостью средней скорости ветра, её зональной и меридиональной составляющих, их среднеквадратических отклонений для разного временного масштаба осреднения. Полученные результаты демонстрируют, что наблюдаемый климат нижнего двухкилометрового слоя атмосферы над АРФ становится более изменчивым, распределения трендов неоднородны в пространстве и во времени. Показано существование квазипериодических колебания для сезонных аномалий скорости ветра и её среднеквадратических отклонений.

Отметим некоторые выявленные особенности долгопериодной изменчивости ветрового режима над АРФ.

В тропосферном слое 0–0,2 км над уровнем земли определены главным образом отрицательные тренды аномалий скорости ветра, аномалий среднеквадратических отклонений скорости ветра, её зональной и меридиональной составляющих.

Максимальные положительные тренды аномалий скорости ветра отмечены в основном на высотах 0,4–0,6 км, аномалий среднеквадратических отклонений скорости ветра, её зональной и меридиональной составляющих на высотах 0,4–0,8 км.

Диапазоны изменений трендов аномалий многолетних средних зональной и меридиональной составляющих скорости ветра на высотах в слое 0–2 км для рассматриваемых районов АРФ различаются слабо.

Для каждого района АРФ периоды наибольшего возрастания среднеквадратических отклонений зональной и меридиональной составляющих скорости ветра различаются, виден сдвиг по времени примерно на сезон.

В ВСР определены максимальные тренды среднеквадратических отклонений зональной и меридиональной составляющих скорости ветра; на высоте 0,5 км для отдельных станций отмечено наибольшее увеличение скорости ветра и её среднеквадратических отклонений.

Представленные результаты могут быть полезны для оценки условий атмосферной дисперсии при геоэкономическом обосновании строительства атомных и тепловых электростанций, для нужд авиации и судоходства, а также при климатических исследованиях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алдухов О. А., Брюхань А. Ф. Пакет программ статистической обработки аэрологических данных для оценки условий атмосферной дисперсии при геоэкономическом обосновании строительства АЭС и ТЭС // Вестник МГСУ. 2012. № 2. С. 188–193.
2. Брюхань Ф. Ф., Иванов В. Н. Концептуальная схема аэрометеорологических исследований при выборе пункта и площадки атомных станций // Труды ИЭМ. 1992. Вып. 55(155). С. 3–12.
3. Hartmann D. L., Klein Tank A. M. G., Rusticucci M. et al. Observations: Atmosphere and Surface. /In: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge, United Kingdom and New York, Cambridge University Press, 2013.
4. Бызова Н. Л., Гаргер Е. К., Иванов В. Н. Экспериментальные исследования атмосферной диффузии и расчеты рассеяния примеси. Л.: Гидрометеиздат, 1991. 278 с.
5. Соколов Ю. Ю. Архив срочных аэрологических данных в пограничном слое на МЛ ЕС ЭВМ // Труды ВНИИГМИ-МЦД. 1987. Вып. 140. С. 48–55.
6. Алдухов О. А., Черных И. В. Методы анализа и интерпретации данных радиозондирования атмосферы. Т. 3. Влажность и температура в атмосфере: статистические характеристики. Обнинск: ВНИИГМИ-МЦД, 2015. 494 с.

7. Алдухов О.А., Черных И.В. Долгопериодные изменения скорости ветра в слое атмосферы 0–2 км над Российской Арктикой по данным радиозондирования за 1964–2016 гг. // Метеорология и гидрология. 2018. № 6. С. 52–66.
8. Стерин А.М. О чувствительности оценок трендов температуры тропосферы и нижней стратосферы по данным радиозондирования. 1: Выбор массива данных, длины ряда и методов анализа // Метеорология и гидрология. 2004. № 5. С. 21–36.
9. Алдухов О.А., Оржиховская В.А., Садовникова Т.О. и др. Архив текущей аэрологической информации АЭРОСТАБ. Описание архива. Обнинск: ВНИИГМИ-МЦД, 1990. 28 с.
10. Алдухов О.А., Черных И.В. Методы анализа и интерпретации данных радиозондирования атмосферы. Т. 1. Контроль качества и обработка данных. Обнинск: ВНИИГМИ-МЦД, 2013. 306 с.
11. Руденкова Т.В. Формат архивации текущих аэрологических данных, поступающих по каналам связи для ПЭВМ // Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2010. Вып. 174. С. 41–63.
12. Alduchov O. A., Eskridge R. E. Complex quality control of upper air parameters at mandatory and significant levels for the CARDS dataset. Asheville, NC, National Climatic Data Center Report, 1996. 151 p.
13. Eskridge R. E., Alduchov O. A., Chernykh I. V., et al. A comprehensive aerological reference dataset (CARDS): rough and systematic errors // Bull. Amer. Meteorol. Soc. 1995. Vol. 76. P. 1759–1775.
14. Гандин Л.С., Казан Р.Л. Статистические методы интерпретации метеорологических данных. Л.: Гидрометеиздат, 1976. 359 с.
15. Де Бор К. Практическое руководство по сплайнам. М.: Радио и связь, 1985. 304 с.
16. Стечкин С.Б., Субботин Ю.Н. Сплайны в вычислительной математике. М.: Наука, 1976. 248 с.
17. Матвеев Л.Т. Курс общей метеорологии. Физика атмосферы. Л.: Гидрометеиздат, 1984. 751 с.
18. Груза Г.В., Зайцев А.С., Кароль И.Л. и др. Оценочный доклад об изменениях климата и их последствий на территории Российской Федерации. Том 1. Изменения климата. М.: Росгидромет, 2008. 227 с.

УДК 551.501:004

СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИЕЙ И ПОЛУЧЕНИЯ КЛИМАТИЧЕСКОЙ ПРОДУКЦИИ CLIWARE 2.1 – ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ

***А. В. Беспрозванных¹, Л. Н. Сенова²,
Н. Л. Ульянич³, Р. А. Шерстюкова⁴***

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

¹ alexander@meteo.ru, ² senova@meteo.ru,

³ uljanich@meteo.ru, ⁴ clicom@meteo.ru

Введение

Программа «Система управления гидрометеорологической информацией и получения климатической продукции» (далее – CliWare 2.1) предназначена для автоматизированной обработки, отображения, хранения и передачи гидрометеорологической информации (ГМИ), а также для получения климатической продукции. Система ориентирована на обслуживание потребителей оперативной, исторической и климатической информацией в различных формах представления, таких как таблицы, карты, графики, и используется в локальных и глобальных сетях. Система установлена в ряде управлений Гидрометеорологической службы (УГМС) Российской Федерации (РФ), в областных центрах по гидрометеорологии, некоторых научно-исследовательских организациях, а также в гидрометеорологических службах ряда стран ближнего зарубежья (СНГ). По оценкам специалистов УГМС, система помогает оперативно решать задачи по получению климатической продукции для обслуживания потребителей в таких областях, как сельское хозяйство, дорожное и лесное хозяйства, строительство, собственно изучение климата, помощь правоохранительным органам. Контроль полноты данных позволяет принимать правильное решение о возможности выполнении поставленной задачи. Широкий список реализованных в системе задач получения климатических характеристик (около

пяти тысяч) позволяет использовать систему CliWare для подготовки справок по большинству заявок. Этот список может пополняться за счёт включения новых задач.

Средства разграничения доступа системы позволяют устанавливать различные права для пользователей по управлению данными и ограничивать доступ к информации для различных пользователей. Общий вид главной страницы системы CliWare 2.1 представлен на рис. 1.



Рис. 1. Главная страница системы CliWare 2.1

Основными видами информации, с которыми работает система, являются оперативные, исторические и климатические данные.

Оперативные данные

Оперативные данные в системе CliWare 2.1 будут доступны в случае подключения комплекса приёма и обработки информации, поступающей по каналам связи [1]. Оперативная гидрометеорологическая информация представлена следующими видами информации:

- приземные наблюдения с фиксированных наземных станций (SYNOP);
- приземные наблюдения с морских станций (SHIP);
- аэрологические данные с фиксированных наземных станций, метеоданные (TEMP, PILOT);

- аэрологические данные с фиксированных наземных станций, уровни (TEMP, PILOT);
- аэрологические данные с морских станций, метеоданные (TEMP SHIP, PILOT SHIP);
- аэрологические данные с морских станций, уровни (TEMP SHIP, PILOT SHIP);
- аэрологические данные с фиксированных наземных станций, метеоданные (AIR_STATION_BUFR);
- аэрологические данные с фиксированных наземных станций, уровни (AIR_LEVEL_BUFR);
- данные батитермических наблюдений, метеоданные (BATHY);
- данные батитермических наблюдений, уровни (BATHY);
- данные с морских станций о температуре, солёности и течении, метеоданные (TESAC);
- данные с морских станций о температуре, солёности и течении, уровни (TESAC);
- наблюдения с буёв, метеоданные (BUOY);
- наблюдения с буёв, уровни (BUOY);
- месячные значения с наземных станций (CLIMAT);
- месячные значения с наземных станций (CLIMAT_BUFR);
- береговые гидрологические наблюдения на морских станциях и постах (KH-02);
- береговые гидрологические наблюдения на морских станциях и постах (KN02_SEA);
- метеорологические сводки по аэродромам, основные (METAR, SPECI);
- метеорологические сводки по аэродромам, дополнительные (METAR, SPECI);
- прогнозы погоды по аэродромам (TAF);
- штормовые и иные предупреждения об опасных метеорологических явлениях (STORM);
- наблюдения за поверхностью моря по маршрутам следования судов (TRACKOB);
- гидрологические наблюдения на реках, озёрах и водохранилищах (KH-15);

- результаты измерений снежного покрова (КН-24);
- информация о радиационной обстановке (КН-13);
- приземные наблюдения с фиксированных наземных станций (SYNOP_BUFR);
- штормовые сообщения наблюдательных подразделений (WAREP).

Каждый из вышеперечисленных видов оперативных данных имеет свою структуру с параметрами, присущими для конкретного типа данных. Общими для всех типов оперативных данных являются наличие номера станции, её наименование, географические координаты, время наблюдения.

Оперативные данные могут быть представлены в табличном и графическом виде. На рис. 2 приведена диаграмма для элемента Температура воздуха для станции Москва, ВДНХ за период с 1 по 15 мая 2018 года.

Оперативные данные могут быть представлены в виде различных продуктов. Так по оперативным данным с наземных станций (SYNOP) в пункте меню **Расчёты** ведётся Обобщение оперативных данных. Об этом будет сказано ниже при описании пункта меню **Расчёты**.

По оперативным данным строятся карты фактической погоды, производится мониторинг сбора данных и «кольцовка», когда



Рис. 2. Диаграмма для элемента Температура воздуха

пользователю предоставляется возможность задать район на карте для представления данных в виде кольцевой синоптической карты (рис. 3).

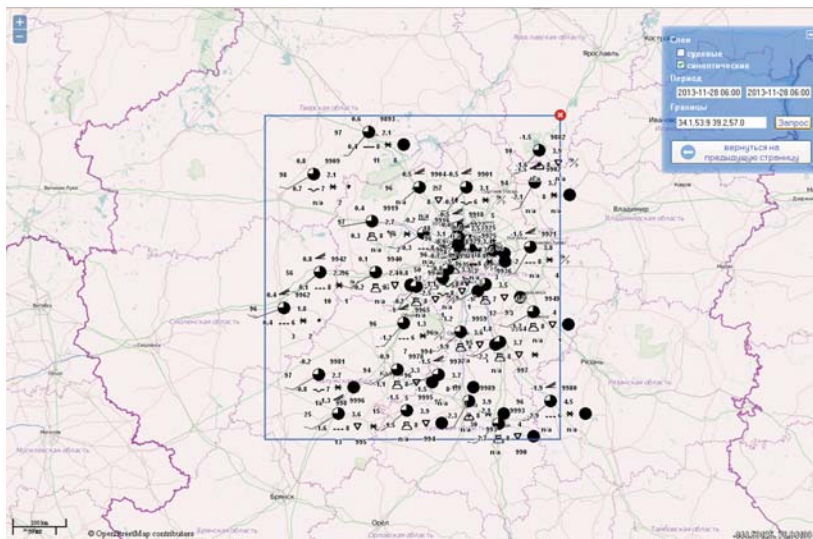


Рис. 3. Пример представления данных в виде кольцевой синоптической карты

Мониторинг осуществляется на основе состояния базы данных на текущий момент в виде графического представления любого вида принимаемой по каналам связи информации.

Пример картографического представления данных о фактической погоде изображен на рис. 4.

Также для оперативных данных реализован пункт «Сбор данных» в виде таблицы с количеством поступления сообщений в час, в сутки по разным видам наблюдений.

Важно заметить, что по оперативным данным, получаемым по каналам связи, ежемесячно производится формирование архивов гидрометеорологических наблюдений по станциям земного шара.

Следующим важным видом информации, с которым работает система CliWare 2.1, являются исторические данные.

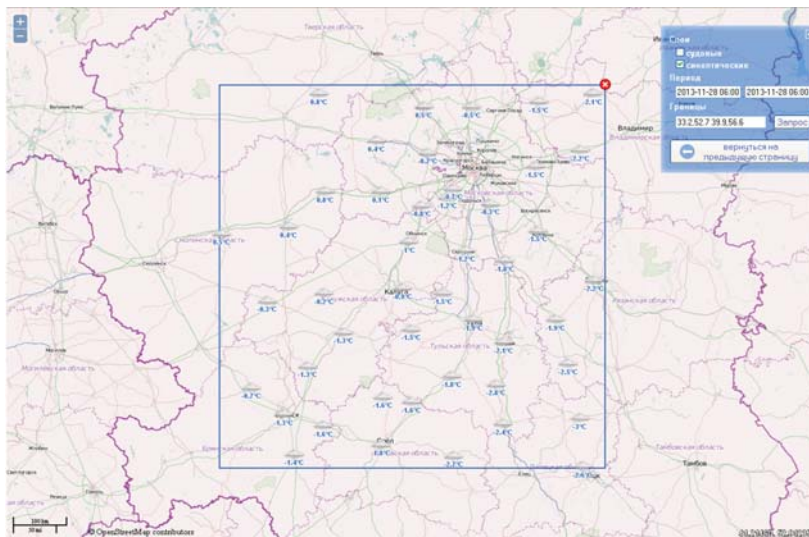


Рис. 4. Пример картографического представления данных о фактической погоде

Исторические данные

В основе своей исторические данные – это данные архивов срочных и суточных наблюдений. В систему загружаются данные срочных архивов, таких как Восход с 1966 по 1976 год, данные ТММ1 – с 1977 по 1983 год. С 1984 года загружаются данные архива ТМС, произведённые системой ПЕРСОНА [2, 3]. За основу формата метеорологических данных наблюдений выбран формат архива ТМС, к которому приводятся данные архивов Восход, ТММ1 и ТМС. Метеоэлементы архивов Восход и ТММ1, которые не входят в структуру архива ТМС, размещаются в отдельные таблицы. На основе срочных данных система CliWare 2.1 способна произвести суточные, декадные, месячные обобщения. А на основании произведённых обобщений сгенерировать экстремальные характеристики по всем видам параметров, представленных в вышеперечисленных выводах. В системе CliWare 2.1 текущие данные представлены по видам наблюдений, принятых при формировании архивов ТМС, а именно:

синоптические данные, часовые данные, продолжительность солнечного сияния, суточные данные, ежемесячные данные, данные по атмосферным явлениям, информация об обледенении, сведения об особо опасных явлениях, данные плювиографа, информация о снежном покрове по полю, по оврагам и балкам, по лесу, суточные данные по температуре почвы на глубинах, синоптические данные по температуре почвы на глубинах, сведения о перерывах в наблюдениях.

В системе CliWare 2.1 исторические суточные данные реализованы по списку метеорологических элементов архива ТМСС. Кроме того, в систему загружаются архивы СУТКИ-65 и СУТКИ-76, которые приведены к структуре архива ТМСС. Те параметры, которые не входят в структуру архива ТМСС, а входят в состав старых архивов, объединяются в отдельные таблицы.

Таким образом, все метеорологические элементы, содержащиеся как в старых, так и в формируемых в настоящее время архивах, сохраняются в таблицах системы CliWare 2.1.

После загрузки всех или частично исторических данных пользователи, а обычно это – специалисты УГМС, могут формировать свои базы данных. Это делается с помощью пункта меню **Формирование базы**. Причем суточные, декадные, месячные выводы строятся на основе срочных данных, а многолетние выводы строятся на основе уже сгенерированных по этим видам информации данных.

Одной из важнейших функций системы CliWare 2.1 является способность производить различные расчёты по тем данным, которые попали в систему в результате реализации функции **Формирование базы**. Эта функция реализована в пункте меню **Расчёты**.

Расчёты

В этом пункте меню пользователи смогут рассчитать суточные, декадные, месячные, многолетние суточные, многолетние декадные, многолетние месячные выводы. Особенностью этого пункта меню является расчёт разного рода характеристик метеорологических элементов без записи результатов в БД. В этом пункте реализовано моментальное удовлетворение запросов по заявкам потребителей климатической продукции. Результат

выдаётся на экране монитора, изображение можно сохранять и выдавать в любом виде. Надо заметить, что суточные, декадные, месячные выводы формируются по типу выпускаемых в системе ПЕРСОНА метеорологических таблиц [2, 3].

Для многолетних выводов характерно представление дополнительных характеристик в виде периода обобщения и дат экстремумов метеорологических элементов.

В разделе **Расчёты** пользователи смогут выполнить Обобщение из оперативных данных. Этот пункт был внедрён относительно недавно, и для специалистов он имеет огромное практическое значение в плане быстрого реагирования на запросы сторонних пользователей метеорологической продукцией. Важно подчеркнуть, что списки элементов для этого пункта расчётов были подготовлены специалистами Республиканского гидрометеорологического центра республики Беларусь.

Обобщение из оперативных данных может быть за сутки, декаду или месяц. На рис. 5 показан расчёт обобщённых оперативных данных за сутки с 10 мая по 14 мая 2018 года. Расчёт произведён 15 мая 2018 года. Если ввести по станции нормы, то пользователь сможет увидеть на экране и отклонение от норм для температуры воздуха.

http://10.20.140.13/calreal/DataRealCakLP.jsp - Windows Internet Explorer предоставил: Вилек

10.20.140.13

calreal/DataRealCakLP.jsp

Файл Правка Вид Избранное Сервис Справка

Избранное Сервис Сер

Пользовательские задачи

Выше уже говорилось о том, что система CliWare 2.1 предлагает пользователю для решения список задач, носящих общий характер, как для специалистов гидрометеорологических управлений, так и для научно-исследовательских целей в изучении климата. Стоит отметить, что в составлении списка задач большое участие приняли заслуженный метеоролог РФ, доктор географических наук, профессор Н. В. Кобышева из ГГО им. Воейкова и климатологи Республиканского гидрометеорологического центра республики Беларусь: М. А. Гольберг, Г. В. Волобуева и др. [5].

Задачи подразделены по типам данных: суточные, срочные, декадные, месячные. Общим для всех задач является появление меню с перечнем метеорологических характеристик, в котором можно выбирать любое количество характеристик, список городов, даты выбора в виде начального и конечного года выбора и внутреннего периода внутри года [4].

Пользовательские задачи (сутки)

Ниже приводится список задач с алгоритмами по суточной, срочной, декадной, месячной базам данных. Для многих задач решение может быть осуществлено по двум уровням: отдельно по годам (первый уровень) и многолетние выводы (второй уровень).

■ Расчёт основных статистических параметров метеоэлементов

Для станции за временной интервал с указанными границами вычисляются среднее, максимум, минимум, сумма, среднее квадратичное отклонение, коэффициент асимметрии, коэффициент вариации, эксцесс по определённому метеорологическому элементу.

■ Расчёт дат перехода температуры через заданный уровень весной

Алгоритм расчёта для каждого года даты первого и последнего заданного значения показателя реализован следующим образом. Если в данном году заданное значение температуры достигается один раз, то дата считается первой и последней. Даты устойчивого перехода температуры через заданный уровень определяются способом, принятым в агрометеорологии, то есть путём сопоставления

положительных и отрицательных отклонений сумм суточных значений температуры от заданного предела. Положительным отклонением считается тогда, когда фактическое значение температуры превышает заданный уровень. Если значение температуры ниже заданного уровня, отклонение считается отрицательным. За дату устойчивого перехода температуры воздуха через заданный предел весной принимается первый день периода, сумма положительных отклонений которого превышает сумму отрицательных отклонений любого из последующих периодов с отрицательными отклонениями. Параметрами задачи являются временной период (первая половина года), станция и предел для температуры воздуха.

■ **Расчёт дат перехода температуры через заданный уровень осенью**

За дату устойчивого перехода температуры воздуха через заданный предел осенью принимается первый день того периода, сумма отрицательных отклонений которого превышает сумму положительных отклонений любого из последующих периодов с положительными отклонениями. Параметрами задачи являются временной период (вторая половина года), станция и предел для температуры воздуха.

■ **Выбор метеозлементов по заданным значениям**

Программа выбирает для заданной станции за временной интервал с указанными границами фактические значения величин в пределах заданных границ. Параметрами задачи являются временной период, станция и условие выбора в виде нижняя граница/верхняя граница. Можно заполнять обе границы, а можно опускать одну из них. Тогда это будет выглядеть как пусто/верхняя граница, либо как нижняя граница/пусто.

■ **Поиск для каждого года периода заданной длины с максимальным и минимальным значением метеозлемента**

За временной интервал с указанными границами выбрать периоды заданной длины с минимальным и максимальным значением метеорологического элемента. Длина периода вводится пользователем. В форме вывода выделяются два столбца с минимальными

и максимальными характеристиками периода по каждому году запрашиваемого временного ряда, причём каждый период имеет начало и среднее значение (для осадков – сумма) элемента.

■ **Расчёт среднего многолетнего количества дней при значении параметра в указанных пределах**

Для каждого года заданного временного ряда вычисляется среднее количество дней со значением параметра в указанных пределах. Диапазон значений параметра задаётся пользователем, причём как верхняя граница, так и нижняя граница диапазона может быть опущена. Параметрами задачи являются временной период, станция и условие в виде нижняя граница/верхняя граница или пусто/верхняя граница или нижняя граница/пусто.

■ **Расчёт сумм температур по агрометеорологии**

Задача расчёта сумм температур по агрометеорологии включает расчёт суммы положительных температур, суммы активных температур и суммы эффективных температур. Сумма положительных температур: подсчитываются средние суточные температуры выше 0°C в тёплый период года за любой нужный отрезок времени (от перехода температуры через предел или от заданной даты); суммируются (нарастающим итогом) сами значения средней суточной температуры. Сумма активных температур: подсчитываются средние суточные температуры с того дня, когда температура будет выше нужного предела ($5, 7, 10^{\circ}\text{C}$ и т.д.); в подсчёт не включаются температуры тех дней, когда температура равна или ниже предела; суммируются (нарастающим итогом) сами значения средней суточной температуры. Подсчёт эффективных температур производится следующим образом: за каждый день вычитают из средней суточной температуры величину нижнего предела эффективной температуры ($5, 10, 15^{\circ}\text{C}$ и т.д.) и полученные разности (остатки) за весь период складываются от первого или устойчивого перехода температуры через предел; суммируются (нарастающим итогом) разности между средней суточной температурой и указанным пределом, учитываются только положительные разности. Параметрами задачи являются период, станция и предел для температуры воздуха.

- Расчёт дат первого и последнего превышения (и наоборот) заданного значения

Отыскать дату первого и последнего превышения (и наоборот) заданного значения метеорологического элемента. Условие поиска задается пользователем. Параметрами задачи являются временной период, станция и условие в виде выбора условия ($=$, $<$, $\leq$, $>$, $\geq$) и значения. Например, ≥ 10 .

- Расчёт изменчивости метеозлемента от суток к суткам

Задача показывает изменение метеорологического элемента от суток к суткам в пределах заданного временного интервала внутри каждого года. Параметрами задачи являются временной период и станция.

- Расчёт дат установления и схода устойчивого снежного покрова

Даты установления и схода устойчивого снежного покрова рассчитываются по элементу *степень покрытия*. Дата установления снежного покрова – начиная с этой даты степень покрытия принимает положительные значения. При этом перерыв в один день в начале зимы не принимается во внимание, если ему предшествует залегание снежного покрова не менее 5 дней подряд и перерыв в 2–3 дня, если ему предшествует снежный покров не менее 10 дней. Дата схода снежного покрова – последняя дата положительного значения степени покрытия. Если в конце зимы, не более чем через 3 дня после схода снежного покрова, вновь образуется покров и лежит не менее 10 дней, то считается, что залегание устойчивого снежного покрова непрерывно. Параметрами задачи являются временной период и станция.

- Выбор аналогичных периодов для температуры и осадков

Выбор аналогичных периодов для температуры и осадков осуществляется для средней, максимальной, минимальной температуры воздуха по методу определения скользящих средних значений температуры и для суммы осадков.

■ **Расчёт количества дней с относительной влажностью**

Расчёт количества дней производится для относительной влажности в 30 и 80 % по отдельности. Сутками с относительной влажностью ≤ 30 % являются сутки, когда хотя бы в один из сроков отмечалась относительная влажность 30 % и менее. Сутками с относительной влажностью ≥ 80 % являются сутки, когда ни в один из сроков не отмечалась относительная влажность 79 % и менее.

■ **Выбор метеоэлементов по заданным значениям**

Пользователю предоставляется экран со всеми метеорологическими параметрами суточной базы данных. Выбрать можно любое количество параметров при значении параметров в пределах. При нажатии клавиши «Далее» появится экран с выбором станции и периода.

Пользовательские задачи (сроки)

- **Расчёт основных статистических параметров метеоэлементов**
- **Выбор метеоэлементов по заданным значениям**
- **Расчёт среднего многолетнего количества дней при значении параметра в указанных пределах**
- **Расчёт сумм температур по агрометеорологии**
- **Расчёт числа случаев и повторяемостей направлений ветра и штиля по 16 румбам**

Определяется число случаев и повторяемость по 16 румбам, а также по переменному ветру и штилям по всем срокам заданного временного ряда. Причём повторяемость ветра каждого румба или переменного направления представляет собой отношение числа случаев каждого румба или переменного направления к общему числу сроков с ветром. Повторяемость заносится в строку выходной таблицы со сроком 00. Сумма повторяемостей ветра всех 16 румбов и переменного направления всегда должна составлять 100 %. Повторяемость штилей вычисляется как отношение числа штилей к общему числу сроков с ветром. Параметрами задачи являются временной период и станция. По этой задаче строится график розы ветров.

- Расчёт повторяемостей направлений ветра по 16 румбам при заданной скорости

Повторяемость определяется как отношение числа случаев ветра заданной скорости по 16 румбам и переменному ветру к общему числу сроков с ветром. Параметрами задачи являются временной период и станция.

- Расчёт повторяемостей, числа и суммы случаев различных сочетаний скорости ветра

Число случаев различных сочетаний скорости и направления ветра по 16 румбам определяется по всем срокам временного ряда. Сумма случаев и повторяемость заносятся в строку выходной таблицы со сроком 00. Сумма повторяемостей всегда должна составлять 100 %. Параметрами задачи являются временной период и станция.

- Расчёт числа случаев и повторяемостей направлений ветра и штиля по 16 румбам за сутки

Повторяемость определяется как отношение суммы числа случаев ветра определённого направления за все сроки (сутки) к общему числу сроков с ветром за сутки. Повторяемость штилей вычисляется как отношение числа штилей к общему числу сроков с ветром. Параметрами задачи являются временной период и станция. По результату строится график розы ветров.

- Расчёт средней и максимальной скорости ветра по 16 румбам

За временной ряд с указанными границами рассчитывается средняя скорость ветра по 16 румбам и выбирается максимальная скорость ветра. Параметрами задачи являются временной период и станция.

- Расчёт числа случаев и повторяемостей направлений ветра по 8 румбам

Определяются число случаев и повторяемость по 8 румбам за заданный временной ряд. Причём повторяемость ветра каждого румба представляет собой отношение числа случаев каждого румба к общему числу случаев с ветром. Сумма повторяемостей

ветра всегда должна составлять 100 %. Параметрами задачи являются временной период и станция.

■ **Расчёт интенсивности суховеев**

Под суховеем понимается ветер с высокой температурой, низкой относительной влажностью воздуха и большим дефицитом влажности летом. В задаче реализован алгоритм, применяемый в агрометеорологической практике: под суховеем понимается ветер со скоростью более 5 м/с, при котором хотя бы в один срок (09 мск) наблюдений относительная влажность меньше 50 % , температура воздуха выше 25 °С, а дефицит влажности превышает 20 мб. Интенсивность суховеев рассчитывается по формуле И. Ф. Соколова. Параметрами задачи являются временной период и станция. Параметром является срок 09.

■ **Расчёт числа случаев и повторяемостей направлений ветра и штиля по 8 румбам**

Определяются число случаев и повторяемость по 8 румбам за заданный временной ряд. Причём повторяемость ветра каждого румба представляет собой отношение числа случаев каждого румба к общему числу случаев с ветром. Повторяемость штилей вычисляется как отношение числа штилей к общему числу сроков с ветром. Сумма повторяемостей ветра всегда должна составлять 100 %. Параметрами задачи являются временной период и станция.

■ **Расчёт числа случаев и повторяемостей направлений ветра по 16 румбам (построение розы ветров).**

Определяются число случаев и повторяемость по 16 румбам за заданный временной ряд. Причём повторяемость ветра каждого румба представляет собой отношение числа случаев каждого румба к общему числу случаев с ветром. Сумма повторяемостей ветра всегда должна составлять 100 %. Параметрами задачи являются временной период и станция.

Пользовательские задачи (декада)

■ **Расчёт основных статистических параметров метеоэлементов**

Пользовательские задачи (месяц)

■ Расчёт основных статистических параметров метеоэлементов

Пример решения задачи по суточной базе данных Расчёт основных статистических параметров по температуре воздуха по станции Москва за январь в период с 2000 по 2007 год (первый уровень – по годам) представлен на рис. 6.



Метеорологический элемент	Год	Максимум	Минимум	Среднее	Диапазон	Количество наблюдений	Амплитуда	Нормы	
Москва	2000	-4.1	6.8	-19.1	108.9	6.2	-0.7	-0.9	
Москва	2001	-4.3	1.4	-15.9	120.7	7.0	-1.0	-0.5	
Москва	2002	-4.9	3.8	-22.3	114.4	7.3	-1.2	0.3	
Москва	2003	-7.4	1.0	-24.8	127.8	8.4	-1.0	-0.3	
Москва	2004	-4.5	1.5	-16.8	120.2	7.0	-0.8	-0.7	
Москва	2005	-2.0	4.4	-15.4	49.0	29.4	7.4	-0.9	-0.4
Москва	2006	-10.8	0.0	-28.8	214.4	77.4	6.8	-0.7	-0.8
Москва	2007	-1.8	7.1	-11.7	48.7	33.8	7.8	-0.8	-0.8

Рис. 6. Основные статистические характеристики (первый уровень)

На рис. 7 даны многолетние данные за январь периода 2000–2007 гг. (задача второго уровня) с теми же параметрами, что и задача первого уровня.



Метеорологический элемент	Год	Максимум	Минимум	Среднее	Диапазон	Количество наблюдений	Амплитуда	Нормы	
Москва	2000-2007	-7.4	7.1	-20.8	127.8	49.0	7.4	-1.1	0.8

Рис. 7. Основные статистические характеристики (второй уровень)

Пример решения задачи по срочной базе данных Число случаев и повторяемостей ветра и штилей по 8 румбам с построением графика розы ветров представлены на рис. 8, а график розы ветров – на рис. 9.

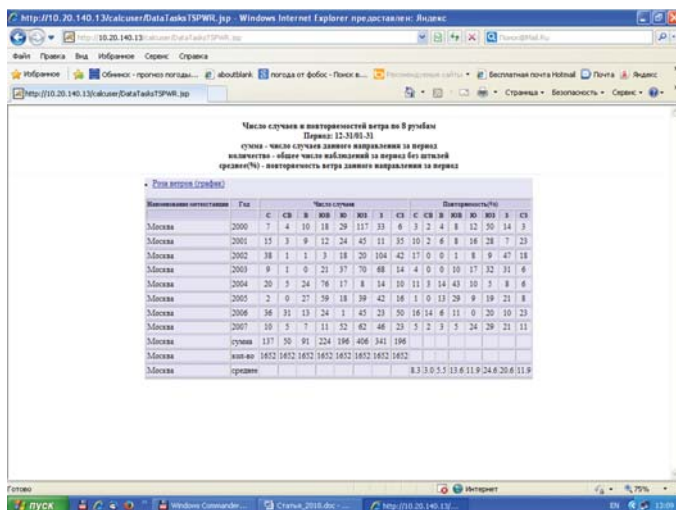


Рис. 8. Число случаев и повторяемостей ветра и штилей по 8 румбам

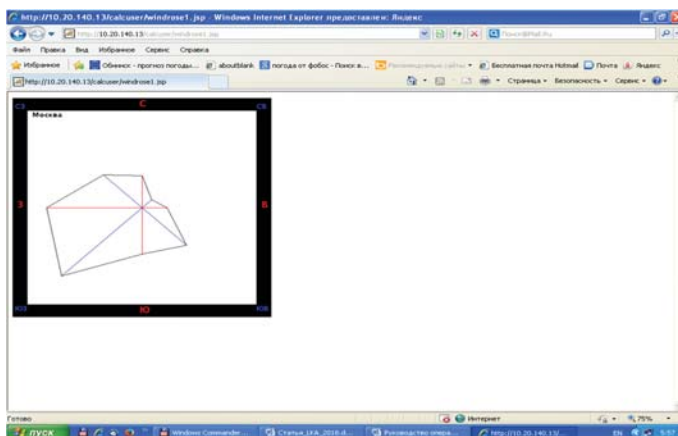


Рис. 9. Число случаев и повторяемостей ветра и штилей по 8 румбам (роза ветров)

Система CliWare 2.1 предлагает пользователю ряд дополнительных функций по управлению базой данных, например удаление исторических данных из БД в пункте меню Формирование базы. По пункту меню Полнота специалист принимает решение о выполнении той или иной задачи исходя из информации по количеству присутствующих значений. Также пользователь может получить справку по списку станций по наблюдениям, загруженным в систему.

Заключение

Таким образом, система CliWare 2.1 представляет собой современный программно-технологический комплекс, базирующийся исключительно на Web-технологиях. Система решает четыре основные задачи: ввод гидрометеорологической информации в систему, получение различных климатических характеристик, ведение базы данных гидрометеорологической информации и метаданных, а также доведение информации до потребителей. Установка системы в областных центрах по гидрометеорологии, управлениях по гидрометеорологии, научно-исследовательских организациях позволяет этим организациям успешно и быстро решать свои задачи и на своей территории по обслуживанию потребителей метеорологическими данными.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Беспрозванных А.В., Потапова Е.П., Сенова Л.Н., Ульянич Н.Л., Шерстюкова Р.А.* Прием, обработка и использование метеорологической информации, поступающей с каналов связи // Труды ВНИИГМИ-МЦД, 2010. Вып. 174. С. 28–40.
2. *Шаймарданов М.З., Пуголовкин В.В.* Автоматизированные системы и технологии сбора, обработки и накопления данных гидрометеорологических наблюдений // СПб.: Гидрометеоиздат. Обнинск: ВНИИГМИ-МЦД, 2002. С. 100–144.
3. *Методические указания по автоматизированной обработке гидрометеорологической информации.* Вып. 3, часть 1, раздел 1. Обнинск, 2000.
4. *Рекомендации по расчету специализированных климатических характеристик,* 1977. СПб.: Гидрометеоиздат.
5. *Гольберг М.А., Волобуева Г.В., Фалей А.А.* Опасные явления погоды и урожай, 1988. Минск: Ураджай.

УДК 551.46.06

ПЕРВОНАЧАЛЬНЫЙ КОНТРОЛЬ И ИСПРАВЛЕНИЕ ДАННЫХ СУДОВЫХ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ, ПОСТУПАЮЩИХ С КАНАЛОВ СВЯЗИ, ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ АРХИВОВ ДОЛГОВРЕМЕННОГО ХРАНЕНИЯ «МОРМЕТ» И «МОРМЕТ-2006»

***Е. М. Кракановская¹, Е. Б. Маринченко²,
А. И. Шевченко³***

*ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский институт
гидрометеорологической информации – Мировой центр данных»,
¹ kem@meteo.ru, ² meb@meteo.ru, ³ ashevchenko@meteo.ru*

Введение

Данные судовых гидрометеорологических наблюдений – это незаменимый источник информации об окружающей среде.

В лаборатории морской метеорологии (ЛММ) отдела информационных технологий первичной обработки гидрометеорологической информации (ОИТПОГИ) созданы и постоянно пополняются два архива судовых метеорологических наблюдений:

- архив «Судовые метеорологические наблюдения «МОРМЕТ»» [1];
- архив «Судовая метеорология «МОРМЕТ-2006»» [2].

Для пополнения этих архивов используются следующие основные источники наблюдений:

- судовые метеорологические наблюдения с российских и зарубежных судов, получаемые по Глобальной сети телесвязи (ГСТ);
- судовые метеорологические данные международного обмена из Глобального центра сбора (ГЦС) Германии;
- данные российских судов с журналов КГМ-15.

Следует отметить, что источники данных пунктов 2 и 3 до поступления на обработку в ЛММ всегда проходили такие виды контроля, как контроль позывного и проверку временной

последовательности координат. Данные, поступающие с телеграмм, для пополнения архивов «МОРМЕТ» и «МОРМЕТ-2006» до 2009 года такого первоначального контроля не имели.

Работа с данными архивов «МОРМЕТ» и «МОРМЕТ-2006» выявила следующие ситуации с данными наблюдений.

В судовых данных российских северных морей обнаружено немало старых наблюдений, в которых температура воздуха, температура воды, температура смоченного термометра в январе составляли выше 25 °С. Естественно, признаки контроля качества данных метеопараметров имели значение 3 (данные сомнительны), поэтому при дополнительном контроле массивов такие записи были отделены из файлов-регионов.

Возможно, что в таких записях сомнительны не метеозлементы в записи, а сомнительна широта такого наблюдения, которая равна не 80° с.ш., а 8° с.ш., поэтому в 2009 году было принято решение корректировать координаты сомнительных данных, для чего необходимо проводить:

- анализ позывных кораблей в данном месяце;
- проверку временной последовательности координат каждого корабля.

Тем более что количество ежемесячно поступающих по каналам связи морских метеорологических наблюдений превышает 400 000 и также возрастает число ошибочных записей.

Методика контроля и исправления данных телеграмм

Рассмотрим основные этапы контроля и исправления данных телеграмм более подробно.

1. Удаление записей, не содержащих метеозлементов

В ходе работы с данными архивов «МОРМЕТ» и «МОРМЕТ-2006» было обнаружено, что некоторые записи практически не содержат метеопараметров.

Если в телеграмме нет вообще ни одного метеопараметра (есть только время и место наблюдения), то по технологии формирования файла данных судовых телеграмм такая телеграмма не включается в состав выходного файла, имеющего имя SHYYMM,

где YY – 2 последние цифры года, MM – месяц года. Но в файл SHYYMM попадают такие записи, в которых присутствуют только элементы Ds и Vs (генеральное направление и генеральная скорость судна по коду КН-01), причем в большинстве случаев Ds, Vs равны нулю (судно стоит на месте). И таких записей в каждом файле SHYYMM более 10 000.

Чтобы не заполнять архивы «МОРМЕТ» и «МОРМЕТ-2006» (в которых более 100 млн наблюдений) практически пустыми записями, было принято решение такие записи не включать в состав архивов «МОРМЕТ» и «МОРМЕТ-2006» и для этого удалять из каждого файла SHYYMM.

2. Проверка и исправление позывных судов

Каждый файл SHYYMM – это комплект наблюдений, отсортированный по принципу: номер пятиградусного квадрата, внутри каждого пятиградусного квадрата данные отсортированы по широте, долготе, а далее – по сроку наблюдения. Такая сортировка данных была принята изначально, чтобы пользователям данных было удобно рассчитывать, например, статистические характеристики метеопараметров в каждом пятиградусном квадрате.

Далее для следующих этапов контроля и исправления данных файл SHYYMM необходимо представить в виде последовательного набора рейсов судов либо буёв (стационарных либо дрейфующих). И каждый такой рейс судна (траектория буя) будет представлять хронологическую последовательность записей в течение месяца MM.

Чтобы получить такой набор рейсов, необходимо за основу взять позывной корабля. Далее внутри каждого позывного записи должны быть отсортированы по времени наблюдения, затем по координатам.

Следует заметить, что не все записи снабжаются истинными позывными. В части записей на месте истинного позывного присутствуют символы SHIP, в таком случае временная последовательность телеграмм для контроля по позывному не имеет смысла и не проводится.

Для удобства работы с данными файла SHYYMM создаётся дополнительный файл KEY_SHYYMM, который представляет собой ключевые характеристики файла SHYYMM:

- позывной;
- срок;
- октант;
- широта;
- долгота;
- номер пятиградусного квадрата.

Во время контроля в файл KEY_SHYYMM справа от элемента номер пятиградусного квадрата отмечаются исправления данной записи, т.е. файл KEY_SHYYMM используется в виде справочного.

Необходимость исправления неверных позывных файла SHYYMM заключается в том, что при последующем переформатировании в форматы архивов «МОРМЕТ» и «МОРМЕТ-2006» происходит удаление дублей по следующему принципу: выбираются записи данного корабля в данный срок из разных источников наблюдений и из этих двух записей формируется одна. И в данной точке наблюдений (в пределах десятых долей градуса по широте и долготе) и в данный срок оставляются в итоге записи всех судов.

Самые распространённые ошибки позывных следующие:

- некоторые испорченные позывные – это добавка либо утеря одного из символов верного позывного;
- в некоторых случаях, например, вместо буквы О стоит символ 0 (ноль).

Исправляя позывной, обязательно нужно смотреть, подходят ли координаты его срока к координатам сроков до и после верного позывного.

При работе полезно анализировать, какие позывные встречаются в пятиградусном квадрате рядом с сомнительным позывным. Основное в данной работе по исправлению позывных – это догадка и интуиция, а также накопленный многолетний опыт работы с данными судовых метеорологических наблюдений.

Ошибки в позывных файла SHYYMM исправляются вручную с помощью текстового редактора.

3. Проверка на принадлежность морской территории

Следующий этап контроля и (по возможности) исправления координат – это проверка на принадлежность морю (либо данная точка наблюдения выпадает на сушу).

Для того чтобы получить попавшие на сушу записи, необходимо данные файла SHYYMM преобразовать в формат архива «МОРМЕТ» либо «МОРМЕТ-2006» [3]. При этом контроль на «море–суша» ведется с помощью файла SEA.DAT, хранящего карту береговой линии Мирового океана с точностью до 1 градуса. Далее анализируется файл наблюдений, которые оказываются на суше. В этом файле оказывается много наблюдений на озёрах и реках Северной Америки. Естественно, эти наблюдения не преобразуются затем в выходной формат архивов долговременного хранения, но сохраняются в исходном файле SHYYMM.

Анализу подлежат координаты остальных наблюдений, оказавшихся на суше. При этом в этих записях либо исправляются ошибочные октант\широта\долгота, либо такая запись отделяется от основного массива (файла SHYYMM) в виде отдельного файла и не поступает на последующее переформатирование для пополнения архивов долговременного хранения «МОРМЕТ» и «МОРМЕТ-2006».

Ошибки в координатах файла SHYYMM исправляются также вручную с помощью текстового редактора.

4. Проверка временной последовательности координат

Следующий этап контроля и (по возможности) исправления координат – это проверка временной последовательности координат. Это реализация метода контроля координат наблюдений, рекомендованного Комиссией по морской метеорологии Всемирной метеорологической организации (ВМО) [4].

Ошибкой считается:

- изменение по широте больше 0,7 градуса в час;
- изменение по долготе больше 0,7 градуса в час при широте от 0 до 39,9;
- изменение по долготе больше 1 градуса в час при широте от 40 до 49,9;

- изменение по долготе больше 1,4 градуса в час при широте от 50 до 59,9;
- изменение по долготе больше 2 градусов в час при широте от 60 до 69,9;
- изменение по долготе больше 2,7 градусов в час при широте от 70 до 79,9.

Для реализации данного алгоритма разработана программа.

В ходе работы данной программы последовательно пропускаются все наборы файла SHYYMM, который представляет совокупность наборов позывной-временной ряд, а предполагаемые ошибки выводятся в специальный файл ошибок.

Затем происходит анализ и исправление значений октанта, широты и долготы наблюдений. Следует учесть, что во многих случаях ошибочной является не эта отмеченная запись, а предыдущая (либо даже несколько предыдущих), например: судно перешло через экватор (либо 180 меридиан), а штурман в течение одного либо даже нескольких сроков проставляет в телеграмме прежнее значение квадранта. Ошибки в координатах файла SHYYMM исправляются также вручную с помощью текстового редактора.

В том случае, если не представляется возможным исправить значение октанта, либо широты, либо долготы наблюдения, такая запись также отделяется от файла SHYYMM и не включается в архивы «МОРМЕТ» и «МОРМЕТ-2006».

Рассмотрим один из таких случаев. Получено 6 последовательных телеграмм с одним и тем же позывным, при этом источник телеграмм (судно) находится от срока к сроку на расстоянии в несколько десятков градусов (тысячи километров). Где на самом деле находилось судно, не известно. Поэтому приходится отделять все 6 телеграмм.

Второй характерный пример. По координатам, указанным в телеграммах, судно якобы стоит на одном месте много сроков подряд. При этом все метеоэлементы во всех этих сроках абсолютно одинаковы, т. е. записи абсолютно тождественны. После последней такой одинаковой записи в следующей записи координаты резко изменяются, при этом возникает огромная разность по

широте либо долготе. В этом случае все тождественные записи, кроме первой, признаются ошибочными и отделяются из файла SHYYMM.

5. Удаление ошибочных записей

В ходе работ с данными файлов SHYYMM, обнаружения и исправления ошибок в координатах были обнаружены следующие нестандартные ситуации.

Первая. Позывные AUXE и AUyb (север Индийского океана) регулярно посылают в эфир некий набор телеграмм, которые абсолютно тождественны на протяжении многих месяцев. Такие записи из файлов SHYYMM отделяются ежемесячно в отдельные файлы.

Вторая. Довольно часто встречается такая ошибка, как две записи такого срока – 1 число в 0 часов, причём либо в разных местах, либо почти на одном месте, но с сильно различающимися значениями температуры воздуха и давления. Лишняя запись – это срок 1 число в 0 часов, но следующего месяца, особенно если координаты лишней записи и метеозаписи соответствуют записям конца текущего месяца.

Такие лишние записи отделяются от файла SHYYMM и рассматриваются далее при поступлении данных судовых телеграмм следующего месяца. При этом в данных следующего месяца либо уже есть такая телеграмма (и она абсолютно тождественна), либо нет, тогда старая запись добавляется с исправлением номера месяца.

Чтобы обнаружить такие ситуации, необходимо отделить из файла KEY_SHYYMM сроки 1 число в 0 часов и визуально проверить полученный новый файл KEY_SHYYMM_0100 на то, есть ли у каждого позывного две записи такого срока.

Заключение

Результаты первоначального контроля и исправления позывных и координат судовых метеорологических наблюдений, полученных по ГСТ за 2017 год, приведены в таблице.

Т а б л и ц а

Число исправленных значений судовых метеорологических наблюдений, полученных по ГСТ за 2017 год

Имя файла	Количество исправленных неверных позывных	Количество исправленных координат (записи попали на сушу)	Количество исправленных координат после проверки временной последовательности координат
SH1701	100	77	2 095
SH1702	71	320	491
SH1703	72	289	536
SH1704	70	70	544
SH1705	47	293	548
SH1706	40	220	467
SH1707	52	422	517
SH1708	26	346	468
SH1709	42	314	500
SH1710	37	206	490
SH1711	35	350	521
SH1712	9	236	473

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. «Судовые метеорологические наблюдения “МОРМЕТ”»: Описание архива. Обнинск: ФБГУ «ВНИИГМИ-МЦД», 1988. 27 с. Инв. № 207.
2. «Судовая метеорология “МОРМЕТ-2006”»: Описание архива. Обнинск: ФБГУ «ВНИИГМИ-МЦД», 2006. 32 с. Инв. № 91.
3. *Технология* накопления и ведения информационных ресурсов для регулярного пополнения архива «Судовая метеорология “МОРМЕТ-2006”». Общее описание технологии, версия 1.0.0 от 07.12.2007. Обнинск: ФБГУ «ВНИИГМИ-МЦД», 2007. 51 с.
4. *Приложение* к рекомендации 7 (КММ-Х). Минимальные стандарты контроля качества // Сокращенный окончательный отчет Десятой сессии ВМО. Комиссия по морской метеорологии. Париж, 8–17 февраля 1989 г. Женева: ВМО, 1989. № 716. С. 108–113.

Сборник научных трудов

Труды ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД». Выпуск 183

Подписано к печати 23.11.2018 г. Формат 60×84/16.

Печать офсетная. Печ. л. 11,85. Тираж 300 экз. Заказ № 27.

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

УДК 551.576.1:551.58

Оценки параметров вертикальной макроструктуры облачных слоёв по данным радиозондирования атмосферы на аэрологических станциях ГСНК территории Российской Федерации за 1964–2017 гг. Черных И.В., Алдухов О.А. Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2018. Вып. 183. С. 5–19.

Знания о вертикальной макроструктуре облачности по данным наблюдений важны для оценок радиационной энергетики атмосферы, условий распространения электромагнитных волн, обеспечения работы авиации. Статья включает оценки параметров вертикальной макроструктуры облачных слоёв (повторяемости, числа слоёв, нижней и верхней границы, толщины) с количеством облачности 0–100 % поверхности небосвода в разных атмосферных слоях, полученные с использованием радиозондовых данных за период наблюдений 1964–2017 гг. Определение границ и количества облачности от поверхности до высоты 10 км было выполнено с использованием СЕ-метода по профилям температуры и влажности данных радиозондовых наблюдений. Расчёты выполнены для аэрологических станций Глобальной системы наблюдений за климатом, расположенных на территории Российской Федерации.

Ключевые слова: облачные слои, вертикальная макроструктура, долгопериодные оценки, внутригодовые изменения, атмосфера, радиозондовые наблюдения, территория Российской Федерации.

Ил. 2. Табл. 5. Библиогр. 22.

УДК 551.583.16(470+571)

Оценки экстремальности температурного режима и режима осадков для территории РФ и её регионов. Коршунова Н.Н., Булыгина О.Н., Разуваев В.Н., Давлетшин С.Г. Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2018. Вып. 183. С. 20–30.

Исследуются региональные особенности изменения на территории России индексов климатических экстремумов, в качестве которых используется число дней за сезон, когда метеорологический параметр выше или ниже некоторого предельного значения. Расчёты выполнены для максимальной и минимальной температуры воздуха, атмосферных осадков по данным 518 станций России за период 1971–2016 гг. Анализ проводился по данным в точке и по рядам средних для 18 квазиоднородных климатических регионов, выбранных на основании классификации Алисова. Показано, что на фоне глобального потепления на территории России имеются районы, где уменьшается число дней с аномально высокими температурами, увеличивается число дней с аномально низкими температурами. Анализируется также изменение на территории России числа дней с оттепелями за последние десятилетия.

Ключевые слова: температура воздуха, осадки, изменчивость климатических параметров, экстремальность, индексы климатических экстремумов, квазиоднородные климатические регионы.

Ил. 9. Библиогр. 12.

УДК 551.465.7

О влиянии океана на циклоническую активность в Северной Атлантике.
Вязилова Н. А. Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2018. Вып. 183. С. 31–41.

Представлены результаты исследования взаимодействия океана и атмосферной циркуляции во внетропических широтах Северной Атлантики в годы развития северо-атлантического и восточно-атлантического колебаний на основе анализа количества циклонов и потоков тепла от поверхности океана. Показаны особенности пространственного распределения исследуемых параметров и их взаимосвязь в условиях сохранения и смены фаз колебаний в зимний сезон.

Ключевые слова: циклоническая активность, потоки тепла от поверхности океана, колебание климатической системы.

Ил. 3. Библиогр. 8.

УДК 551.515 (470+571)

Основные тенденции изменения частоты появления опасных гидрометеорологических явлений на территории Российской Федерации. Шамин С. И., Санина А. Т. Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2018. Вып. 183. С. 42–50.

На основе созданной во ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД» базы сведений об опасных и неблагоприятных гидрометеорологических явлениях погоды, нанёсших ущерб экономике и населению Российской Федерации, рассмотрены тенденции изменения частоты появления опасных и неблагоприятных гидрометеорологических явлений.

Ключевые слова: опасные гидрометеорологические явления.

Ил. 4. Табл. 1. Библиогр. 4.

УДК 551.583

Климатические изменения в термическом режиме прибрежных районов арктических морей в последние десятилетия. Воронцов А.А. Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2018. Вып. 183. С. 51–58.

В статье рассмотрены изменения температур воздуха и воды на основании выполненных расчётов на побережье арктических морей за последние десятилетия. Приведены статистические характеристики термического режима исследуемого региона за период 1977–2016 гг. Подтверждён положительный тренд температур воздуха и воды по данным выбранных гидрометстанций.

Ключевые слова: температура воздуха, температура воды, гидрометстанция, арктическое побережье, термический режим, тренд.

Ил. 2. Табл. 3. Библиогр. 9.

УДК 551.587

Демонстрационный пакет справочных аэроклиматических характеристик на сайте ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД». Козлова Л.Ф., Лавров А.С., Руденкова Т.В., Тимофеев А.А., Хохлова А.В. Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2018. Вып. 183. С. 59–73.

Аэроклиматическая продукция в виде статистических характеристик измеряемых метеопараметров и расчётных величин пользуется постоянным спросом. В статье приведено описание основных справочных аэроклиматических характеристик по свободной атмосфере и пограничному слою для трёх аэрологических станций (Москва, Мурманск и Барнаул) за период 2008–2017 гг. Эти характеристики входят в демонстрационный аэроклиматический пакет, размещённый на сайте ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД». Аналогичные расчёты могут быть выполнены за необходимый период для любой станции, имеющейся в архивах.

Ключевые слова: аэроклиматология, справочные характеристики, метеозлементы, статистики, свободная атмосфера, пограничный слой.

Ил. 8. Табл. 2. Библиогр. 12.

УДК 551.583

К вопросу оценки статистической однородности климатологических данных. Воронцов А.А., Степаненко С.Р. Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2018. Вып. 183. С. 74–80.

В климатологии обычно используются данные, осреднённые за месяц, декаду или пентаду. В статье изложен новый подход обнаружения грубых ошибок в случайной совокупности, в котором количество ошибок первого и второго рода может быть равно нулю. Пространственную зависимость среднепентадных (или среднемесячных) данных можно исключить с помощью регрессии каждого поля на среднее многолетнее поле заданного месяца. Приведён пример контроля среднепентадных данных температуры моря в Крыму за период 1977–2013 гг. Показано, что количество ошибок первого рода равно нулю. Изложенный подход можно использовать для автоматического выявления ошибок при создании и пополнении Государственного фонда данных.

Ключевые слова: климатологические данные, температура воздуха, температура воды, однородность, среднепентадные значения, синхронные и асинхронные колебания.

Ил. 1. Табл. 1. Библиогр. 4.

УДК 551.501:681.3.016

Специализированный массив данных среднемесячного давления воздуха на уровне моря для климатических исследований. Швець Н.В., Разуваев В.Н., Трофименко Л.Т. Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2018. Вып. 183. С. 81–89.

В продолжение работ, реализуемых в Росгидромете в соответствии с Климатической доктриной Российской Федерации, в целях дальнейшего информационного обеспечения климатических исследований представлен специализированный массив данных среднемесячного давления на уровне моря по станциям Российской Федерации. Дается описание содержания, структуры записи размещённых на Web-сайте ВНИИГМИ-МЦД специализированного массива данных и каталога станций с информацией, позволяющей исключить неоднородность в рядах данных (географические координаты, перенос площадки, изменение высоты и т.д.).

Ключевые слова: климат, специализированная база данных, информационное обеспечение, среднемесячное давление на уровне моря.

Табл. 3. Библиогр. 11.

УДК 551.583:[551.501.724+551.501:771]+551.508.822 (985)

Долгопериодные изменения температурно-влажностного режима в нижней тропосфере над прибрежной зоной Арктики РФ по данным радиозондирования. Алдухов О.А., Черных И.В. Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2018. Вып. 183. С. 90–104.

Линейные тренды были вычислены для аномалий средних значений температуры, абсолютной и относительной влажности воздуха в нижнем 0–2 км слое тропосферы над российскими арктическими прибрежными станциями и их среднеквадратических отклонений. Расчёты проведены за период наблюдений 1964–2016 гг. на основе данных аэрологических зондирований. Метод сплайновой интерполяции на базе кубического сплайна Акимы был использован при вычислении вертикальных профилей температуры и влажности воздуха. Для оценки трендов использовался метод наименьших квадратов. Показано, что пространственно-временное распределение трендов в слое 0–2 км неоднородно. Температура и абсолютная влажность воздуха, их среднеквадратические отклонения в нижнем слое тропосферы над российскими арктическими прибрежными станциями в основном изменяются на высотах 0–1,2 км над уровнем земли. Относительная влажность воздуха, её среднеквадратические отклонения в основном изменяются на высотах 1,3–2,0 км. Значимость трендов в основном более 95 %.

Ключевые слова: Арктика РФ, прибрежные станции, изменение климата, нижний слой тропосферы, радиозондовые наблюдения, температура, влажность воздуха.

Ил. 5. Табл. 3. Библиогр. 17.

УДК [556.535.2+551.577.6+632.123.1]

Обзор опасных гидрологических явлений Краснодарского края. Гниломедов Е.В. Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2018. Вып. 183. С. 105–134.

В статье рассмотрены опасные гидрологические явления Краснодарского края. Проведено районирование территории края по числу наводнений с учётом их происхождения. Рассчитаны и графически представлены вероятности возникновения опасных гидрологических явлений на конкретных участках речной сети. Охарактеризованы участки селевой и лавинной опасности.

Ключевые слова: опасное гидрологическое явление, наводнение, половодье, паводок, затор, зажор, маловодье, вероятностная оценка, обеспеченность, повторяемость, уровень воды, сель, лавина, Краснодарский край.

Ил. 11. Табл. 1. Библиогр. 9.

УДК 551.510.522

Климатические характеристики приподнятых температурных инверсий по данным аэрологических измерений на станциях Долгопрудная и Мурманск. Козлова Л.Ф., Хохлова А.В. Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2018. Вып. 183. С. 135–143.

Выполнен анализ повторяемости, мощности и интенсивности приподнятых температурных инверсий по данным радиозондовых измерений на двух российских станциях (Мурманск и Долгопрудная). Характеристики инверсий определены за 2008–2017 гг. Проведено сравнение с аналогичными справочными характеристиками за период 1959–1968 гг. Показано, что в целом характер годового хода повторяемости на станции Долгопрудная практически повторяет годовой ход по более ранним наблюдениям. На станции Мурманск наблюдается заметное увеличение повторяемости высотных инверсий в ночные часы. На станциях Мурманск и Долгопрудная наблюдается заметное уменьшение мощности как дневных, так и ночных инверсий по сравнению с более ранними данными.

Ключевые слова: атмосфера, климат, температурные инверсии, радиозондовые наблюдения.

Ил. 6. Табл. 4. Библиогр. 4.

УДК [551.583:551.510.52] + [551.557:551.508.822](985)

Тренды скорости ветра и её составляющих в пограничном слое атмосферы над Арктическим регионом России по данным радиозондирования атмосферы. Алдухов О.А., Черных И.В. Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2018. Вып. 183. С. 144–163.

Приведены результаты анализа трендов статистических характеристик для скорости ветра, её зональной и меридиональной составляющих в пограничном слое атмосферы над Арктическим регионом России. Расчёты выполнены по данным радиозондовых измерений за период наблюдений 1964–2016 гг. Исходные данные прошли процедуру комплексного контроля качества и процедуру дополнительного контроля, разработанного специально для пограничного слоя атмосферы. Для расчётов вертикальных профилей составляющих ветра в пограничном слое атмосферы использован метод сплайновой интерполяции на базе кубического сплайна Акимы, для расчётов трендов – классический метод наименьших квадратов. Показано, что распределение трендов неоднородно в пространстве и во времени. Скорость ветра, среднеквадратические отклонения скорости ветра, её зональной и меридиональной составляющих в пограничном слое атмосферы над Арктическим регионом России главным образом возрастают на высотах 0,4–0,8 км над уровнем земли. Значимость трендов в основном более 95 %.

Ключевые слова: Арктический регион России, изменение климата, пограничный слой атмосферы, результаты радиозондовых наблюдений, скорость ветра, зональная и меридиональная составляющие скорости ветра.

Ил. 6. Табл. 4. Библиогр. 18.

УДК 551.501:004

Система управления гидрометеорологической информацией и получения климатической продукции CliWare 2.1 – область применения. Беспрозванных А.В., Сенова Л.Н., Ульянич Н.Л., Шерстюкова Р.А. Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2018. Вып. 183. С. 164–181.

В статье описывается комплекс программного обеспечения CliWare 2.1 для автоматизированной обработки, отображения, хранения и передачи гидрометеорологической информации, а также для получения климатической продукции. Возможности комплекса: обслуживание потребителей оперативной, исторической и климатической информацией в различных формах представления, таких как таблицы, карты, графики. Комплекс может использоваться как в локальных, так и в глобальных сетях.

Ключевые слова: оперативные данные, исторические данные, пользовательские задачи, получение климатической продукции.

Ил. 9. Библиогр. 5.

УДК 551.46.06

Первоначальный контроль и исправление данных судовых метеорологических наблюдений, поступающих с каналов связи, для формирования архивов долговременного хранения «МОРМЕТ» и «МОРМЕТ-2006». Кракановская Е.М., Маринченко Е.Б., Шевченко А.И. Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2018. Вып. 183. С. 182–189.

Приведено описание методики и алгоритмов первоначального контроля и исправления позывных и координат судовых метеорологических наблюдений, поступающих в ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД» в виде телеграмм по каналам связи.

Ключевые слова: судовые метеорологические наблюдения, контроль координат на принадлежность морской территории, контроль временной последовательности координат наблюдений.

Табл. 1. Библиогр. 4.

UDC 551.576.1:551.58

Estimations for parameters of vertical macrostructure of clouds layers from atmospheric radiosounding data over aerological stations of the GOSC of the Russian Federation territory for 1964–2017. Chernykh I.V., Aldukhov O.A. Proceedings of RIHMI-WDC. 2018. N 183. P. 5–19.

Knowledge about a vertical macrostructure of cloudiness from observation data are important to estimate radiation energy of the atmosphere, conditions of electromagnetic waves propagation and aviation activities. The paper includes the estimations for parameters of cloud layers vertical macrostructure (frequency, number of cloud layers, cloud base, cloud top and cloud thickness) with cloud amount of 0–100 % of the sky in different atmospheric layers by using the upper air data for the observation period 1964–2017. The boundaries and amount of cloudiness from the surface to the 10-km height were determined by using CE-method on the basis of temperature and humidity profiles obtained from upper air data. Calculations were made for Russian aerological stations of the Global Climate Observing System.

Keywords: cloud layers, vertical macrostructure, long-term estimations, inter-annual variations, atmosphere, upper air data, territory of the Russian Federation.

Fig. 2. Tab. 5. Ref. 22.

UDC 551.583.16(470+571)

Evaluating extremeness of temperature and precipitation regimes for the territory of the Russian Federation and its regions. Korshunova N.N., Bulygina O.N., Razuvaev V.N., Davletshin S.G. Proceedings of RIHMI-WDC. 2018. N 183. P. 20–30.

Regional peculiarities of the change in climatic extreme indices over the Russian territory are studied. The number of days in a season, when a meteorological parameter is higher or lower than a terminal value, is used for these indices. Calculations are made for maximum and minimum air temperatures and atmospheric precipitation based on data from 518 Russian stations for the period 1971–2016. The analysis was conducted from point data and from series of averages for 18 quasihomogeneous climatic regions selected in accordance with Alisov's classification. It is shown that against the background of global warming, there are regions on the Russian territory, where the number of days with abnormally high temperatures decreases and the number of days with abnormally low temperatures increases. The change in the number of thaw days on the Russian territory in the last decades is also analyzed.

Keywords: air temperature, precipitation, variability of climatic parameters, extremeness, climatic extreme indices, quasihomogeneous climatic regions.

Fig. 9. Ref. 12.

UDC 551.465.7

On the influence of the ocean on the cyclonic activity in the North Atlantic.
Vyazilova N. A. Proceedings of RIHMI-WDC. 2018. N 183. P. 31–41.

The paper presents the study on the relationship between the ocean and midlatitude cyclonic activity in the North Atlantic during winter seasons with intensive North Atlantic Oscillation (NAO) and East Atlantic Oscillation (EA). The study is based on the analysis of the cyclone frequency and space-time variability of the ocean surface heat flux. Special features of the spatial distribution of the parameters under study and their interrelation in the context of retention and change of oscillation phases in winter are shown.

Keywords: cyclonic activity, cyclone frequency, ocean surface heat flux, North Atlantic Oscillation, East Atlantic Oscillation.

Fig. 3. Ref. 8.

UDC 551.515(470+571)

Major trends in frequency of hydrometeorological hazards. Shamin S. I.,
Sanina A. T. Proceedings of RIHMI-WDC. 2018. N 183. P. 42–50.

Trends in frequency of hazardous and unfavourable hydrometeorological events are considered using RIHMI-WDC's database of hazardous and unfavourable hydrometeorological events that did damage to the economy and population of the Russian Federation.

Keywords: hydrometeorological hazards.

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

UDC 551.583

Climatic changes in the thermal regime of the coastal regions of the Arctic seas in recent decades. Vorontsov A.A. Proceedings of RIHMI-WDC. 2018. N 183. P. 51–58.

On the basis of calculations, the changes in air and water temperatures on the coasts of the Arctic seas have been considered over the past decades. The statistics of the thermal regime of the investigated area for the period 1977–2016 are given. A positive trend of air and water temperatures was confirmed according to selected hydrometeorological stations.

Keywords: air temperature, water temperature, hydrometeorological station, Arctic coast, thermal regime, trend.

Fig. 1. Tab. 3. Ref. 9.

UDC 551.587

The demo package of reference aeroclimatic characteristics on the RIHMI-WDC website. Kozlova L.F., Lavrov A.S., Rudenkova T.V., Timofeev A.A., Khokhlova A.V. Proceedings of RIHMI-WDC. 2018. N 183. P. 59–73.

Aeroclimatic products in the form of statistical characteristics of measured meteorological parameters and calculated values are in constant demand. The article describes the main reference aeroclimatic characteristics of the free atmosphere and the boundary layer for three aerological stations (Moscow, Murmansk and Barnaul) for the period 2008–2017. These characteristics are included in the demonstration aeroclimatic package posted on the website of RIHMI-WDC. Similar calculations can be performed for the required period for any station in the archives.

Keywords: aeroclimatology, reference characteristics, meteorological elements, statistics, free atmosphere, boundary layer.

Fig. 8. Tab. 2. Ref. 12.

UDC 551.583**To the question of assessing the statistical homogeneity of climatological data.**

Vorontsov A.A., Stepanenko S.R. Proceedings of RIHMI-WDC. 2018. N 183. P. 74–80.

Climatology typically uses data averaged over a month, decade, or pentad. The article presents a new approach for detecting gross errors in a random population, in which the number of errors of the first and second kind can be zero. The spatial dependence of average pentad (or monthly average) data can be eliminated by regressing each field to the average multi-year field of a given month. The control of average pentad data of sea temperature in the Crimea for the period 1977–2013 is given as an example. It is shown that the number of errors of the first kind is zero. The described approach can be used to automatically detect errors when creating archives data.

Keywords: climatological data, air temperature, sea water temperature, homogeneity, average pentad values, synchronous and asynchronous oscillations.

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

UDC 551.501:681.3.016

Specialized data set of mean monthly air pressure at sea level for climate research. Shvets N.V., Razuvaev V.N., Trofimenko L.T. Proceedings of RIHMI-WDC. 2018. N 183. P. 81–89.

Specialized data set of mean monthly air pressure at sea level from Russian stations is presented in accordance with the Climate Doctrine of the Russian Federation. The data set is to provide information support of climate research. The content and record structure of specialized data set and catalogue of stations with information due to which data series inhomogeneity is excluded (geographical coordinates, shift of meteorological site, change in height, etc.) are described. The data set and the catalogue are available from the RIHMI-WDC Web-site.

Keywords: climate, specialized database, information support, mean monthly air pressure at sea level.

Tab. 3. Ref. 11.

UDC 551.583:[551.501.724+551.501:771]+551.508.822(985)

Longtime changes of temperature-humidity regime in the low troposphere over the coast region of the Russian Federation Arctic from the upper air data.

Aldukhov O. A., Chernykh I. V. Proceedings of RIHMI-WDC. 2018. N 183. P. 90–104.

Linear trends were calculated for anomalies of mean values of temperature, absolute and relative air humidity in the low 0–2-km layer of the troposphere over Russian arctic coastal stations and for standard deviations of these values. The calculations were made for the observation period 1964–2016 from upper air data. The Akima cubic spline interpolation method was used in calculating the vertical profiles of temperature and air humidity. The least-squares method was used to estimate trends. It is shown that the spatiotemporal distribution of trends in the 0–2-km layer is not uniform. Temperature and absolute air humidity, as well as their standard deviations in the low troposphere over the Russian arctic coastal stations mainly change at the 0–1.2-km height above the surface. Relative air humidity and its standard deviations mainly change at the 1.3–2.0-km height. Significance of the trends is mainly more than 95 %.

Keywords: Russian Federation Arctic, coastal stations, climate change, low troposphere, upper air data, temperature, air humidity.

Fig. 5. Tab. 3. Ref. 17.

UDC [556.535.2+551.577.6+632.123.1]

Review of hydrological hazards in the Krasnodar Region. Gnilyomedov E. V. Proceedings of RIHMI-WDC. 2018. N 183. P. 105–134.

The article deals with hydrological hazards in the Krasnodar region. Regionalization of the territory was carried out according to the number of floods taking into account their origin. Probabilities of occurrence of hydrological hazards at specific sections of the river network are calculated and graphically presented. Areas of mudflow and avalanche danger are characterized.

Keywords: hydrological hazards, flood, congestion, low water period, probabilistic assessments, repeatability, water level, mudflow, avalanche, Krasnodar region.

Fig. 11. Tab. 1. Ref. 9.

UDC 551.510.522

Climatic characteristics of elevated temperature inversions from upper air data at Dolgoprudnaya and Murmansk stations. Kozlova L.F., Khokhlova A.V. Proceedings of RIHMI-WDC. 2018. N 183. P. 135–143.

The analysis of frequency, layer thickness and intensity of elevated temperature inversions from upper air data at two Russian stations, Murmansk and Dolgoprudnaya, is done. Climatic characteristics of inversions are calculated for the time period 2008–2017. The comparison is done with the same characteristics given in reference books for the time period 1959–1968. It is shown that the annual variation of frequency at Dolgoprudnaya station is generally similar to the earlier one. Perceptible increase in nocturnal inversion frequencies is observed at Murmansk station. At stations Murmansk and Dolgoprudnaya, there is a noticeable decrease in the power of both day and night inversions compared to earlier data.

Keywords: atmosphere, climate, temperature inversions, radiosonde observations.

Fig. 6. Tab. 4. Ref. 4.

UDC [551.583:551.510.52]+[551.557:551.508.822](985)

Trends of wind speed and its components in the boundary layer of the atmosphere over the Arctic Region of Russia from upper air data. Aldukhov O.A., Chernykh I.V. Proceedings of RIHMI-WDC. 2018. N 183. P. 144–163.

Results are presented of the analysis of trends for statistical characteristics of wind speed, its zonal and meridional components in the boundary layer of the atmosphere over the Arctic region of Russia. The calculations are based on the upper air data for the observation period 1964–2016. The data were subject to complex quality control procedure. Another quality control procedure was developed specifically for the boundary layer of the atmosphere. The Akima cubic spline interpolation method was used to calculate vertical profiles of the wind speed components in the boundary layer of the atmosphere. The trends are estimated by using classical method, least-squares method. It is shown that the spatiotemporal distribution of the trends is not uniform. Wind speed, standard deviations of wind speed and its zonal and meridional components in the boundary layer of the atmosphere over the Arctic region of Russia mainly increase at the heights 400–800 m above the surface. Significance of the trends is mainly more than 95 %.

Keywords: Arctic region of Russia, climate change, boundary layer of the atmosphere, upper air data, wind speed, zonal and meridional components of wind speed.

Fig. 6. Tab. 4. Ref. 18.

UDC 551.501:004

CliWare 2.1 system for hydrometeorological information management and climatic products receiving: scope of application. Besprozvannykh A.W., Senova L.N., Ulyanich N.L., Sherstyukova R.A. Proceedings of RIHMI-WDC. 2018. N 183. P. 164–181.

The article describes the CliWare 2.1 software for automated hydrometeorological data processing, display, storage and transmission and for receiving climatic products. The software makes it possible to provide users with operational, historical and climatic information in different forms of representation, such as tables, maps, diagrams. The software can be used both in local and in global networks.

Keywords: operational data, historical data, user tasks, receiving of climatic products.

Fig. 9. Ref. 5.

UDC 551.46.06

Original control and correction of ship meteorological observations arriving via communication channels for creation of MORMET and MORMET-2006 data archives. Krakanovskaia E.M., Marinchenko E.B., Shevchenko A.I. Proceedings of RIHMI-WDC. 2018. N 183. P. 182–189.

A procedure and algorithms of original control and correction of call signals and coordinates of ship meteorological observations are described. These observations arrive at RIHMI-WDC in the form of telegrams via communication channels.

Keywords: ship meteorological observations, check of coordinates for belonging to marine territory, check of time sequence of observation coordinates.

Tab. 1. Ref. 4.