

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИИ И МОНИТОРИНГУ
ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

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



*Под редакцией
доктора 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: wccb@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, к.г.н. О.Н. Булыгина, 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 содержатся статьи, знакомящие читателей с результатами выполненных в ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД» исследований в области гидрометеорологии, климатологии, развития и использования методов статистического анализа полей и информационных технологий. Рассматриваются направления дальнейшего развития средств АИСОРИ, в частности средств взаимной конвертации ЯОД-файлов в форматы реляционных баз и наоборот. Описан новый массив аэрологических данных, получаемый на основе данных ГСТ в кодовых формах BUFR. Имеются статьи, посвященные методам анализа многомерных метеоданных. Широко представлена в сборнике климатическая тематика, ей посвящена большая часть статей. В рамках климатической тематики рассмотрены возможные механизмы колебаний климата, результаты климатологического анализа разных компонент климатической системы, вопросы климатического обслуживания потребителей путем создания климатических справочников. Сборник будет полезен широкому кругу специалистов в охватываемых областях, а также различным категориям заинтересованных читателей.

The Collection contains the articles introducing readers to the outcomes of research in the field of hydrometeorology, climatology, methods of statistical analysis and development of information technologies. Further development of AISORI tools are considered, in particular development of tools to convert DDL-files into formats of relational data bases and vice versa. A new upper air data set based on GTS data in BUFR code forms is described. Some articles consider methods of analysis of mutlidimension meteorological data. Most of the articles address climate issues. Under climate issues the following is discussed: possible mechanisms of climate fluctuation, climatological analyses of various components of the climate system, climate services provided to users on the basis of climate reference books. The collection will be helpful for a wide range of professionals in the fields covered and for various categories of interested readers.

СОДЕРЖАНИЕ

<i>Черных И. В., Алдухов О. А.</i> Оценки параметров вертикальной макроструктуры сплошной облачности в Арктическом регионе РФ по долгопериодным данным радиозондирования	5
<i>Колкер А. Б., Гочаков А. В., Воронина Л. А., Брусенко Е. А.</i> Создание электронных климатических справочников с использованием информационных технологий	18
<i>Шерстюков Б. Г.</i> Физико-статистическое моделирование колебаний климата и опыт прогноза на два десятилетия колебаний температуры воздуха Северного полушария	31
<i>Шерстюков Б. Г.</i> О возможном резонансном механизме колебаний климата	52
<i>Клещенко Л. К.</i> Некоторые результаты статистического анализа данных о продолжительности солнечного сияния на территории России	71
<i>Семенов В. А.</i> Территориальные и временные изменения частоты опасных гидрологических явлений на реках России при современном климате	88
<i>Руденкова Т. В.</i> Структура и содержание нового массива текущих аэрологических данных, поступающих из сети ГСТ в кодовых формах BUFR	102
<i>Козлова Л. Ф., Хохлова А. В.</i> Климатические характеристики приземных температурных инверсий по данным аэрологических измерений на станциях Мурманск и Смоленск	120
<i>Кофтан Ю. Р., Перетяцько Л. О.</i> К построению технологии взаимной конвертации баз данных различной структуры для пополнения и верификации данных ЕГФД, а также для обслуживания потребителей	126
<i>Воронцов А. А., Степаненко С. Р.</i> К вопросу определения климатической обеспеченности	144
<i>Воронцов А. А., Степаненко С. Р.</i> Физико-статистический метод разложения гидрометеорологических полей и сравнение его с методом естественных ортогональных функций	150

CONTENTS

<i>Chernykh I. V., Aldukhov O. A.</i> The estimations of Parameters of Overcast Clouds Vertical Macrostructure Over the Arctic Region of Russia from Long-term Atmospheric Radiosounding Data	5
<i>Kolker A. B., Gochakov A. V., Voronina L. A., Brusenko E. A.</i> Development of electronic climate data sheets using information technologies	18
<i>Sherstyukov B. G.</i> Physical-statistical modeling of climate variations and the experience in forecasting of air temperature variations in the Northern Hemisphere for two decades	31
<i>Sherstyukov B. G.</i> On the possible resonance mechanism of climate variability	52
<i>Kleshchenko L. K.</i> Some results of the statistical analysis of the data on the duration of sunshine in the territory of Russia	71
<i>Semyonov V. A.</i> Territorial and temporal changes in the frequency of hydrological hazards on rivers of Russia under the current climate	88
<i>Rudenkova T. V.</i> The content and structure of the new aerological archive of current upper-air data received from GTS in the BUFR code ..	102
<i>Kozlova L. F., Khokhlova A. V.</i> Climatic characteristics of surface temperature inversions from upper air data from Murmansk and Smolensk stations	120
<i>Koftan Yu. R., Peretyatko L. O.</i> To creation of mutual converting technology for databases of different structure for updating and verification of Unified State Data Fund's data and for user service	126
<i>Vorontsov A. A., Stepanenko S. R.</i> To the definition of frequency of climate characteristics occurrence	144
<i>Vorontsov A. A., Stepanenko S. R.</i> Physico-statistical method of decomposition of hydrometeorological fields and its comparison with the method of empirical orthogonal functions	150

УДК 551.576.1: 551.583.1

ОЦЕНКИ ПАРАМЕТРОВ ВЕРТИКАЛЬНОЙ МАКРОСТРУКТУРЫ СПЛОШНОЙ ОБЛАЧНОСТИ В АРКТИЧЕСКОМ РЕГИОНЕ РФ ПО ДОЛГОПЕРИОДНЫМ ДАННЫМ РАДИОЗОНДИРОВАНИЯ

И. В. Черных¹, О. А. Алдухов²

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

1. Введение

Важной составляющей климатической системы является облачность [1–4]. Она оказывает влияние на видимость на поверхности земли и в атмосфере, а для судоходства и авиации – это вопрос первостепенный [3, 5]. Большой интерес представляют результаты совместного анализа климатических изменений облачности и приземной температуры в связи с современным потеплением в Арктике [2, 6].

Климатические характеристики вертикальной макроструктуры облачности невозможно определить по данным визуальных наземных наблюдений за облаками, данные наземных инструментальных наблюдений и с борта самолета имеют локальный характер [1, 3, 4, 7]. Информация о вертикальной макроструктуре облаков, полученная с помощью аппаратуры, установленной на спутниках, появилась в последние десятилетия [1, 4, 8, 9].

Большой интерес вызывает исследование вертикальной макроструктуры облачности, восстановленной по радиозондовым профилям, для определения ее климатических характеристик, так как данные радиозондовых наблюдений собраны за достаточно длинный период и плотно покрывают территорию земного шара (особенно Северное полушарие) [1–3, 9–14].

В данной работе предметом исследования является вертикальная макроструктура сплошных облачных слоев (СОС) – облачных слоев (ОС), восстановленных по радиозондовым профилям температуры и влажности с помощью SE-метода [1, 10–12], с количеством облачности 80–100 % поверхности небосвода над Арктикой РФ (АРФ) от уровня земли до 10 км, рассмотрен

вопрос о пространственно-временной изменчивости параметров СОС (повторяемости, числа слоев, толщины, высоты нижней и верхней границ), их взаимосвязи с приземной температурой T .

Для определения границ и количества облачности использовался SE-метод определения границ и количества облачности по радиозондовым профилям температуры и влажности. Было проведено сравнение облачности, восстановленной по радиозондовым данным разными методами, с данными о границах, полученными с других наблюдательных платформ, а также сопоставление возможностей определения облачного/безоблачного состояния небосвода разными методами. Результаты, полученные с помощью SE-метода, отражают наличие отдельных ОС и безоблачных прослоек [1, 10, 15], что позволяет объективно оценить их толщину, выявить тонкие ОС. С его помощью детектируются ОС, а также влажные слои, из которых будут формироваться облака в течение ближайших часов (они не фиксируются при наземных наблюдениях в данный момент из-за малой концентрации облачных частиц, но будут детектированы после формирования, обычно радаром) или являющиеся некоторой формой оставшихся облаков после их растекания, они детектируются при самолетном зондировании с помощью прибора для определения изображения облачных частиц. Результаты SE-метода слабо зависят от разрешения профилей, а это важно при проведении исследований на основе долгопериодных радиозондовых данных [1, 10].

2. Данные и методы

Информационной базой для изучения вертикальной макро-структуры параметров СОС служили данные из массива радиозондовых наблюдений CARDS (Comprehensive Aerological Reference Dataset) [13], пополненного текущими наблюдениями из массивов АЭРОСТАБ [16] и АЭРОСТАС [17]. Данные прошли процедуру комплексного контроля качества [18]. Были выбраны аэрологические станции, расположенные в Североевропейском (СЕР: 22113 – Мурманск, 22217 – Кандалакша, 22271 – Шойна, 23205 – Нарьян-Мар), Западно-Сибирском (ЗСР: 23330 – Салехард, 20674 – Остров Диксон, 23078 – Норильск) и Восточно-Сибирском (ВСР: 24125 – Оленек, 21824 – Тикси, 24343 – Жиганск, 24266 – Верхоянск) районах АРФ с максимально полными рядами наблюдений за 1964–2014 гг. Для расчетов были использованы

только зондирования с данными как о температуре, так и влажности от поверхности земли до высоты 10 км.

Для определения границ и количества облачности использовался СЕ-метод определения границ и количества облачности по радиозондовым профилям температуры и влажности. Основная идея СЕ-метода 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, 10–12]. Определение ОС по СЕ-методу проводится в два этапа. На первом – определяются 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 соответствующей второй производной на противоположный в граничных точках h_1 и h_2 . Это означает, что точки h_1 и h_2 являются точками перегиба профилей T и R и точками локальных экстремумов первых производных T' и R' (максимума R' и минимума T' в точке h_1 и, наоборот, минимума R' и максимума T' в точке h_2). Эти условия были найдены в результате сравнения профилей температуры и относительной влажности и их вторых производных с результатами наземных наблюдений за облаками [1, 10–12]. Для получения непрерывных вторых производных по всему профилю используется аппроксимация наблюдаемых значений температуры и влажности кубическими сплайнами с нулевыми граничными условиями для вторых производных [19, 20].

На втором этапе для каждого из выделенных слоев по значениям температуры и дефицита точки росы на уровне максимальной относительной влажности внутри такого слоя по кусочно-линейной аппроксимации диаграммы Арабей–Мошникова [1, 12] определяется количество облачности по градациям 0–20, 20–60, 60–80, 80–100 % поверхности небосвода. За количество облачности в каждом ярусе принимается максимальное количество

облачности в ОС, лежащих внутри соответствующих диапазонов высоты (0–2, 2–6 и 6–10 км).

Расчеты проведены для атмосферных слоев 0–2, 2–6, 6–10, 0–10 км для повторяемости СОС, их числа, суммарной толщины, высоты нижней $H_{НГ}$ и верхней $H_{ВГ}$ границ.

Линейные тренды рассчитаны с использованием метода наименьших квадратов. Коэффициент тренда используется как мера интенсивности климатических изменений за указанный период и характеризует среднюю скорость изменений климатической переменной. Значимость трендов определялась по критерию Стьюдента. Сглаживающие тренды получены после десятикратного сглаживания по трем точкам. Необходимо помнить, что величина трендов зависит от выбора массива данных, их качества [18], периода рядов наблюдений и техники их анализа [2].

3. Результаты

Вертикальная структура СОС

В табл. 1 приведены диапазоны изменений стационарных статистических характеристик параметров СОС над АРФ с учетом сезона и атмосферного слоя за 1964–2014 гг.

В слое 0–10 км суммарная толщина СОС изменяется в пределах 1,3–2,0 км с максимальными значениями 1,5–2,0 км зимой, и минимальными 1,3–1,5 км летом. Ее уменьшение летом можно объяснить понижением верхней границы и повышением нижней. Число слоев зимой также максимально – 3,5–4,7 слоя, а летом – минимально – 3,0–3,8 слоя. Среднеквадратические отклонения для толщины и числа слоев относительно стабильны и не превышают 0,9–1,0 км и 1,7–2,3 слоя. Для СОС верхнего и среднего ярусов их толщина и число слоев зимой больше, чем летом, а для нижнего яруса зимой их толщина меньше, а число слоев больше, чем летом. Во все сезоны максимальные значения суммарной толщины и числа СОС определены для верхнего яруса; минимальное число слоев – для среднего, а минимальная толщина – для нижнего яруса.

В табл. 2 для зимы и лета приведены диапазоны изменений стационарных средних значений числа СОС, их суммарной толщины и толщины одного слоя в слоях атмосферы над районами АРФ. К востоку в слое 0–10 км в верхнем и среднем ярусах

суммарная толщина и число СОС увеличивается в оба сезона, а в нижнем уменьшение толщины сопровождается увеличением их числа зимой и уменьшением – летом. Для всех районов зимой и летом средняя толщина одного СОС в слое 0–10 км изменяется в диапазоне 390–470 м, она увеличивается с высотой: в слоях 0–2, 2–6, 6–10 км она изменяется в интервалах 210–320, 380–490, 460–560 м соответственно.

Таблица 1

Диапазоны изменений средних сезонных стационарных значений числа, NL , сплошных облачных слоев, их суммарной толщины, Th , высоты верхней, $H_{НГ}$, и нижней, $H_{ВГ}$, границ и соответствующих среднеквадратических отклонений σ для различных атмосферных слоев над АРФ за 1964–2014 гг.

Параметр СОС	Зима		Весна		Лето		Осень	
	средние	σ	средние	σ	средние	σ	средние	σ
0–10 км								
Th , км	1,5–2,0	0,9–1,0	1,5–1,7	0,9–1,0	1,3–1,5	0,9–0,9	1,4–1,9	0,9–1,0
$H_{ВГ}$, км	7,7–8,9	1,8–3,0	7,7–8,7	2,0–3,1	7,2–8,5	2,3–3,4	7,6–8,8	2,0–3,1
$H_{НГ}$, км	1,3–2,1	2,1–2,6	1,5–3,3	2,4–2,9	1,6–3,8	2,5–3,1	1,5–2,6	2,3–2,7
NL	3,5–4,7	1,8–2,3	3,2–4,1	1,8–2,3	3,0–3,8	1,7–2,2	3,3–4,4	1,8–2,2
6–10 км								
Th , км	0,9–1,2	0,6–0,7	0,9–1,1	0,6–0,7	0,9–1,0	0,5–0,6	0,9–1,1	0,6–0,7
NL	1,9–2,3	0,9–1,0	1,8–2,2	0,8–1,0	1,7–2,0	0,8–0,9	1,8–2,2	0,8–1,0
2–6 км								
Th , км	0,7–0,8	0,4–0,6	0,7–0,8	0,4–0,6	0,6–0,8	0,4–0,5	0,7–0,8	0,4–0,5
NL	1,6–1,8	0,7–1,1	1,5–1,7	0,7–1,0	1,5–1,7	0,7–1,1	1,5–1,8	0,7–1,0
0–2 км								
Th , км	0,3–0,5	0,2–0,3	0,3–0,5	0,2–0,3	0,4–0,5	0,2–0,3	0,3–0,5	0,2–0,3
NL	1,6–1,9	0,7–0,9	1,6–1,8	0,7–0,9	1,5–1,7	0,7–0,9	1,6–1,8	0,7–0,9

Таблица 2

Диапазоны изменений средних сезонных стационарных значений числа, NL , сплошных облачных слоев, их суммарной толщины, Th , и толщины одного сплошного облачного слоя, Th_1 , в атмосферных слоях 0–10, 0–2, 2–6, 6–10 км над Североевропейским, Западно- и Восточно-Сибирским районами АРФ для зимы и лета за 1964–2014 гг.

Район АРФ	Зима			Лето		
	NL	Th , м	Th_1 , м	NL	Th , м	Th_1 , м
0–10 км						
СЕР	3,5–3,8	1514–1629	400–470	3,0–3,3	1296–1416	390–470

Окончание табл. 2

Район АРФ	Зима			Лето		
	NL	Th , м	Th 1, м	NL	Th , м	Th 1, м
ЗСР	3,8–4,4	1714–1887	430–460	3,1–3,6	1369–1458	400–470
ВСР	4,1–4,7	1788–1988	420–460	3,0–3,6	1338–1461	410–460
6–10 км						
СЕР	1,9–2,0	944–1001	470–520	1,7–1,9	866–896	460–510
ЗСР	2,0–2,1	1048–1147	520–560	1,8–1,9	901–963	500–530
ВСР	2,2–2,3	1108–1170	490–530	1,8–2,0	891–962	460–510
2–6 км						
СЕР	1,6–1,7	720–791	420–490	1,5–1,7	648–700	380–470
ЗСР	1,6–1,7	768–790	450–490	1,5–1,7	664–711	390–470
ВСР	1,7–1,8	760–808	430–480	1,6–1,7	672–730	400–430
0–2 км						
СЕР	1,6–1,8	417–475	240–300	1,6–1,7	410–510	240–320
ЗСР	1,7–1,9	395–410	220–240	1,6–1,7	416–459	250–290
ВСР	1,7–1,8	358–393	210–220	1,5–1,7	415–434	240–280

В табл. 3 показаны диапазоны изменений станционных повторяемостей СОС с учетом сезона, района АРФ и слоя атмосферы. Повторяемость СОС в слое 0–10 км максимальна зимой и минимальна летом, соответствующие интервалы ее изменения составляют 90–97 и 76–89 %. Во все сезоны наиболее часто отмечены СОС верхнего, а редко – среднего ярусов во всех районах, повторяемость СОС в верхней и средней тропосфере слабо возрастает в восточном направлении.

Таблица 3

Диапазоны изменений сезонных станционных значений повторяемости, %, сплошных облачных слоев в атмосферных слоях 0–10, 0–2, 2–6, 6–10 км над Северо-европейским, Западно- и Восточно-Сибирским районами АРФ за 1964–2014 гг.

Район АРФ	Зима	Весна	Лето	Осень
0–10 км				
СЕР	90–93	85–88	82–85	88–91
ЗСР	94–97	87–94	80–90	90–94
ВСР	94–97	84–94	76–89	89–95
6–10 км				
СЕР	69–76	66–69	58–63	65–71
ЗСР	81–86	73–76	61–66	75–81
ВСР	86–90	74–80	62–69	79–84

Окончание табл. 3

Район АРФ	Зима	Весна	Лето	Осень
2–6 км				
СЕР	59–61	51–57	46–53	56–9
ЗСР	63–67	57–59	50–52	60–62
ВСР	65–71	53–61	46–53	60–66
0–2 км				
СЕР	66–71	55–61	51–57	64–69
ЗСР	70–77	58–73	50–70	64–75
ВСР	64–80	43–72	33–65	55–74

***Долгопериодные изменения параметров сплошных
облачных слоев, приземной температуры T
и приземного давления P для осени***

Для анализа долгопериодных изменений T , P и параметров СОС за 1964–2014 гг. осенью были получены соответствующие стационарные временные ряды сезонных аномалий. На рис. 1 и 2 они приведены для станций 22113 ($a-z$), 23330 ($\partial-z$) и 21824 ($u-m$). Прямыми и волнистыми линиями показаны линейные и сглаживающие тренды. Для параметров СОС, T и P видны квазипериодические колебания, например, в 2004–2010 гг. тенденции изменились по сравнению с началом XXI века.

Диапазоны изменения линейных трендов для изучаемых районов АРФ приведены в табл. 4. Ее данные показывают, что осенью за 1964–2014 гг. потепление отмечено вместе с ростом повторяемости и числа СОС, уменьшением суммарной толщины, понижением границ в слое 0–10 км. Различие трендов границ можно объяснить разной скоростью изменения повторяемости СОС в разных ярусах (табл. 4). Сглаживающие тренды показывают согласованность периодов увеличения и уменьшения высоты верхней границы и повторяемости СОС верхнего яруса (рис. 1*a*–1*в* и 2*г*–2*в*), а понижения нижней границы – с периодами роста повторяемости СОС нижнего яруса (рис. 1*г*–1*е* и 2*к*–2*м*). В верхней тропосфере видно уменьшение повторяемости СОС, а в средней и нижней – ее увеличение (табл. 4). В направлении к востоку тренды границ уменьшаются, изменения повторяемости СОС в верхнем и нижнем ярусах ослабевают, а в среднем ярусе – усиливаются. В СЕР и ЗСР преобладает увеличение повторяемости сплошной нижней облачности, а в ВСР – средней.

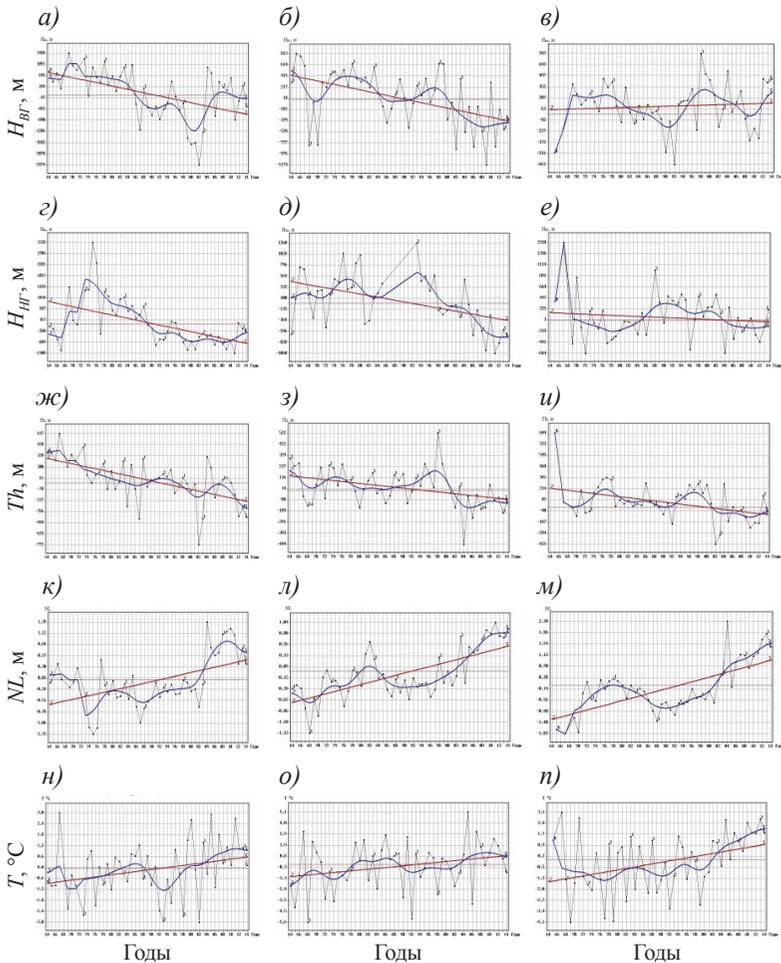


Рис. 1. Черные линии (1) – временные ряды аномалий среднесезонных значений параметров вертикальной макроструктуры СОС в слое 0–10 км и приземной температуры T , °С, для осени:

а)–в) H_{BG} , м, г)–е) $H_{HГ}$, м, ж)–и) суммарная толщина, Th , м, к)–м) число слоев, NL , н)–п) T , °С, полученные на основе данных радиозондирования на станциях 22113 (а, г, ж, к, н), 23330 (б, д, з, л, о), 21824 (в, е, и, м, п) за 1964–2014 гг. Красные линии (2) – линейные тренды, рассчитанные методом наименьших квадратов. Синие линии (3) – сглаживающие тренды, полученные после десятикратного сглаживания временных рядов по трем точкам.

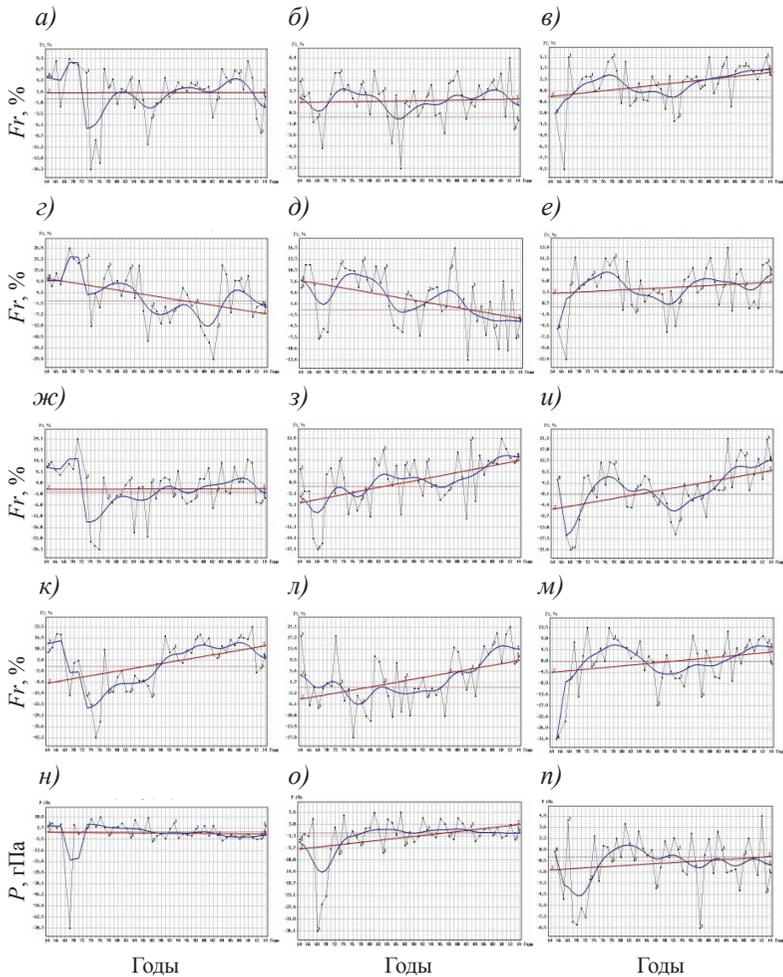


Рис. 2. Черные линии (1) – временные ряды аномалий повторяемости СОС в разных слоях и приземного давления P , гПа, для осени: а)–в) слой 0–10 км, г)–е) 6–10 км, ж)–и) 2–6 км, к)–м) 0–2 км, н)–п) P , гПа, полученные на основе радиозондовых данных для станций 22113 (а, г, ж, к, н), 23330 (б, д, з, л, о), 21824 (в, е, и, м, п) за 1964–2014 гг. Красные линии (2) – линейные тренды, рассчитанные методом наименьших квадратов. Синие линии (3) – сглаживающие тренды, полученные после десятикратного сглаживания временных рядов по трем точкам.

Таблица 4

Диапазоны изменений линейных трендов аномалий суммарной толщины, $H_{\text{нг}}$, сплошных облачных слоев, их верхней, $H_{\text{нг}}$, и нижней, $H_{\text{вг}}$, границ (м/десятилетие), числа NL (п/десятилетие), повторяемости, Fr (%/десятилетие) в атмосферных слоях 0–10, 0–2, 2–6, 6–10 км, приземной температуры, T (°C/десятилетие), и приземного давления, P (гПа/десятилетие), для осени за 1964–2014 гг. для станций в Североевропейском, Западно- и Восточно-Сибирском районах АРФ

Параметр СОС/ метео- элемент	СЕР		ЗСР		ВСР	
	тренд, м/дес.	уровень значим., %	тренд, %/дес.	уровень значим., %	тренд, %/дес.	уровень значим., %
0–10 км						
$H_{\text{нг}}$, м/дес.	-107...-37	96...99	-48...-35	65...99	-85...-61	99
$H_{\text{вг}}$, м/дес.	-298...-167	97...99	-162...-60	79...99	-121...16	39...99
$H_{\text{нг}}$, м/дес.	-411...-264	99	-418...-163	99	-251...-36	57...99
NL, п/дес.	0,21...0,59	99	0,20...0,58	98...99	0,44...0,58	99
Fr , %/дес.	0,01...1,65	1...98	0,09...0,62	29...94	0,07...1,49	10...99
6–10 км						
Fr , %/дес.	-3,6...-1,0	67...99	-2,1...-0,5	29...99	-1,9...0,5	35...97
2–6 км						
Fr , %/дес.	0,1...3,8	4...99	1,1...3,6	51...99	2,0...4,8	92...99
0–2 км						
Fr , %/дес.	4,0...6,3	99	2,7...6,9	97...99	1,6...4,5	91...99
Приземный слой						
T , °C/дес.	0,29...0,49	95...99	0,34...0,82	58...98	-0,21...0,49	56...99
P , гПа/дес.	-0,25...2,57	17...96	0,17...1,79	28...98	0,32...1,24	66...99

Сравнение трендов повторяемости СОС в слое 0–10 км и в каждом ярусе показывает тенденцию к увеличению повторяемости их многослойных систем.

Относительно изменения параметров СОС в XXI веке отметим, что потепление в начале первого десятилетия XXI века зафиксировано вместе с понижением P в СЕР и ЗСР, увеличением повторяемости и числа СОС в слое 0–10 км, уменьшением суммарной толщины, понижением $H_{\text{нг}}$, повышением $H_{\text{вг}}$ в СЕР и ее понижением в ЗСР и ВСР, преобладанием роста повторяемости СОС нижнего яруса над ее ростом в среднем ярусе для СЕР и ЗСР, а для ВСР – наоборот [2].

Для СЕР и ЗСР в 2007–2010 гг. потепление перестало усиливаться, тенденции изменения параметров СОС в основном изменились на противоположные (рис. 1 и 2), поэтому – в слое 0–10 км тренды повторяемости за 1964–2014 гг. либо отсутствуют, либо их значимость менее 99 % (табл. 4).

Осенью изменения T взаимосвязаны с изменениями повторяемости и вертикальной макроструктуры СОС (табл. 4). Коэффициенты корреляции T с их повторяемостью над СЕР в изучаемых слоях составляют 0,2–0,5, над ЗСР и ВСР они не превышают 0,3; с границами – -0,4 во всех районах; с толщиной составляют -0,4...-0,2 для СЕР и ВСР, и достигают -0,7 для ЗСР [2]. Максимальные значения корреляций отмечены для сентября или октября.

4. Выводы

СЕ-метод расширяет возможности определения вертикальных границ ОС по радиозондовым профилям температуры и влажности по сравнению с другими методами наблюдения облаков. С его помощью получены новые данные о вертикальной макроструктуре СОС над АРФ в слое 0–10 км, а именно об их повторяемости, числе, высоте нижней и верхней границ, толщине, их пространственно-временной изменчивости и взаимосвязи с приземной температурой. Показано, что:

- в слое 0–10 км повторяемость, суммарная толщина и число СОС, высота верхней границы максимальны зимой и минимальны летом; уменьшение суммарной толщины летом взаимосвязано с понижением верхней и повышением нижней границы; среднеквадратические отклонения для толщины и числа слоев относительно стабильны; зимой и летом средняя толщина одного СОС относительно стабильна, с учетом яруса она увеличивается с высотой;
- в восточном направлении (от СЕР к ВСР) в слое 0–10 км, верхней и средней тропосфере суммарная толщина и число СОС увеличивается и зимой, и летом, а в нижней – уменьшение толщины сопровождается увеличением их числа зимой и уменьшением – летом;
- во все сезоны наибольшие значения повторяемости, суммарной толщины и числа СОС определены для верхнего яруса; наименьшие значения повторяемости и числа слоев – для среднего, минимальной толщины – для нижнего яруса; повторяемость

СОС в верхней и средней тропосфере слабо возрастает в восточном направлении – от СЕР к ВСР;

- осенью долгопериодные изменения Т взаимосвязаны с изменениями повторяемости СОС, их вертикальной макроструктуры.

Статистические характеристики сплошных облачных слоев над АРФ могут быть полезны для обеспечения работы судоходства, авиации, при изучении радиационной энергетики атмосферы, анализе климатических изменений облачности.

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 самолетного зондирования. Л.: Гидрометеиздат, 1982. 216 с.

4. *Chernokulsky A.V., Mokhov I.I.* Climatology of total cloudiness in the Arctic: An intercomparison of observations and reanalyses // *Advances in Meteorology*. 2012. V. 2012. Article ID 542093, 15 pages. DOI: 10.1155/2012/542093.

5. *Баранов А.М.* Видимость в атмосфере и безопасность полетов. Л.: Гидрометеиздат, 1991. 206 с.

6. *Eastman R.M., Warren S.G.* Arctic cloud changes from surface and satellite observations // *J. Climate*. 2010. V. 23. P. 4233–4242.

7. *Warren S.G., Eastman R.M., Hahn C.J.* A survey of changes in cloud cover and cloud types over land from surface observations, 1971–96 // *J. Climate*. 2007. V. 20. P. 717–738.

8. *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.

9. *Rossow W.B., Zhang Y., Wang J.* A statistical model of cloud vertical structure based on reconciling cloud layer amounts inferred from satellites and radiosonde humidity profiles // *J. Climate*. 2005. V. 18. P. 3587–3605.

10. *Черных И.В., Алдухов О.А.* Об определении вертикального распределения облачных слоев по данным радиозондирования атмосферы // *Известия РАН. Физика атмосферы и океана*. 2004. Т. 40, № 1. С. 45–59.

11. *Черных И.В., Алдухов О.А.* Долгопериодные оценки характеристик вертикального распределения облачных слоев по данным радиозондирования атмосферы // *Метеорология и гидрология*. 2016. № 4. С. 5–17.

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

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. V. 76. P. 1759–1775.
14. *Poore K.D., Wang J., Rossow W.* Cloud layer thickness from a combination of surface and upper-air observations // *J. Climate.* 1995. V. 8. P. 550–568.
15. *Naud C.M., Muller J.P., Clothiaux E.E.* Comparison between active sensor and radiosonde cloud boundaries over the ARM Southern Great Plains site // *J. Geophys. Res.* 2003. V. 108, N D4. P. 3-1–3-12.
16. *Алдухов О.А., Оржеховская В.А., Садовникова Т.О. и др.* Архив текущей аэрологической информации АЭРОСТАБ. Описание архива. – Обнинск, ВНИИГМИ-МЦД, 1990. 28 с.
17. *Руденкова Т.В.* Формат архивации текущих аэрологических данных, поступающих по каналам связи для ПЭВМ // *Труды ВНИИГМИ-МЦД.* 2010. Вып. 174. С. 41–63.
18. *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.
19. *Стечкин С.Б., Субботин Ю.Н.* Сплайны в вычислительной математике. М.: Наука, 1976. 248 с.
20. *Bartels R.H., Beatty J.C. and Barsky V.A.* An Introduction to Splines for use in Computer Graphics and Geometric Modeling. Los Altos, Morgan Kaufman Publishers, 1987. 476 p.

УДК 551.501 551.508

СОЗДАНИЕ ЭЛЕКТРОННЫХ КЛИМАТИЧЕСКИХ СПРАВОЧНИКОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

А. Б. Колкер^{1}, А. В. Гочаков^{1**}, Л. А. Воронина^{1***},
Е. А. Брусенко^{2****},*

¹ ФГБУ «Сибирский региональный научно-исследовательский
гидрометеорологический институт»,

² ФГБУ «Западно-Сибирское управление по гидрометеорологии
и мониторингу окружающей среды»

* alexk@sibnigmi.ru, ** wandering@bk.ru, *** voronina@sibnigmi.ru,
**** gmc-ok@meteo-nso.ru

Введение

Существует немало информационных технологий для решения прикладных задач в разных областях экономики для оценки и рационального использования природных ресурсов в целях устойчивого развития страны. Гидрометеорология – одна из отраслей экономики, где очень широко используются информационные автоматизированные технологии на базе СУБД-, ГИС-, Web-технологий. Обработывая оперативную или режимную метеорологическую, гидрологическую, агрометеорологическую информацию, информацию о состоянии окружающей природной среды [1, 2] с помощью информационных технологий, расширяются возможности пользователей в отслеживании интересующих их данных в режиме реального времени.

Изменение климата в последние десятилетия, в том числе повышение температуры воздуха, изменение интенсивности осадков, увеличение повторяемости опасных явлений (ОЯ), приводит к возросшему интересу населения планеты к климатическим данным. Разработано много различных информационных технологий, программных комплексов (ПК) по обработке гидрометеорологической информации, данных климатических рядов многих метеопараметров.

В соответствии с реализацией Целевой научно-технической программы «Научно-исследовательские, опытно-конструкторские, технологические и другие работы для государственных нужд в области гидрометеорологии и мониторинга окружающей среды» на

2014–2016 гг. в рамках темы НИР 1.3.4.4 была поставлена задача перед рядом НИУ Росгидромета – «Создание специализированной климатической информационной продукции для различных отраслей экономики и регионов России, электронных климатических справочников для специализированного адресного обслуживания пользователей с использованием информационных технологий на базе СУБД-, ГИС-, Web-технологий». Цель выполнения НИР – создание и ведение электронных климатических справочных систем для специализированного обслуживания пользователей.

С внедрением в современную жизнь Интернета важным направлением в обработке и визуализации гидрометеорологической информации стали Web-технологии, которые позволяют любому пользователю через Web-сайт получить доступ к интересующей его информации.

В рамках выполнения данной научно-исследовательской работы Сибирский научно-исследовательский гидрометеорологический институт (СибНИГМИ) разработал полностью автоматизированную Web-технологию формирования специализированной климатической продукции об экстремальных значениях разных метеопараметров с суточным, декадным, месячным, сезонным и годовым разрешением по станциям территории ответственности ФГБУ «Западно-Сибирское УГМС».

Создание автоматизированной технологии формирования справочной системы об экстремальных значениях максимальной и минимальной температуры воздуха и суточного количества осадков

Погода в последние десятилетия нередко бьет рекорды многолетних данных по температуре воздуха, выпавшим осадкам, высоте снежного покрова, скачкам давления, силе шквалистого и ураганного ветра во многих районах Земли. Территория Западной Сибири не является исключением.

Возрастающий интерес к погодным и климатическим экстремумам предъявляет повышенные требования к работе климатологов по выборке и анализу наблюдавшихся за весь ряд наблюдений экстремумов на станциях и сравнению их с оперативными

данными из телеграмм кода КН-01, поступивших по каналам связи с метеостанций [4, 5].

На первом этапе выполнения исследований климатологи Гидрометцентра ФГБУ «Западно-Сибирское УГМС» создали электронный архив с экстремальными значениями минимальной и максимальной температуры воздуха и количества осадков в суточном, декадном и месячном разрешении за весь ряд наблюдения по 2013 год включительно по 124 станциям ФГБУ «Западно-Сибирское УГМС»: Новосибирская область – 35, Томская – 23, Кемеровская – 21, Алтайский край – 32, Республика Алтай – 12. Архив создавался в Exsel-формате. В таблицах рядом с абсолютным максимальным (минимальным) значением температуры воздуха и максимальным значением суточного количества осадков стоял год, когда этот экстремум наблюдался. На рис. 1 приведен пример архивной выборки суточных, декадных и месячных абсолютных максимумов температуры воздуха по станции Чемал Республики Алтай.

После формирования по станциям баз данных экстремальных значений максимальной, минимальной температуры воздуха и количества осадков в суточном, декадном и месячном разрешении было разработано экспериментальное программное обеспечение (ПО) оценки оперативных экстремальных значений температуры воздуха (максимальной и минимальной) и суточного количества осадков. Разработанное ПО оценки оперативных экстремальных значений температуры воздуха (максимальной и минимальной) и количества осадков в суточном, декадном и месячном расширении было протестировано на оперативных данных из телеграмм, поступивших к коду КН-01. По результатам тестирования программное обеспечение было доработано и отлажено в соответствии с внесенными замечаниями.

2014 год на территории Западной Сибири был богат на экстремумы. По ряду станций ФГБУ «Западно-Сибирское УГМС» было отмечено много новых экстремумов, нередко перекрывающих внесенные в базу данных как по температуре воздуха (минимальной и максимальной), так и по осадкам. Поэтому в 2015 г. с учетом обновленных экстремумов за 2014 год была сформирована новая автоматизированная база данных экстремальных значений максимальной, минимальной температуры воздуха и экстремального количества осадков в суточном, декадном и месячном разрешении.

Число	Абсолютный максимум температуры воздуха, °С, сутки, декада, месяц											
	январь	февраль	март	апрель	май	июнь	июль	август	сентябрь	октябрь	ноябрь	декабрь
1	10,7	10,2	11,9	25,4	30,0	33,7	39,2	35,1	26,1	16,2	17,4	
2	1979	1993	1986	1989	1945	2008	1936	2008	2007	2013	1983	1955
3	1	10,7	10,2	11,9	25,4	30,0	33,7	39,2	35,1	26,1	16,2	17,4
4	1979	1993	1986	1989	1945	2008	1936	2008	2007	2013	1983	1955
5	2	11,1	11,0	21,7	29,9	35,2	33,9	36,3	33,0	28,7	17,8	15,4
6	1979	1937	1987	2004	1945	1953	1988	2005	2010	1970	1978	1989
7	3	7,6	8,1	16,2	23,9	30,5	34,9	37,1	38,6	33,1	26,6	18,7
8	1986	1976	1986	1938	1940	1953	1995	1979	2007	1998	1978	1979
9	4	10,8	6,0	15,8	22,9	32,1	35,3	35,1	32,2	34,7	26,2	17,0
10	1940	2011	1953	2012	2007	1957	2008	1974	1953	1957	1983	1990
11	5	9,5	7,1	16,1	22,5	31,7	35,1	35,8	35,7	35,0	25,3	16,6
12	1979	1939	2008	1939	1949	2008	1997	1962	1982	1979	1970	1958
13	6	11,7	7,4	16,0	23,3	31,1	34,7	34,8	36,0	33,4	23,9	17,0
14	1979	1954	2008	2004	1999	1987	1943	2000	1959	1979	1988	1958
15	7	7,9	11,6	15,1	24,7	31,7	35,6	35,3	35,1	29,5	27,0	16,5
16	1953	2007	2004	2007	1987	1987	2005	2000	1948	1964	1988	1952
17	8	9,5	9,1	14,8	25,0	31,0	33,7	37,9	35,3	35,7	25,3	18,0
18	1986	1993	2004	1989	1980	2008	2005	2002	1959	1988	2007	1955
19	9	12,7	8,5	15,3	24,1	32,7	35,5	37,2	39,4	33,2	25,2	17,4
20	2002	1998	2008	1995	2001	2008	1988	2008	2003	1986	1942	1952
21	10	12,6	10,3	17,6	25,8	34,4	34,5	36,5	40,6	30,2	26,6	19,0
22	2002	2006	2001	2011	2008	2012	1988	2008	1953	1971	1988	1955
23	11	10,1	12,0	14,8	26,0	31,1	32,8	37,9	39,7	30,6	25,2	17,2
24	2003	2006	1944	2010	2008	1952	1974	2002	1953	1971	1980	1955
25	12	5,7	9,0	14,8	27,1	32,7	35,0	36,6	32,8	23,7	16,2	9,8
26	1941	1996	1963	2013	1991	1962	2011	2002	2007	1949	1941	1955
27	13	4,9	13,2	15,0	28,9	33,8	34,7	37,7	35,2	30,6	21,5	14,0
28	2003	2004	1981	2013	1991	1941	2011	1956	2002	2004	1995	1940
29	14	6,6	10,2	18,4	28,3	32,6	33,4	36,6	35,2	26,8	23,2	11,8
30	1971	2004	1981	2011	1991	1975	1992	1998	1995	1946	1995	1978
31	15	6,2	10,4	18,9	28,1	32,6	34,1	39,5	36,6	28,4	22,5	17,2
32	1972	2002	1983	2011	2004	1969	1982	1998	1995	1946	2010	1941

Рис. 1. Пример таблицы с базой данных экстремумов максимальной температуры воздуха по станциям Республики Алтай

Тестирование программного обеспечения на оперативных данных (КН-01) показало работоспособность автоматизированной технологии по выборке превышающих значений температуры воздуха (минимальной, максимальной) и суточного количества осадков их многолетних экстремальных значений.

В начале 2015 года в соответствии с Программой испытания климатологами Гидрометцентра были начаты производственные испытания автоматизированной технологии оценки оперативных (код КН-01) экстремальных значений температуры воздуха и количества осадков.

В целях упрощения работы с автоматизированной технологией авторами было подготовлено описание рабочего интерфейса (рис. 2) автоматизированной технологии оценки экстремальных значений температуры воздуха и количества осадков с подробным описанием назначения инструментов выборки.

1. «Территория» – ограничение выборки синоптическими станциями, принадлежащими выбранному субъекту РФ. При значении «**Все субъекты**» выборка будет производиться для всех станций, содержащихся в базе данных.

Экстремальные значения 9

Все субъекты: Минимальная температура

Индекс	Пункт	Дата	Знач-е
23955	Александровское	22-Декабрь-1976	-46.9
23966	Ванжиль-Кынак	22-Декабрь-1976	-50.2
29016	Прохоркино	22-Декабрь-1976	-47.5
29023	Напас	22-Декабрь-1976	-49.0
29037	Березовка	22-Декабрь-1976	-47.8
29111	Средний_Васюган	22-Декабрь-1976	-48.8
29122	Каргасок	22-Декабрь-1976	-48.1
29128	Парабель	22-Декабрь-1976	-46.8
29149	Степановка	22-Декабрь-1976	-49.9
29154	Усть-Озерное	22-Декабрь-1976	-48.5
29203	Новый_Васюган	22-Декабрь-1976	-46.2
29209	Майск	22-Декабрь-1976	-45.6
29224	Старица	22-Декабрь-1976	-47.5
29231	Колпашево	22-Декабрь-1976	-46.8
29237	Подгорное	22-Декабрь-1976	-46.7

Рис. 2. Описание интерфейса

2. «**Станция**» – ограничение выборки названием станции. При заполнении поля формы «Станция» будут выбраны данные только для тех станций, в названии которых содержится часть строки, внесенная в поле. К примеру, если ввести в строку поиска для всех субъектов символы «ом», результатом выборки будут данные для Первомайского, Томска, промышленной и Кондомы; если ввести символы «Томск», результатом будут ограничены данными по Томску.

3. «**Параметр**» определяет, для какого метеопараметра будет производиться выборка из базы данных экстремальных значений.

4. «**Тип данных**». База данных состоит из экстремальных значений в суточном, декадном и месячном разрешении. При выборе типа данных «**Ежедневные**» выборка будет производиться по суточным данным (рис. 2); при выборе «**Декадные**» выборка возможна для 1-й, 2-й, 3-й декад или целого месяца (рис. 3).

5. «**Критерий выборки**». Технология в автоматическом режиме заносит в базу данных случаи превышений экстремальных

База данных климатических экстремумов
climate.sci.igmi.ru

Территория: Все субъекты

Станция:

Параметр:

- Минимальная температура
- Максимальная температура
- Осадки

Тип данных:

- Ежедневные
- Декадные

Критерий выборки:

- Все значения
- Превышающие

Месяц: Декабрь

Декада: 1

[Экспортировать файл Excel](#)

Экстремальные значения

Все субъекты: Минимальная температура

Индекс	Пункт	Дата	Знач-е
23955	Александровское	1 дkd-Декабрь-1984	-49.6
23966	Ванжиль-Кынак	1 дkd-Декабрь-1972	-55.0
29016	Прохоркино	1 дkd-Декабрь-1968	-49.0
29023	Напас	1 дkd-Декабрь-1984	-51.6
29037	Березовка	1 дkd-Декабрь-1984	-52.6
29111	Средний_Васюган	1 дkd-Декабрь-1984	-49.0
29122	Каргасок	1 дkd-Декабрь-1984	-49.0
29128	Парабель	1 дkd-Декабрь-1968	-50.3
29149	Степановка	1 дkd-Декабрь-1984	-51.1
29154	Усть-Озерное	1 дkd-Декабрь-1984	-50.9
29203	Новый_Васюган	1 дkd-Декабрь-1968	-50.0
29209	Майск	1 дkd-Декабрь-1968	-52.1
29224	Старица	1 дkd-Декабрь-1984	-51.8
29231	Колпашево	1 дkd-Декабрь-1984	-49.0
29237	Подгорное	1 дkd-Декабрь-1984	-48.2
29247	Батурино	1 дkd-Декабрь-1984	-48.7

Рис. 3. Пример ограничения выборки экстремумов минимальной температуры воздуха по 1-й декаде декабря из базы с многолетними данными

значений в суточном, декадном, месячном разрешении. При выборе параметра **«Все значения»** (рис. 3) формируется выборка всех утвержденных отделом климатологии экстремальных параметров в соответствии с пунктами 1–6. При выборе параметра **«Превышающие»** выборка произведется также в соответствии с пунктами 1–6, но только для тех значений, которые были превышены значениями из телеграмм КН-01 и еще не утверждены климатологами (рис. 4).

6. **«Месяц»** и **«День»**. Ограничение выборки по дате. Если параметр **«Тип данных»** установлен в значение **«Ежедневные»**, доступно указание конкретной даты или же всех значений за месяц (пункт выпадающего списка **«Все»**). Если выбрано значение **«Декадные»** – доступен выбор 1, 2, 3 декады или всего месяца.

7. **«Отобразить»** применяет все ограничения по выборке и генерирует результат выборки.

8. Результат можно экспортировать в файл Excel-формата (8), содержащий тот же результат выборки с названием файла, включающим параметры ограничения выборки.

9. **«Результат выборки»**. Содержит в заголовке территорию и метеорологический параметр выборки. Сам результат оформлен в виде таблицы со следующими столбцами: синоптический индекс станции, название станции, дата строки выборки (в суточном, декадном, месячном разрешении), утвержденное экстремальное значение (рис. 3). В случае выборки превышений метеопараметров, отобранных автоматизированной технологией из оперативных данных (код КН-01) – столбцы с новыми значениями экстремумов с указанием года (рис. 4).

По результатам проведенных в 2015 г. климатологами Гидрометцентра производственных испытаний автоматизированной технологии была отмечена стабильная работа ее по выборке многолетних экстремумов из базы данных, а также выборке из телеграмм в коде КН-01 экстремальных значений температуры воздуха и суточного количества осадков и сравнении их с многолетними экстремумами. В то же время в отдельных случаях выявленные экстремумы из оперативных телеграмм вызывали сомнения в их достоверности.

При разборе и анализе сомнительных данных специалистами отдела климата были выявлены ошибки в оперативных телеграммах, поступающих в АСПД в коде КН-01. Ошибки были связаны

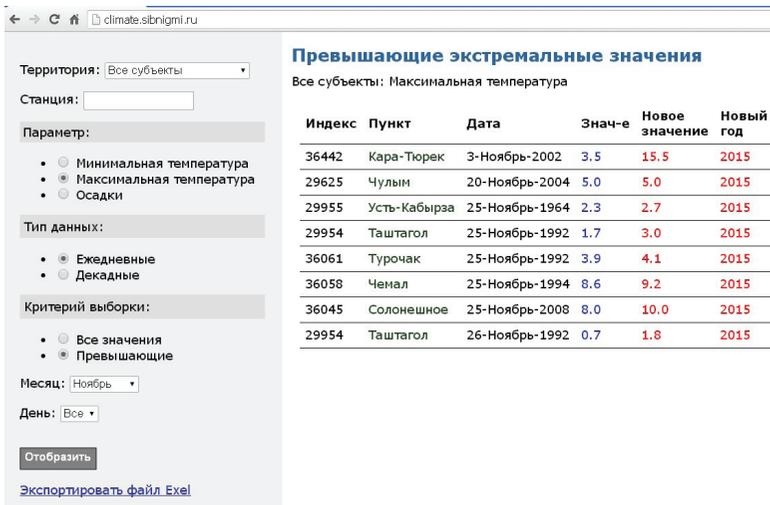


Рис. 4. Пример ограничения выборки по превышениям

с неправильным кодированием на станциях групп температуры воздуха (максимальной и минимальной) и суточного количества осадков. Несмотря на то, что ошибки были не систематическими, а периодическими, для исключения попадания в базу многолетних данных не достоверных сведений об экстремумах было принято решение о внесении изменений только после сравнения их с проверенными режимными данными [1, 2]. Проверенные данные об экстремумах по станциям в отдел климата поступают спустя 2–3 месяца, поэтому внесение новых экстремумов осуществляется с опозданием в 2–3 месяца. Правом внесения в базу данных новых экстремумов по своему коду доступа обладают только специалисты отдела климата Гидрометцентра.

В 2016 г. была продолжена работа по расширению возможностей автоматизированной технологии. В соответствии с обновленным техническим заданием было создано программное обеспечение по расчету ежедневных (ежедекадных и ежемесячных) значений отклонения от средних многолетних значений температуры воздуха за 1971–2000 гг.

Средние многолетние значения (норма) температуры воздуха (суточные, декадные и месячные) за период 1971–2000 гг. были

подготовлены климатологами Гидрометцентра в Excel-формате по 121 станции ФГБУ «Западно-Сибирское УГМС».

Программное обеспечение по расчету отклонений среднесуточной (среднедекадной, среднемесячной) температуры воздуха от нормы было протестировано на оперативных данных, поступающих в коде КН-01 по каналам АСПД в региональный информационно-вычислительный центр (РИВЦ) Западно-Сибирского УГМС.

В течение 2016 г. автоматизированная технология расчета отклонения среднесуточной (среднедекадной, среднемесячной) температуры воздуха по станциям ФГБУ «Западно-Сибирское УГМС» проходила производственные испытания в Гидрометцентре Управления.

Данная технология позволяет в оперативном режиме отслеживать крупные экстремальные отклонения температуры воздуха не только в целом по территории, но и по любой станции Западно-Сибирского УГМС. Информация об отклонениях температуры воздуха используется при составлении обзоров, справок, консультаций агрометеорологов и гидрологов, а также при уточнении прогнозов гидрологов во время половодья.

На рис. 5 приведен пример расчета ежедневного отклонения от нормы (аномалии) среднесуточной температуры воздуха за 17 ноября 2016 года на примере Новосибирской области, когда среднесуточная температура воздуха отклонялась от нормы по станциям на 20–26 °С, наблюдалось ОЯ – аномально холодная погода.

На рис. 6 приведен пример расчета отклонения от нормы средней температуры воздуха за вторую декаду ноября 2016 года по Кемеровской области.

При крупных отклонениях (аномалиях) температуры воздуха от нормы у специалистов появляется возможность своевременно доводить информацию о сохранении аномально холодной или аномально жаркой погоды до Росгидромета, Гидрометцентра России, региональных органов власти и МЧС не только в целом по территории ответственности ФГБУ «Западно-Сибирское УГМС», но и конкретно выделить район с опасным явлением.

Результаты испытаний автоматизированной технологии оценки оперативных значений температуры воздуха (максимальной, минимальной, средней) и количества осадков в суточном, декадном и месячном разрешении рассмотрены на метеорологической

Файл Правка Вид Журнал Залочки Инструменты Справка
 Яндекс — Яндекс: нашлось... База данных климатических з...
 ① climate.vniigmi.ru/decabr
 Часто посещаемые Индекс: http://niq.m... Создать папку

Экстремальные значения
 Новосибирская область: Средняя температура

Территория: Новосибирская область
 Станция:
 Параметр:
 Минимальная температура
 Максимальная температура
 Осадки
 Средняя температура
 Тип данных:
 Ежедневные
 Декадные
 Критерий выборки:
 Отклонение больше
 Месяц: Ноябрь
 День: 17
 Показать
 Экспортировать файл Excel

Индекс	Пункт	Дата	Норма	Знач-е	Откл-е
29736	Маслянино	17-Ноябрь-2016	-6.5	-33.0	-26.5
29823	Сузун	17-Ноябрь-2016	-6.4	-31.7	-25.3
29735	Посевная	17-Ноябрь-2016	-7.0	-29.9	-22.9
29730	Искитим	17-Ноябрь-2016	-6.4	-29.0	-22.6
29638	Отурцово	17-Ноябрь-2016	-6.6	-28.4	-21.8
29726	Ордынское	17-Ноябрь-2016	-6.6	-28.3	-21.7
29722	Ужаниха	17-Ноябрь-2016	-7.7	-29.0	-21.3
29626	Коченово	17-Ноябрь-2016	-7.3	-28.6	-21.3
29635	Обская_Гло	17-Ноябрь-2016	-6.2	-27.4	-21.2
29813	Краснозерск	17-Ноябрь-2016	-7.6	-28.7	-21.1
29724	Кочки	17-Ноябрь-2016	-7.8	-28.9	-21.1
29636	Тогучин	17-Ноябрь-2016	-6.7	-27.7	-21.0
29613	Убинское	17-Ноябрь-2016	-8.2	-29.0	-20.8
29625	Чулым	17-Ноябрь-2016	-7.7	-28.4	-20.7
29814	Карасук	17-Ноябрь-2016	-7.6	-28.2	-20.6
29637	Учебная	17-Ноябрь-2016	-6.4	-27.0	-20.6
29716	Довольное	17-Ноябрь-2016	-7.7	-28.2	-20.5
29624	Каргат	17-Ноябрь-2016	-7.9	-28.4	-20.5

Рис. 5. Пример отклонения среднесуточной температуры воздуха от нормы

Файл Правка Вид Журнал Значения Инструменты Справка
 Яндекс — Яндекс: нашлог... x База данных: климатическ... x
 climate.siberia.ru/levelor
 Часто посещаемые Индекс: efr://nsk.me... Создать папку

Экстремальные значения

Кемеровская область: Средняя температура

Индекс	Пункт	Дата	Норма	Значе	Откл-е
29741	Красное	2 дкд-Ноябрь-2016	-7.7	-23.0	-15.3
29540	Яя	2 дкд-Ноябрь-2016	-8.5	-23.3	-14.8
29649	Кративино	2 дкд-Ноябрь-2016	-7.4	-22.1	-14.7
29645	Кемерово(Новостройка)	2 дкд-Ноябрь-2016	-7.8	-22.5	-14.7
29536	Юрга	2 дкд-Ноябрь-2016	-9.2	-23.7	-14.5
29842	Новокузнецк	2 дкд-Ноябрь-2016	-7.2	-21.7	-14.5
29644	Промышленная	2 дкд-Ноябрь-2016	-7.9	-22.3	-14.4
29557	Тисуль	2 дкд-Ноябрь-2016	-7.5	-21.7	-14.2
29548	Барзас	2 дкд-Ноябрь-2016	-8.2	-22.4	-14.2
29541	Тайга	2 дкд-Ноябрь-2016	-9.1	-23.3	-14.2
29749	Киселевск	2 дкд-Ноябрь-2016	-6.8	-20.8	-14.0
29551	Маринск	2 дкд-Ноябрь-2016	-8.0	-22.0	-14.0
29552	Тяжин	2 дкд-Ноябрь-2016	-8.2	-22.0	-13.8
29849	Кузедеево	2 дкд-Ноябрь-2016	-6.9	-20.6	-13.7
29641	Топки	2 дкд-Ноябрь-2016	-8.3	-21.7	-13.4
29854	Междуреченск	2 дкд-Ноябрь-2016	-7.2	-20.5	-13.3
29946	Кондома	2 дкд-Ноябрь-2016	-7.9	-20.8	-12.9

Территория: Кемеровская область
 Станция:
 Параметр:
 Минимальная температура
 Максимальная температура
 Осадки
 Средняя температура
 Тип данных:
 Ежедневные
 Декадные
 Критерий выборки:
 Отклонение больше
 Месяц: Ноябрь
 Декада: 2

 Экспортировать файл Excel

Рис. 6. Пример отклонения среднедекадной температуры воздуха от нормы

секции технического совета от 16 декабря 2015 года и на техническом совете учреждения 17 января 2017 года. Решением секции и технического совета УГМС было рекомендовано внедрить автоматизированные технологии в оперативную работу Гидрометцентра и ЦГМС– филиалах ФГБУ «Западно-Сибирское УГМС».

В решениях метеорологической секции и технического совета были отмечены:

- новизна технологии, так как автоматизированная технология по выборке климатических рекордов была впервые разработана для территории Урало-Сибирского региона;
- полная автоматизация процесса выборки;
- возможность корректировки базы данных в случае появления новых экстремумов;
- простой и удобный в использовании Web-интерфейс;
- доступность для пользователей.

Автоматизированная технология позволяет пользователю:

- в минимально короткое время и без затрат получить необходимую информацию об экстремальности фактических, оперативных значений температуры воздуха, количества осадков по любой станции территории ответственности ФГБУ «Западно-Сибирское УГМС»;

- просматривать запрашиваемую информацию не только за текущие сутки, но и за любой период в течение года (день, декаду, месяц), что также положительно оценивается пользователями.

Web-интерфейс технологии прост и удобен в использовании.

Результат выборки и расчета автоматизированной технологии доступен не только специалистам Западно-Сибирского УГМС, но также и сторонним пользователям через интернет-ресурс по адресу <http://climate.sibnigmi.ru> после авторизации имени guest и пароля 123.

Распространение данных автоматизированных технологий возможно и на другие регионы Западной и Восточной Сибири при наличии сформированных баз климатических данных по станциям УГМС этих территорий на электронных носителях.

Авторами получено Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ (Программный комплекс «Экстремум-метео») за № 2016660731 от 21 сентября 2016 года.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Наставление* гидрометеорологическим станциям и постам. Вып. 3, часть I. Метеорологические наблюдения на станциях. Гидрометеоздат, 1985. 300 с.
2. *Изменение № 1. Наставление* гидрометеорологическим станциям и постам. Вып. 3, часть I. Метеорологические наблюдения на станциях. 1985. Санкт-Петербург: Гидрометеоздат, 1997. 54 с.
3. *52.04.614-2000 Наставление* гидрометеорологическим станциям и постам. Вып. 3, часть II. Обработка материалов метеорологических наблюдений. Санкт-Петербург: Гидрометеоздат, 2000. 119 с.
4. *Методические указания* по автоматизированной обработке гидрометеорологической информации. Вып. 3, часть 1, раздел 1. Обнинск, 2000. 69 с.
5. *Код* для оперативной передачи данных приземных метеорологических наблюдений с сети станций Росгидромета (КН-01SYNOP). М., 2013. 79 с.

УДК 551.583.1, 551.581.1

ФИЗИКО-СТАТИСТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КОЛЕБАНИЙ КЛИМАТА И ОПЫТ ПРОГНОЗА НА ДВА ДЕСЯТИЛЕТИЯ КОЛЕБАНИЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА СЕВЕРНОГО ПОЛУШАРИЯ

Б. Г. Шерстюков

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

Введение и рабочая гипотеза

На современном уровне знаний, когда многие физические механизмы колебаний климата известны на уровне гипотезы без математического описания, проблема прогноза колебаний климата может решаться на основе статистического моделирования. Надежды на простую авторегрессию в прогностической модели себя не оправдывают. Статистическое моделирование становится более эффективным, если оно целенаправленно строится на основе правильной физической гипотезы о механизме возникновения колебаний. Для объяснения причин колебаний состояния глобального климата применяют два подхода: 1) климат изменяется под воздействием долгопериодных колебаний внешних факторов; 2) колебания климата – это проявление внутренней изменчивости климатической системы, возбуждаемое сезонными колебаниями солнечной радиации без других внешних факторов. В первом подходе остается нерешенным вопрос о внешних факторах, обладающих достаточной энергией для изменения состояния климата в наблюдаемых масштабах. Во втором подходе, по сути, все многолетние колебания климата рассматриваются как случайное следствие генерации их сезонными изменениями количества поглощенной Землей солнечной радиации.

Результаты анализа данных наблюдений за климатом подсказывают возможность существования третьего представления о механизме поддержания колебаний климата, в котором источником энергии колебаний является внешний слабый повторяющийся долгопериодный фактор. В предполагаемом механизме малая энергия каждого отдельного воздействия не является поводом для противоречий.

Любой колебательной системе можно придать колебания большой амплитуды двумя способами: 1) однократно передать ей высокоэнергичное возмущение – колебания большой амплитуды возникнут в системе незамедлительно; 2) минимальными усилиями многократно в резонанс добавлять возмущающую энергию – колебания в этом случае будут раскачиваться постепенно и достигнут большой амплитуды через некоторое значительное время, когда суммарная энергия всех многократных усилий достигнет примерно той же величины, которая была приложена в первом способе. Недостаточная ясность в данном вопросе может быть компенсирована целенаправленным статистическим описанием колебаний с учетом возможности существования разных механизмов возникновения и поддержания колебаний климата.

История климата – это история его колебаний [1]. Колебания являются главной особенностью климатической системы, поэтому климатическую систему можно рассматривать как колебательную систему со свойствами, присущими таким системам.

Для возникновения и поддержания колебаний в системе необходим источник энергии. В природе все колебания диссипативные, поэтому для поддержания колебаний должно быть повторяющееся пополнение потерь энергии.

Как любая колебательная система, климатическая система имеет собственные частоты колебаний, которые определяются набором физических и физико-географических особенностей ее составляющих (сезонно-широтных особенностей притока солнечной энергии, распределения суши и океанов, рельефа суши и морского дна, термодинамических характеристик атмосферы, суши и океана и т. д.). Колебания на собственных частотах – это колебания в системе под действием внутренних сил после того, как система выведена из состояния равновесия (в реальных условиях колебания всегда затухающие).

Рабочая гипотеза состоит в том, что динамика погоды и климата главным образом является следствием колебаний климатической системы на ее собственных частотах после того, как система выведена из равновесия в результате внешнего воздействия (параметрического или резонансного). Внешние воздействия повторяются через некоторое время и этим поддерживают затухающие колебания характеристик климата на собственных частотах. Важно учитывать, что при каждом новом внешнем воздействии

в климатической системе возникают новые колебания с нулевой фазы. Они накладываются на колебания от предыдущего внешнего воздействия. Данные наблюдений фиксируют результаты суперпозиции затухающих колебаний от нескольких воздействий с разными начальными фазами. Частая смена фазы возобновляющихся колебаний существенно осложняет применение классических методов статистического анализа и не позволяет выделить собственные частоты колебаний системы.

Внешние воздействия на колебания характеристик атмосферы могут исходить от других составляющих климатической системы, прежде всего от океана, а для всей климатической системы внешними факторами могут быть разного рода космические воздействия (геодинамика и солнечная активность), а также вулканические выбросы газов и аэрозольных частиц в атмосферу.

При поиске внешних факторов изменения состояния системы часто выдвигаются требования об энергетическом соответствии внешнего воздействия и возникающего отклика в климатической системе. Справедливо такое требование или нет зависит от физического механизма передачи возмущений. Если механизм сложнее, чем прямая зависимость, то такое требование несостоятельно. В климатической системе при существующих многофакторных связях трудно надеяться на простые прямые зависимости.

Во-первых, заметные возмущения от внешних факторов могут возникать в климатической системе в результате параметрического воздействия на нее даже от самых слабых внешних факторов. Во-вторых, повторяющиеся слабые воздействия на колебательную систему могут вызывать в ней резонансные явления, по величине многократно превосходящие энергию отдельных воздействий.

Солнечная активность, например, может влиять на климат не только через изменение притока энергии при изменении светимости Солнца. Существуют дополнительные химические механизмы, которые стимулируются определенными частотами солнечного излучения. Ультрафиолет изменяет содержание озона, который является парниковым газом, а слабая ионизация воздуха в тропосфере космическими лучами может привести к появлению облачного покрова, который изменит альбедо [2, 3]. Космические лучи способны влиять на количество облачности и на глобальный гидрологический цикл, которые параметрически влияют на

другие характеристики климатической системы [4, 5]. Недавно появились экспериментальные доказательства того, что глубинная дегазация Земли через рифтовые зоны с выделением водорода из недр Земли в океан и в атмосферу приводит к реакциям в океане и атмосфере с выделением тепла. Модулируются газовые выбросы пульсирующим гравитационным воздействием Луны и Солнца на ядро Земли [6]. Дополнительное тепло водородных химических реакций тоже может участвовать в формировании климата планеты. В этом случае источник дополнительного тепла лежит внутри Земли, но поступление этого тепла в климатическую систему регулируется через гравитационные взаимодействия в Солнечной системе по законам небесной механики. Многие в этих примерах неясно, необходимы дополнительные исследования всех перечисленных фактов и гипотез.

Совершенно неучтенными являются резонансы в климатической системе, которые неизбежны в любой колебательной системе. Резонансы в подобных системах часто имеют решающее значение. Если принимать во внимание возможность существования резонансов в колебательной системе, то требование об энергетическом соответствии внешнего воздействия и возникающего отклика в климатической системе становится лишним. Возможны резонансы внешних воздействий и собственных колебаний или резонансы внутри системы. В моменты наступления резонанса колебания усиливаются за счет высвобождения внутренней энергии в нелинейной системе. Именно такой сложной и нелинейной является климатическая система.

Колебания в диссипативной климатической системе многие миллионы лет поддерживаются за счет некоторой дополнительной внешней энергии. Если каждое отклонение в состоянии системы рассматривать как результат внешнего воздействия, то надо иметь неисчерпаемый источник соответствующего количества энергии. Если колебания резонансные, то для поддержания таких колебаний необходима энергия только для восстановления потерь диссипации энергии. В природе не обнаружено физических механизмов, способных каждый раз поставлять необходимое количество энергии для изменения наблюдаемых состояний климата. А возникновение резонансных колебаний при минимальных повторяющихся внешних воздействиях – это только вопрос времени.

Но времени для резонансной раскачки у климатической системы было достаточно от момента ее формирования до наших дней.

Резонансы в колебаниях внешних факторов и отдельных составляющих климатической системы могут установиться на множестве возможных соизмеримых неравных частот. Если при резонансе двух колебаний их частоты не совпадают, то корреляционный анализ не позволит обнаружить связь между ними, а в статистической модели резонансные зависимости могут быть учтены.

Легко представить, что маятник будет раскачиваться бесконечно, если его подталкивать при каждом его отклонении с собственным периодом T (резонанс 1:1). Это простой случай, при котором можно обнаружить высокую корреляцию между колебаниями маятника и воздействиями на него. Маятник также будет раскачиваться бесконечно, если его подталкивать не каждый раз, а через время $2T$, $3T$ и т. д. (резонансы 2:1, 3:1 и т. д.), а коэффициент корреляции в этом случае будет близок к нулю. Возможны и более сложные резонансы, при которых колебательная система будет получать подпитку энергии при отсутствии прямой корреляционной связи с источником возмущений.

Статистическое моделирование позволяет описывать закономерности колебаний при недостатке знаний физического механизма, поддерживающего эти колебания. Судя по данным наблюдений, при всей сложности и многофакторной зависимости процессов в климатической системе колебания в атмосфере некоторым образом все же самосогласуются на основе резонансов, и возникают ритмы [7], которые легче поддаются выделению, чем колебания на всех собственных частотах. Резонансное согласование усиливает или формирует избранные собственные частоты колебаний каждого компонента климатической системы. Способность сложных колебательных систем к самосогласованию – это результат естественной оптимизации системы по минимуму затрат энергии. Резонансное самосогласование является фундаментальной закономерностью эволюции и устройства современной Солнечной системы [8]. Вероятно, на основе тех же законов физики о слабых взаимовлияниях в колебательных системах наша климатическая система в результате длительной эволюции тоже вошла в резонансный режим между внешними факторами и

отдельными своими составляющими. Самосогласование выводит колебательную систему на оптимальный резонансный уровень.

Механизм воздействия на климат геодинамических факторов и солнечной активности не вполне понятен, но это не может служить основанием для их отрицания. И даже в случае отрицания внешних факторов колебаний климата статистическая модель климата может быть построена на основе учета ритмических закономерностей, выявленных при анализе данных наблюдений.

Поиски внешних факторов колебаний климата продолжаются. Одним из недавних примеров обнаруженных синхронизированных космических и климатических колебаний является работа [9]. В ней показано, что в данных о полярных сияниях начиная с 1700 года обнаружены колебания с периодами примерно 9, 10–11, 20–21, 30 и 60 лет. Такие же периоды колебаний обнаружены в данных о глобальной температуре воздуха с 1850 года. Полярные сияния являются индикаторами высыпания заряженных частиц из радиационных поясов магнитосферы в ионосферу под воздействием изменяющейся солнечной активности и межпланетных магнитных полей. Кроме того, глобальная температура характеризуется набором периодов, которые могут быть связаны с аномалиями движения Солнца относительно барицентра Солнечной системы (периоды около 10,5; 20; 30 и 60 лет).

Резонансы являются основой строения Солнечной системы [8], они присущи всем колебательным системам, и климатическая система не может быть исключением.

Описанная структура формирования наблюдаемых колебаний климата была положена в основу статистической модели климата, разработанной автором в 2007 году. В развитие физической основы представлений о природе колебаний климата, заложенных в модель 2007 года, в настоящей работе приводятся результаты исследования сопряженных колебаний температуры поверхности океана, температуры воздуха на континенте, атмосферной циркуляции, изменения скорости вращения Земли, расстояния Солнце–Земля и солнечной активности, которые согласуются с ранее выдвинутой гипотезой. Кроме этого представлены результаты оценки качества авторского прогноза на два десятилетия колебаний климата Северного полушария, составленного в 2007 году и опубликованного в 2008 году.

Материалы

В работе использовались: средняя месячная температура поверхности океана в узлах географической сетки через 2° по широте и долготе [10]; температура воздуха над континентами [11, 12]; данные о продолжительности суток (обратная величина скорости вращения Земли) [13]; расстояние от Солнца до Земли [14]; индекс Северо-Атлантического колебания [15].

Результаты

В статистическом моделировании климата главным является правильное представление о физических механизмах процессов, ответственных за все изменения в климатической системе. Статистическая модель [7, 16] строилась на основе представлений о сложных колебательных системах. Для любых колебаний необходим первоначальный импульс энергии. Так же как маятник имеет собственную частоту колебаний, не зависящую от причины, которая вывела его из состояния покоя, так и климатическая система имеет собственные частоты колебаний, не зависящие от внешних возмущающих факторов. Важно отметить, что наличие внешнего возмущающего фактора обязательно для возникновения и поддержания собственных колебаний. Любые колебания – это повторяющийся во времени процесс изменения состояний системы около точки равновесия. После импульса энергии при отсутствии дополнительных внешних воздействий в системе возникают свободные колебания на собственных частотах системы. Свободные колебания система совершает при наличии некоторого запаса потенциальной энергии, расходуемой на совершение этих колебаний. Они всегда связаны с попеременным превращением энергии одной формы проявления в другую.

Колебания в климатической системе на Земле были всегда, насколько это известно [1]. При диссипации энергии не прекращающиеся колебания возможны только при наличии внешнего переменного источника энергии, подпитывающего собственные колебания климатической системы. Из приведенных фактов и рассуждений вытекает вывод о том, что вопрос о природных (собственных) колебаниях климата не может решаться отдельно от вопроса о внешних факторах. Моделирование собственных колебаний климата невозможно без моделирования механизма возбуждения этих колебаний внешними факторами. Новизна

авторского подхода в статистическом моделировании заключается в описании затухающих свободных колебаний, ритмически возбуждаемых переменными гипотетическими внешними факторами.

Для атмосферы ближайшим внешним фактором может быть теплообмен с океаном. В этом теплообмене участвует верхний перемешанный слой океана толщиной в несколько сотен метров. Толщина его не постоянна во времени и в пространстве. Информативной характеристикой оказался простой индекс инерционности, предложенный в [7, 17]. Индекс инерционности $K_{ТПО}$ является косвенной характеристикой объема верхнего слоя воды в океане (толщины слоя), участвующего в теплообмене с поверхностью.

Для Северного полушария $K_{ТПО} = T_2 - T_1$, где T_2 – средняя температура поверхности океана (ТПО) за вторую половину года, а T_1 – температура за первую половину года. Из-за тепловой инерции, зависящей от объема воды верхнего перемешанного слоя, вторая половина года всегда теплее первой в той или иной степени. Для Южного полушария знак $K_{ТПО}$ надо изменить. Годичные значения индекса можно вычислить для любой точки Мирового океана. Предполагается, что увеличение индекса $K_{ТПО}$ в заданной точке возможно только при увеличении объема воды, вовлеченного в верхний слой перемешивания. Исследования в широтной зоне 30–60° с.ш. показали, что в зоне теплых океанических течений Гольфстрим, Северо-Атлантического, Курисио и Северо-Тихоокеанского в годы усиления индекса $K_{ТПО}$ повышалась ТПО, а при ослаблении $K_{ТПО}$ понижалась ТПО (рис. 1). Коэффициент корреляции между приведенными характеристиками составил $R=0,62$.

Согласованность усиления индекса инерционности и повышения ТПО над теплыми течениями является следствием вовлечения в вертикальный теплообмен большего объема теплых вод океана и выноса тепла на поверхность. Это подтверждает, что индекс действительно является косвенной характеристикой толщины слоя перемешивания океана. Переменная толщина верхнего слоя перемешивания определяется внутренними колебательными процессами в океане. Одной из возможных причин возмущения вертикального теплообмена в Мировом океане, как оказалось, является изменение скорости осевого вращения Земли (рис. 2). Сравнивались многолетние изменения продолжительности суток и температуры поверхности океана.

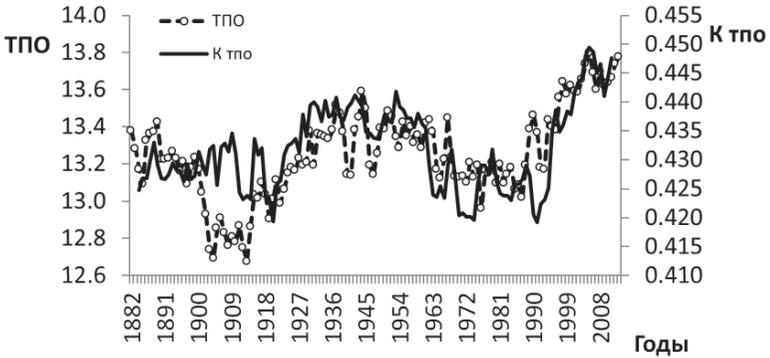


Рис. 1. Индекс инерционности K_{TPO} на поверхности Мирового океана в широтной зоне $30-60^\circ$ с.ш. и среднегодовая ТПО в той же зоне. Значения индекса сглажены по скользящим пятилетиям.

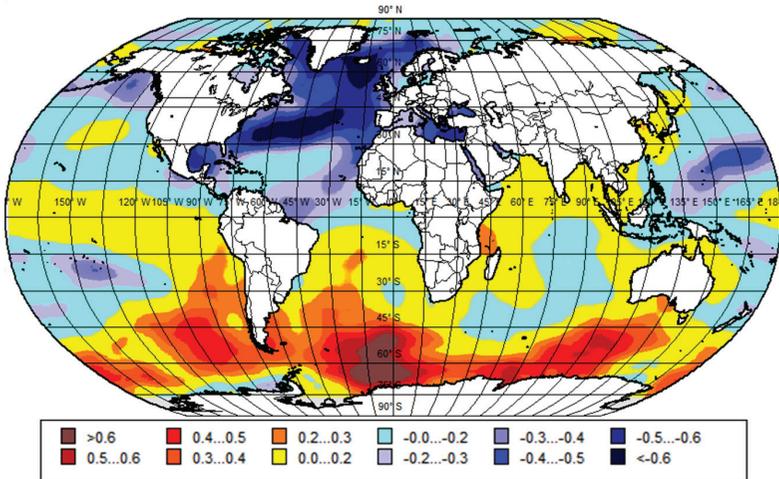


Рис. 2. Коэффициент корреляции между среднегодовой продолжительностью суток и среднегодовой температурой поверхности океана в узлах географической сетки за 1935–2005 годы

Продолжительность суток – это величина, обратная скорости вращения Земли. Из рис. 2 видно, что в Северном полушарии значительная отрицательная корреляция между продолжительностью суток и ТПО наблюдается в области теплых течений Гольфстрим и Северо-Атлантического, а также в области теплого Северо-Тихоокеанского и теплого Пассатного течения в Тихом океане между грядками Мариинских и Гавайских островов. Коэффициенты корреляции – от $-0,4$ до $-0,78$. Показательно, что самые высокие коэффициенты корреляций оказались в районах основных океанических течений. Уменьшение продолжительности суток сопровождается повышением ТПО над теплыми течениями, а увеличение продолжительности суток там же сопровождается понижением ТПО.

В Южном полушарии вдоль всего холодного Антарктического течения наблюдается положительная корреляция от $0,3$ до $0,72$.

Таким образом, обнаружено, что на поверхности океана усиливается или ослабляется проявление температурных признаков основных подповерхностных течений океана в годы ускорения или торможения скорости вращения Земли. Из этого следует, что вертикальная циркуляция и переменная толщина верхнего слоя перемешивания океана связаны с неравномерностью вращения Земли. Но что является причиной, а что следствием? Изменения циркуляции океана и перераспределение массы влияют на скорость вращения Земли, или переменная скорость вращения Земли создает возмущения в вертикальной циркуляции океана? Возможны оба варианта.

В пользу первичности внешнего фактора приводим рис. 3, на котором показаны изменение расстояния от Солнца до Земли в зимний период и изменение зимнего индекса Северо-Атлантического колебания за 1983–2014 годы.

Статистически значимая корреляция (коэффициент корреляции $0,36$) показывает согласованность многолетних колебаний расстояния Солнце–Земля и индекса NAO. Изменение расстояния Солнце–Земля и изменение скорости осевого вращения Земли происходят по общим законам небесной механики, и они связаны между собой. Так как расстояние Солнце–Земля не зависит от атмосферной циркуляции на Земле, то изменения NAO следует признать статистически связанными с внешними воздействиями, и в частности предположительно с неравномерностью вращения



Рис. 3. Расстояние от Солнца до Земли (R) зимой и зимний индекс Северо-Атлантического колебания (NAO) без тренда. Сглаженные значения по трехлетиям

Земли, вызывающей возмущения в океанических течениях и в атмосфере.

Океан является одним из факторов природных колебаний потоков тепла в атмосферу над ним (см. рис. 1). А фактором переноса тепла с океана на континент является атмосферная циркуляция. Аналогичный индекс инерционности $K_{ТВ} = T_{B_2} - T_{B_1}$, вычисленный по данным о температуре воздуха (ТВ) на метеорологических станциях, является показателем переноса на континент свойств воздушных масс, сформировавшихся над океаном. В силу тепловой инерционности океана воздушная масса, сформировавшаяся над ним, медленнее разогревается весной и медленнее остывает осенью. Если воздушная масса сформировалась над океаном и переместилась на континент, то индекс $K_{ТВ}$ в этой массе будет больше аналогичного индекса $K_{ТВ}$ в воздушной массе, сформировавшейся над континентом. Трансформация воздушных масс происходит с некоторой задержкой. Индекс $K_{ТВ}$ является характеристикой интенсивности переноса воздушных масс с океана на континент. На рис. 4 видно, что во второй половине XX века на континенте повышалась ТВ, а индекс $K_{ТВ}$ уменьшался. Коэффициент корреляции между $K_{ТВ}$ и среднегодовой ТВ на суше оказался отрицательным, $R = -0,59$.

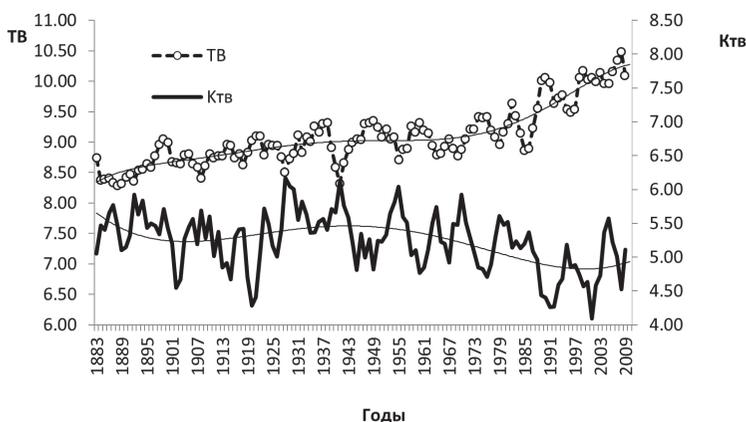


Рис. 4. Индекс $K_{ТВ}$ и среднегодовая ТВ на суше в широтной зоне $30-60^\circ$ с.ш. Трехлетние скользящие средние

С 1970-х годов началось быстрое уменьшение индекса $K_{ТВ}$, это означает ослабление переноса воздушных масс с океана на континент и ослабление демпфирующего действия океана на температурные изменения в континентальной атмосфере. Океан всегда оказывает стабилизирующее действие на любые изменения температуры воздуха. Ослабление его воздействия во второй половине XX века сопровождалось повышением температуры воздуха на континенте. Произошло смещение температурного фона в сторону более континентального климата. В это же время ослабление демпфирования привело к увеличению межгодовых колебаний климата и к более частому появлению на планете экстремальных погодных явлений [18, 19].

Межгодовые колебания ТВ сильно отличаются от колебаний ТПО, так как ТВ и ТПО имеют разные собственные частоты. Искать между ними прямые корреляции не совсем правильно. Изменения в циркуляции океана и атмосферы возбуждают повторяющиеся серии колебаний температуры атмосферы на собственных более коротких частотах. В статистической модели учитывается, что каждое новое воздействие на атмосферу дает начало новой последовательности непериодических колебаний температуры воздуха. Новая серия непериодических колебаний температуры воздуха аналогична предыдущей – эта особенность

дает возможности для прогноза непериодических колебаний климата на период до двух десятилетий. Оценки заблаговременности получения прогностических оценок климата описаны в [7].

По аналогичной схеме и другие внешние по отношению к атмосфере факторы возбуждают повторяющиеся серии колебаний температуры атмосферы на собственных частотах. Пример появления повторяющихся серий колебаний приведен на рис. 5. На нем по годам совмещены изменения аномалий зимнего индекса Северо-Атлантического колебания (NAO) за два последних периода по 32 года. По горизонтальной оси отложены номера лет от 1 до 32 лет. Одна кривая на графике показывает колебания NAO за 1951–1982 гг., а вторая, наложенная на нее, показывает колебания NAO за 1983–2014 годы.

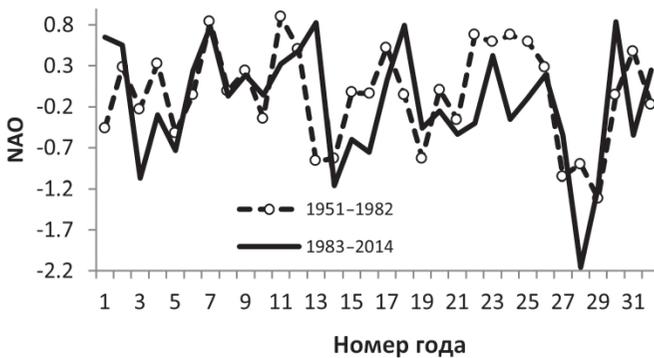


Рис. 5. Изменение NAO в цикле 32 года

На интервале 32 лет последовательность и величина непериодических колебаний в 1983–2014 годах удивительным образом повторяют все колебания, наблюдавшиеся по годам в 1951–1982 годах. Это означает, что NAO содержит ритмы длительностью 32 года. Внутри 32-летнего интервала выделяются серии возмущений, чередующихся через 11, 14 и 8 лет. На рис. 5 – первое возмущение происходило с 3-го года по 14-й, затем второе возмущение – с 14-го по 28-й год и третье – с 28-го по 32-й год с переходом по кругу на 1–4-й годы. Круг замыкается. На эти колебания накладываются более частые вариации. Их тоже не

будем считать случайными, так как они удивительным образом согласованно накладываются на серию аналогичных вариаций, которые были на 32 года раньше.

Не менее удивительно то, что последовательность изменений солнечной активности (Числа Вольфа) на этих двух интервалах лет тоже повторяется (рис. 6). Хотя каждый отдельный солнечный цикл не похож на соседние по длительности, амплитуде и по форме, но серия из трех циклов за 1983–2014 годы повторяет особенности серии других трех циклов за 1951–1982 годы. На рис. 6 внутри 32-летнего интервала видны солнечные циклы с 5-го по 15-й год, с 15-го по 27-й год и с 27-го по 32-й год с переходом на 1–5-й по второму кругу. Циклы чередуются через 10, 12 и 10 лет.

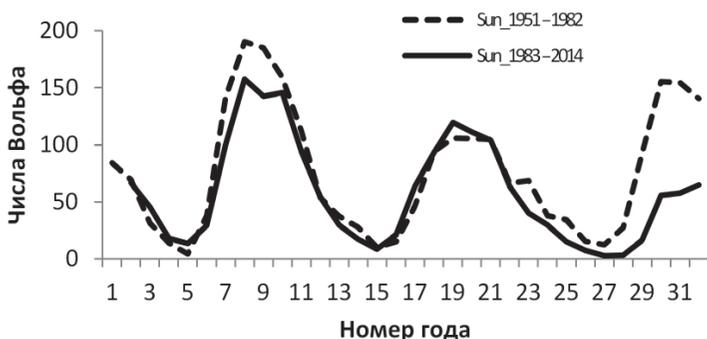


Рис. 6. Изменение Чисел Вольфа в цикле 32 года

Структура колебаний NAO и Чисел Вольфа совершенно различна, но ритмически они согласованы по времени каким-то неведомым физическим механизмом. Это – повод для размышлений на тот случай, когда недостаток знаний поспешно заменяется отрицанием связей.

Подобные ритмические совпадения наблюдаются и по другим внешним факторам, их обзор может быть предметом для специальной статьи. Несмотря на то, что природа таких совпадений не ясна, обнаруженные особенности можно использовать при статистическом моделировании формирования ритмов и производных серий неперIODических колебаний.

На основе резонансных свойств и связей в колебательных системах возникает важный методический вывод для планирования корреляционного анализа. Коэффициент линейной корреляции между двумя временными рядами является мерой сопряженной изменчивости совокупности данных на одинаковых частотах. Для оценки резонансных воздействий на соизмеримых, но неравных частотах коэффициент корреляции неприменим. Практически все характеристики климатической системы и внешних факторов имеют сложный спектр колебаний при наличии резонансов, поэтому отсутствие прямых корреляций между исследуемыми рядами наблюдений не может быть истолковано как отсутствие связей. Нулевой коэффициент корреляции отражает отсутствие связей только на равных частотах колебаний.

Колебания климата и оценка их прогноза по статистической модели

Проблема оценок предстоящих изменений климата обычно решается с помощью ансамбля физико-математических моделей для различных сценариев предстоящего усиления антропогенного парникового эффекта в атмосфере. Так получены оценки ожидаемого глобального потепления до конца XXI века [18, 19, 20]. Но на интервалах два–три десятилетия существенными являются природные колебания климата, которые в упомянутых моделях не воспроизводятся. Так, например, наблюдаемый 60-летний цикл колебаний глобальной температуры воздуха модели не описывают. Из-за этого после 1998 года возникло расхождение модельных и фактических значений глобальной температуры воздуха. С помощью тех же моделей не удалось описать и более короткие межгодовые вариации температуры, за исключением кратковременных понижений температуры после извержений крупных вулканов.

В 2007 году во ВНИИГМИ-МЦД была разработана первая версия статистической модели климата на основе выделения и экстраполяции ритмов, задающих повторяющиеся серии непрерывных возмущений. В модель было заложено выделение не 1 ритма, как в случае с NAO, приведенном выше, а более 10–20 ритмов одновременно, которые согласовывались между собой методом наименьших квадратов на независимой выборке. Экстраполяция серий возмущений от каждого ритма и их

обобщение по уравнению множественной регрессии составляли суть прогноза колебаний климата на два десятилетия.

Наилучшей независимой проверкой точности прогноза изменений климата является сравнение ранее опубликованного прогноза с новыми появившимися данными наблюдений. В начале 2007 года по данным наблюдений до 2006 года были выделены ритмы и построен прогноз изменения температуры воздуха на континентах Северного полушария на 2007–2025 годы. Прогноз был опубликован в монографии автора (доступно на сайте http://meteo.ru/publish_tr/monogr2/) и в автореферате диссертации автора за 2008 год (доступен на сайте Высшей аттестационной комиссии). В монографии от 2008 года было предсказано ожидаемое уже тогда замедление потепления климата в Северном полушарии на интервале до 2025 года и 4–6-летние возмущения температуры на фоне тренда с замедлением. Это противоречило прогнозам многих климатических центров мира, согласно которым глобальное потепление должно было бы только усиливаться [18, 20]. На рис. 7 представлен прогностический график температуры, который был опубликован в 2008 году по данным статистической модели автора. На графике линия тренда показывала ожидаемую паузу в потеплении климата, там же – прогноз погодичных изменений температуры начиная с 2007 года.

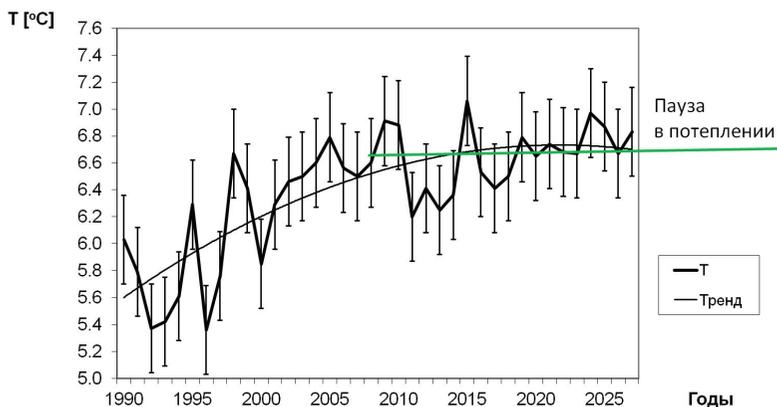


Рис. 7. Среднегодовая температура воздуха Северного полушария по данным наблюдений за 1990–2006 годы и авторский прогноз на период 2007–2025 годов (из публикации 2008 года)

Появившиеся к настоящему времени новые данные наблюдений [21] позволяют проверить упомянутый прогноз. Прогноз температуры сравнивался с данными наблюдений, опубликованными на сайте NASA в январе 2016 года.

В заключении монографии [7] было предсказано, что в изменении климата Северного полушария в 2007–2025 годах будет замедление скорости повышения температуры. Предвычисленный по авторской модели тренд замедления потепления климата полностью оправдался на интервале 2007–2015 гг. Теперь это называется паузой в потеплении климата [22, 23]. Она началась после максимума температуры 1998 года, но признанной эта пауза стала только к 2010 году, через два года после опубликования прогноза автором. Пауза является следствием определенной фазы природных колебаний климата.

Авторский прогноз, представленный на рис. 7, имеет большие преимущества по сравнению с аналогичным прогнозом [18].

В [18] опубликованы были многомодельные средние значения и оцениваемые диапазоны приземного потепления (рис. SPM.5 в [18]) на 2000–2100 годы для разных сценариев накопления углекислого газа в атмосфере и один сценарий – для случая, если концентрация углекислого газа останется на уровне 2000 года. Теперь оказалось, что модельные оценки в [18] со сценарием неизменного количества парниковых газов на уровне 2000 года оказался наиболее близким к фактическим данным наблюдений на интервале до 2015 года. При всех других сценариях ансамбль моделей ошибочно показывал неуклонный рост температуры на этом интервале. Концентрация парниковых газов к 2015 году увеличивалась, но ожидаемого темпа в потеплении климата не случилось.

А по статистической модели [7] оправдались не только опубликованные трендовые значения, но и межгодовые колебания температуры Северного полушария с 2007 по 2015 год.

На рис. 8 показаны опубликованные ранее прогностические и новые фактические значения температуры воздуха Северного полушария. Из рис. 8 видно, что в 2009–2010 и 2015 годах прогнозировалось превышение температуры над трендовыми значениями. В заключении монографии [7] были указаны ожидаемые локальные максимумы отклонения температуры Северного полушария от прогностических трендовых значений.

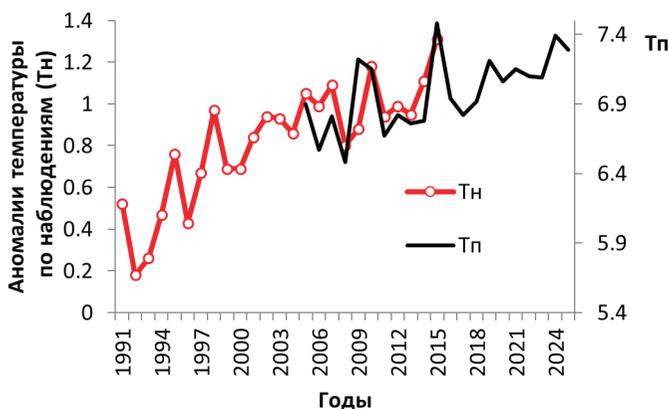


Рис. 8. Сравнение погодичных значений температуры воздуха Северного полушария по прогнозу (Тп) и по данным наблюдений (Тн)

Рис. 8 демонстрирует совпадение основных пиков аномально теплых лет (2010 и 2015 года) по прогнозу и по факту, а также совпадение прохладных лет (2008, 2011–2013 годы) относительно тренда по прогнозу и по факту. 2015 год оказался самым теплым за всю историю наблюдений, но пока нет оснований трактовать это как окончание паузы в потеплении климата. 2010 и 2015 годы оказались теплее других соседних лет на фоне замедления потепления за счет наступления в эти годы фазы максимума 4–6-летних колебаний. Замедление в потеплении глобального климата в начале XXI века – свершившийся факт, а теплый 2015 год является результатом собственных колебаний климата на более высоких частотах, чем колебание, приведшее к замедлению потепления климата.

Хорошее согласие прогностических и фактических значений температуры в результате независимой проверки подтверждает возможность прогнозирования колебаний климата на основе статистической модели ритмов в климатической системе.

Статистическая модель бесшовная, прогноз среднегодовой температуры воздуха по Северному полушарию составляется путем осреднения прогностических значений среднемесячных значений, вычисленных по каждой метеорологической станции отдельно. В перспективе предстоит получить оценки качества прогнозов отдельно по станциям, регионам и сезонам.

Выводы

1. Для построения статистической модели климата предложена рабочая гипотеза, согласно которой климатическая система рассматривается как сложная колебательная система с суперпозицией собственных колебаний, резонансно поддерживаемых воздействиями внешних факторов. Резонансный механизм возмущения собственных колебаний снимает требования соответствия энергии воздействия и энергии производных возмущений, а также снимает требование равенства частот воздействия на климатическую систему и возникающих возмущений в климатической системе. Резонансы могут возникать на любых соизмеримых частотах.

2. Распространенные методы корреляционного анализа при исследованиях климатической системы не позволяют выявлять все связи, возникающие при резонансах между анализируемыми временными рядами. Отсутствие высокой прямой корреляции не является показателем отсутствия связей вообще.

3. Получены новые подтверждения информативности индекса тепловой инерционности океана как косвенного показателя толщины слоя взаимодействия океана с атмосферой, и получены подтверждения для индекса тепловой инерционности атмосферы как показателя переноса воздушных масс с океана на континент.

4. Показано, что долгопериодные колебания температуры поверхности океана связаны с изменениями индекса инерционности (характеристика толщины верхнего слоя перемешивания) и со скоростью осевого вращения Земли. Потоки тепла из океана создают в атмосфере возмущения на ее собственных частотах. Эти частоты не всегда совпадают с частотами колебаний температуры поверхности океана. Возмущения атмосферы над океаном вместе с основным западно-восточным потоком воздушных масс переносятся на континент и выявляются по данным наблюдений на метеорологических станциях как природные колебания климата. Эти колебания температуры воздуха в соответствии с гипотезой заложены в статистическую модель климата.

5. Обнаружены сопряженные, но с разными частотами колебания солнечной активности и атмосферной циркуляции, являющейся переносчиком на континент океанического тепла.

6. Таким образом, были получены новые подтверждения существования ритмической основы в климатической системе, использованной ранее при создании статистической модели

природных колебаний климата. Представления о природе формирования колебаний характеристик климатической системы не имеют количественного подтверждения физических связей, но отражают наблюдаемые закономерности. Первой предварительной проверкой реалистичности закономерностей, заложенных в статистическую модель, являются оценки оправдываемости ранее опубликованного прогноза колебаний климата Северного полушария.

7. Сравнение прогноза, составленного в 2007 году, с данными наблюдений за 2007–2015 годы подтвердили предсказанное ранее замедление потепления климата Северного полушария в начале XXI века, а также подтвердили предсказанные ранее аномально высокие значения температуры воздуха Северного полушария в 2010 и 2015 годах и менее теплые условия в 2008 и 2011–2013 годах. Согласованность прогностических и фактических температур рассматриваются как подтверждение закономерностей формирования природных колебаний климата, заложенных в статистическую модель.

8. Проверка и хорошая согласованность прогностических и фактических значений температуры Северного полушария подтверждают возможность прогнозирования колебаний климата на основе статистической модели ритмов в климатической системе.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Клименко В.В., Мацковский В.В., Дальманн Д. Комплексная реконструкция температуры российской Арктики за последние два тысячелетия // Арктика: экология и экономика № 4 (12). 2013. С. 84–95.
2. Kirby J. Cosmic Rays and Climate, *Surveys in Geophys.* 28, (2007). P. 333–375.
3. Svensmark H., Bondo T. and Svensmark J. Cosmic ray decreases affect atmospheric aerosols and clouds // *Geophysical Research Letters.* 36 (15). 2009. L15101.
4. Чукин В.В. Корреляционные данные о связи между потоком космических лучей и глобальным количеством облаков // *Фундаментальные исследования.* 2007. № 7. С. 78–79.
5. Al-Tateemi M.A., Chukin V.V. Global water cycle and solar activity variations // *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics.* 2016. Vol. 142. P. 55–59.
6. Сывороткин В.Л. Глубинная дегазация Земли и глобальные катастрофы. ООО «Геоинформцентр». Москва, 2002. 250 с.
7. Шерстюков Б.Г. Региональные и сезонные закономерности изменений современного климата. Изд-во ГУ ВНИИГМИ-МЦД. 2008. 246 с.
8. Молчанов А.М. Гипотеза резонансной структуры Солнечной системы // *Пространство и время* № 1(11). 2013. С. 34–48.

9. *Scafetta N.* A shared frequency set between the historical mid-latitude aurora records and the global surface temperature // *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*. V. 74, January 2012. P. 145–163.
10. *Huang Boyin, Livermore Jay, Smith Tom* & National Center for Atmospheric Research Staff (Eds). Last modified 04 Aug 2016. «The Climate Data Guide: SST data: NOAA Extended Reconstruction SSTs, version 3 (ERSSTv3 & 3b).» Retrieved from <https://climatedataguide.ucar.edu/climate-data/sst-data-noaa-extended-reconstruction-ssts-version-3-ersstv3-3b>,
11. *GISS Surface Temperature Analysis (GISTEMP)*. Northern Hemisphere-mean monthly, seasonal, and annual means. http://data.giss.nasa.gov/gistemp/tabledata_v3/NH.Ts.txt
12. *WDC-SILSO*, Royal Observatory of Belgium, Brussels. http://www.sidc.be/silso/DATA/SN_m_tot_V2.0.txt
13. *Excess of the duration of the day to 86400 s and angular velocity of the earth's rotation, since 1623*. http://www.iers.org/nn_10398/IERS/EN/Science/EarthRotation/LODsince1623.html
14. *Астрономический ежегодник (периодическое издание)*. Отв.ред. Н.И. Глебова. http://www.ipa.nw.ru/PAGE/EDITION/RUS/AE/ae_1.htm
15. *North Atlantic Oscillation* <http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/precip/CWlink/pna/norm.nao.monthly.b5001.current.ascii.table>
16. *Шерстюков Б.Г.* Метод прогноза климата на предстоящие два десятилетия на основе экстраполяции ритмов // Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2007. Вып. 173. С. 221–235.
17. *Шерстюков Б.Г.* Тепловая инерция океана и парниковый эффект в современных изменениях климата // *Метеорология и гидрология*. 2006. № 7. С. 66–72.
18. *МГЭИК*, 2007. «Резюме для политиков», в докладе «Изменение климата, 2007 г.: физическая научная основа. Материал Рабочей группы I к Четвертому докладу Межправительственной группы экспертов по изменению климата об оценках» [Соломон, С., Д. Чин, М. Мэннинг, ЧенЖенлинь, М. Маркис, К.Б. Аверит, М. Тигнор и Х.Л. Миллер (ред.)]. 18 с.
19. *IPCC*, 2013: *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. 1535 p.
20. *IPCC*, 2001: *Climate Change 2001: The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Houghton, J.T., Y. Ding, D.J. Griggs, M. Noguer, P.J. van der Linden, X. Dai, K. Maskell, and C.A. Johnson (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. 881 p.
21. *Means Based on Land-Surface Air Temperature Anomalies Only (Meteorological Station Data, dTs)* http://data.giss.nasa.gov/gistemp/tabledata_v3/NH.Ts.txt
22. *Qingxiang Li, Su Yang, Wenhui Xu, Xiaolan L. Wang, Phil Jones, David Parker, Liming Zhou, Yang Feng, and Yun Gao*. China experiencing the recent warming hiatus // *Geophysical Research Letters*. Volume 42, Issue 3. 16 February 2015. P. 889–898.
23. *Tollefson J.* The case of the missing heat. Sixteen years into the mysterious 'global-warming hiatus', scientists are piecing together an explanation \ Nature. V. 505. 2014. P. 277–278.

УДК 551.583.1

О ВОЗМОЖНОМ РЕЗОНАНСНОМ МЕХАНИЗМЕ КОЛЕБАНИЙ КЛИМАТА

Б. Г. Шерстюков

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

Постановка задачи

Колебания климата происходили во все времена и продолжают в настоящее время. Не касаясь антропогенного потепления климата, рассмотрим возможные причины и механизм формирования природных колебаний климата.

К настоящему времени установлено, что длительные атмосферные процессы формируются под действием внешних по отношению к атмосфере источников энергии, главным образом тепловой. Важнейшим компонентом климатической системы является океан, для климата атмосферы он же является важнейшим внешним источником энергии. Переменный теплообмен океан–атмосфера является одним из источников колебаний климата атмосферы. Теплоемкость и тепловая инерционность океана многократно превосходят теплоемкость и инерционность атмосферы, поэтому в системе океан–атмосфера океан является определяющим в поддержании долгопериодных колебаний потоков тепла, которые находят свое отражение в колебаниях климата.

В колебаниях климатической системы известны интенсивные нерегулярные составляющие: глобальные колебания с периодами от недель до месяцев, межгодовые колебания с периодами 2–5 лет, явления Эль-Ниньо, 3,5-летние колебания северной части Гольфстрима и др. [1].

Краткосрочные процессы (до 1–2 недель) развиваются под действием начальных условий – исходного распределения энергии в атмосфере [2, 3]. Обусловленность колебаний климата по аналогии часто тоже описывают начальными условиями во всей климатической системе, полагая, что при неизменных внешних условиях начальное состояние климатической системы полностью определяет ее эволюцию, а колебания определяются исходным

распределением энергии во всех составляющих климатической системы. При такой трактовке допускается, что причина колебаний кроется в самой климатической системе как результат сложных нелинейных взаимодействий между элементами климатической системы.

Необоснованность такого предположения вытекает из сопоставления известных фактов и законов физики. В любой реальной системе существует диссипация энергии колебаний, которая неизбежно приводит к их затуханию. Возникает вопрос: если внешние условия неизменны, если существует диссипация, а пополнения энергии нет, то почему колебания климата существуют и не затухают миллионы лет? Поскольку они действительно не затухают, то необходимо признать климатическую систему открытой, и остается только определить, какие внешние факторы компенсируют диссипацию энергии и поддерживают эти колебания.

Гипотеза о резонансах

Единственным неоспоримым и самым сильным внешним колебательным фактором в климатической системе является годовой ход инсоляции. Ограничивается ли этим открытость системы? Поиски других внешних факторов проводят на основе анализа данных наблюдений и на основе физико-математического моделирования, но в каждом случае, выбирая методы, неосознанно накладывают ограничения на поиск возможных механизмов воздействия внешних факторов на климатическую систему. Практически всегда предметом поиска являются вынужденные колебания климата как реакция на внешние повторяющиеся воздействия. Аксиомой является утверждение о том, что количество энергии каждого импульса внешнего воздействия должно быть не меньше количества энергии последовавшего за ним изменения в климатической системе. На основе данных наблюдений проводят сопоставление изменений во времени состояния климата и показателей, характеризующих предполагаемые источники внешних воздействий на климат. Даже при обнаружении синхронных колебаний характеристик климатической системы и колебаний во внешних факторах их связь отвергается на основе упомянутой аксиомы и энергетического несоответствия воздействия и изменений климата. Требования энергетического соответствия каждого воздействия и последовавшего за ним изменения в климатической

системе справедливы для вынужденных колебаний или для оценки одиночного воздействия на состояние системы, но не для свободных колебаний в колебательной системе. Энергии каждого отдельного воздействия может быть недостаточно для вынужденного изменения состояния климата, но в любой колебательной системе (и в климатической тоже) повторяющиеся внешние импульсы энергии могут сопровождаться резонансами со свободными колебаниями системы. Многократные повторяющиеся даже очень слабые, но резонансные воздействия на систему с периодом ее свободных колебаний могут раскачать систему на ее собственных частотах до колебания с заметной амплитудой. Кроме простого накопления передающейся импульсной внешней энергии в нелинейной колебательной системе резонансы могут вызывать изменения, по своей энергии многократно превосходящие приток энергии от внешнего фактора. В моменты наступления резонанса колебания могут усиливаться за счет высвобождения внутренней энергии системы. Именно такой сложной и нелинейной является климатическая система, резонансы с внешними воздействиями и выделением внутренней энергии в ней возможны. Внешние слабые импульсы энергии могут раскачать климатическую систему на избранных ее собственных частотах в результате многократных резонансных внешних воздействий.

Импульсные воздействия из космоса на Землю имеют широкий спектр частот. В климатической системе тоже широкий набор собственных частот колебаний, поэтому легко предположить, что между ними найдется достаточное количество взаимных резонансных частот.

Импульсные воздействия на Землю возникают из-за неравномерности осевого и орбитального вращения Земли при взаимодействиях с другими планетами и с Луной под воздействием неоднородностей и переменности межпланетного магнитного поля, при изменениях солнечной активности и космических лучей, при высыпаниях в ионосферу заряженных частиц во время магнитных бурь и так далее. Элементы упомянутых воздействий неоднократно подтверждены, но сила этих воздействий невелика [4, 5, 6 и др.]. Механизм импульсных воздействий на колебательную систему принципиально отличается от распространенных представлений о механизме изменения состояния системы под воздействием каждого отдельного импульса.

Напомним, что в колебательной системе колебания могут происходить на ее собственных частотах независимо от частоты внешнего воздействия на нее. Период колебания маятника, подвешенного на нити, зависит только от длины нити и не зависит ни от периода, ни от силы воздействия на него. Такое важнейшее свойство колебательной системы климата должно принципиально изменить все подходы к оценкам факторов колебаний климата как по данным наблюдений, так и при построении математических моделей. Следует учитывать, что резонансы могут возникать не только при соотношении периодов воздействия и отклика 1:1, но и при соизмеримых периодах и их соотношениях, например 1:2, 1:3, 2:3, 3:2 и т. д. То есть для того, чтобы раскачать маятник не обязательно подталкивать его при каждом отклонении, можно это делать через один или через два-три отклонения и т. д.

В настоящей работе выдвигается гипотеза о резонансной природе передачи возмущений из космоса в климатическую систему, с участием которых формируется набор наблюдаемых резонансных собственных частот колебаний характеристик климатической системы, включая колебания климата атмосферы и океана.

При такой гипотезе условие необходимости энергетических соответствий воздействия и отклика на него теряет смысл, а также принципиально должны измениться методы анализа данных наблюдений, интерпретации результатов и методы моделирования изменений (колебаний) климата. Фактически, признание реалистичности резонансной гипотезы должно принципиально изменить все подходы к изучению проблем климата, поэтому выдвинутая гипотеза требует убедительных доказательств с привлечением специалистов как в области анализа данных наблюдений, так и в области физико-математического описания колебаний в климатической системе. В настоящей статье рассматривается лишь один пример возможного проявления резонансного воздействия внешнего фактора на климатическую систему.

Резонансы в Солнечной системе

Изложенная гипотеза возникла не на пустом месте. Вся Солнечная система построена на резонансах и является свидетельством того, как слабые силы проявляются в гигантских масштабах и определяют устройство этого мира. В движениях планет Солнечной системы обнаружены строгие закономерности,

описываемые законами движения Кеплера. Эти закономерности движений планет и спутников объясняются взаимодействиями по закону всемирного тяготения. Однако наклоны плоскостей орбит и их эксцентриситеты могли бы быть любыми. Закон всемирного тяготения не накладывает ограничений ни на размеры орбит, ни на направление обращения планет вокруг Солнца. Но в Солнечной системе орбиты всех планет почти круговые, лежат почти в одной плоскости, близкой к плоскости солнечного экватора. Обращаются планеты вокруг Солнца все в одну сторону, совпадающую с направлением собственного вращения Солнца, а средние расстояния планет от Солнца подчиняются общему закону. Девять больших планет от Меркурия до Плутона и многие их спутники имеют периоды обращения, связанные между собой резонансными соотношениями, строение их орбит задается соотношением целых чисел. Например, частота обращения Юпитера и частота обращения Сатурна вокруг Солнца относятся как 5:2 с небольшим отличием. Ближайшие друг к другу планеты или спутники планет находятся в резонансах друг с другом, отклонение истинных частот от резонансных не превосходит 1,5 %. Существуют резонансные соотношения между периодом обращения по орбите и периодом вращения планеты вокруг оси.

Теоретические основы резонансов в многочастотных нелинейных колебательных системах описаны А. М. Молчановым в 1966 году [7], а гипотеза о резонансной структуре Солнечной системы была предложена им в качестве наглядного примера.

Независимо от своей природы нелинейные колебательные системы в ходе динамической эволюции проявляют тенденцию выходить на особый синхронный режим движения. Совокупность изолированных друг от друга объектов, совершающих колебания с различными частотами, при наложении иногда даже очень слабых связей переходят в такой режим движения, при котором частоты объектов становятся равными, кратными или находящимися в рациональных отношениях. Такие частоты называют соизмеримыми. В процессе синхронизации помимо соизмеримости частот устанавливаются также определенные фазовые соотношения между колебаниями. По мнению А. М. Молчанова [7, 6], при изучении эволюции нелинейных колебательных систем следует принимать во внимание всегда существующие в реальных условиях слабые силы взаимодействия. Эти силы направлены на

погашение взаимодействующих колебаний, которые случайны по отношению друг к другу. Но эти же силы приводят к резонансному усилению колебаний, находящихся между собой в рациональных соотношениях. Силы взаимодействий могут быть больше или меньше, от этого зависит скорость выхода системы в стационарный резонансный режим.

Способность сложных колебательных систем к самосогласованию – это результат естественной оптимизации системы по минимуму затрат энергии. Резонансное самосогласование является фундаментальной закономерностью эволюции и устройства современной Солнечной системы [7]. Конечное стационарное состояние Системы, достигаемое к концу эволюции, обязательно должно быть резонансным. Эволюционно зрелые колебательные системы неизбежно резонансны, а их строение задано, подобно квантовым системам, набором целых чисел.

В реальном времени диссипативными силами взаимодействий можно пренебречь, они исчезающе малы, но в эволюционном масштабе времени накапливающиеся эффекты малых сил становятся определяющими.

Резонансы и биения в климатической системе

По аналогии с Солнечной системой можно предположить, что в результате слабых внешних циклических воздействий на оболочки Земли (океан и атмосферу) и длительной резонансной эволюции динамических процессов в них в климатической системе установились колебания на собственных частотах, которые не только соответствуют строению системы, но и находятся в резонансных соотношениях с циклическими внешними воздействиями. Логически предположение основано на том, что наиболее эффективный отклик колебательной системы на периодические внешние воздействия должен наблюдаться на тех собственных частотах системы, которые совпадают с частотами периодических внешних воздействий или находятся с ними в резонансных соотношениях. Слабость внешних сил воздействия компенсируется длительным временем резонансной раскачки. Резонансное согласование усиливает колебания каждого компонента климатической системы на избранных его собственных частотах. Колебания в системе на других возможных частотах ничем не поддерживаются и поэтому не наблюдаются. Инерционность динамических

процессов в глубинах океана позволяет сохранить там колебания длительное время, а многолетние явления на поверхности океана являются отражением глубинных процессов. Атмосфера не обладает такой инерционностью, поэтому колебания в ней либо вынужденные, либо собственные, генерируемые колебаниями потоков тепла из океана.

Согласование внешних и собственных частот обязательно выводит колебательную климатическую систему на оптимальный резонансный уровень. Вопрос заключается в том, какое время является достаточным для резонансного согласования каждой составляющей климатической системы и в какой мере согласованности она находится в наше время. Для Солнечной системы эволюционный масштаб времени составляет миллиарды лет [6]. Для климатической системы эволюционный масштаб времени должен быть значительно меньше, учитывая более тесные внешние и внутренние связи. Судя по тому, что в атмосфере существуют ритмы [8], самосогласование в климатической системе в некоторой мере произошло.

Энергии многократных импульсов внешних воздействий может оказаться недостаточно для возникновения простого резонанса, но достаточно для возникновения стохастического резонанса [9, 10]. В работе [9] при исследовании периодичности наступления ледниковых периодов было обнаружено усиление слабого периодического сигнала при наложении шума. Такое явление возможно в нелинейных колебательных системах. Климатическая система обладает свойствами странного аттрактора и может находиться в нескольких квазистабильных состояниях, в каждом из которых все колебания ее параметров находятся в некоторых пределах. Под действием внешнего возмущения система сможет перейти из одного состояния в другое, если воздействие окажется достаточным. При этом изменятся пределы колебаний параметров системы и ее статистические свойства. Если такое внешнее воздействие периодическое, то система также будет периодически переходить из одного состояния в другое. Если внешнее воздействие хаотическое и достаточное по своей силе, то в этом случае переходы системы из одного состояния в другое будут тоже хаотическими. Если воздействие будет недостаточным по своей силе, подпороговым, то в этом случае оно не будет вызывать отклика системы.

Но в природе одновременно могут существовать слабые (подпороговые) периодические и слабые хаотические воздействия. Подпороговое периодическое возмущение и подпороговый шум каждый отдельно не могут перевести систему в другое состояние, но подпороговый шум подводит систему к критическому состоянию, а дополнительные периодические подпороговые воздействия в сумме с хаотическими возмущениями переводят систему в другое состояние. В результате в отклике системы проявляется периодичность, определяемая слабым периодическим воздействием. Доводы в пользу существования стохастического резонанса приведены в работе [9].

Стохастический резонанс возможен только в нелинейной системе, иначе отклик системы на суммарное воздействие будет только суммой откликов и не приведет к усилению эффекта. Климатическая система является именно такой сложной нелинейной системой, многие колебания в которой являются шумом в статистическом смысле (в физическом смысле в природе не бывает ничего случайного, бывают неизученные закономерности). Подпороговые квазипериодические внешние воздействия тоже имеются. Есть основания предполагать возможность существования квазипериодических возмущений в климатической системе, поддерживаемых внешними факторами по принципу простого или стохастического резонанса.

Итак, гипотеза: в колебаниях климата присутствуют составляющие, которые являются следствием резонансов в климатической системе на ее собственных частотах с повторяющимися космическими воздействиями.

Слабые циклические воздействия космоса на климатическую систему раскачали в климатической системе (в океане и др.) такие колебания на ее собственных частотах, которые имеют резонансные соотношения с циклами космоса. Среди широкого спектра собственных частот собственных и вынужденных колебаний климатической системы присутствуют колебания на близких частотах, сопровождающиеся биениями. Неточное соответствие частот внешних воздействий и собственных частот климатической системы также должны приводить к биениям в колебаниях климата. Частота биений ω_b определяется как

$$\omega_b = \omega_1 - \omega_2,$$

где ω_1 – частота внешнего воздействия; ω_2 – собственная частота климатической системы или наоборот.

В течение года существенно изменяются региональные физические характеристики климатической системы (плотность, вязкость, теплоемкость жидкой и газообразной оболочек), которые влияют на усиление или ослабление колебаний на тех или иных частотах и даже влияют на изменение самих этих частот. Поэтому дополнительным условием для резонанса является соизмеримость собственных частот с частотой смены сезонов.

По отношению к периоду годового хода инсоляции резонансными будут колебания с периодами, у которых наблюдается одно из соотношений:

$$T = nt_i \quad \text{или} \quad T = \frac{t_i}{n}, \quad (1)$$

где T – период орбитального оборота Земли, равный одному году, t_i – период колебания на собственной частоте, n – целое число.

Колебания с годовым периодом могут резонансно раскачивать долгопериодные колебания с периодами, кратными одному году, или короткопериодные колебания, целое число раз укладывающиеся в интервал одного года.

Рассмотрим второе. Колебания метеорологических величин внутри года, соизмеримые с его длительностью, должны проявляться в виде аномалий ежегодно в одни и те же календарные даты. Факты существования таких аномалий известны под названием календарные особенности метеорологических величин [11] – это если в определенные даты года появляются аномалии метеовеличин одного знака более часто, чем в другие соседние даты [12, 13].

Резонансы и биения по данным наблюдений

Рассмотрим календарные особенности температуры поверхности океана (ТПО). По данным о ТПО в узлах географической сетки через 2° по широте и долготе [14] вычислены средние в широтной зоне $45-70^\circ$ с.ш. и в зоне $45-70^\circ$ ю.ш. месячные годовичные значения ТПО.

Начнем с Северного полушария. Для изучения внутригодовых колебаний получен ряд отклонений среднемесячных значений ТПО от среднегодовых значений за каждый год: $D_{i,j} = \theta_{i,j} - Q_i$, где $\theta_{i,j}$ – текущее значение ТПО в месяце j за год i ; Q_i – среднегодовое

значение ТПО за год i ; $D_{i,j}$ – отклонения среднемесячных значений ТПО от среднегодовых. Так из ряда исключены колебания с периодами более одного года.

При этом полученный ряд отклонений $D_{i,j}$ еще содержит сильный годовой ход ТПО как результат сезонных различий количества поглощенной солнечной радиации. По значениям $D_{i,j}$ за 1884–2014 годы получены средние значения d_j отклонений ТПО

за каждый месяц: $d_j = \frac{\sum D_{i,j}}{n}$, где n – число лет. И затем получены аномалии ТПО для каждого отдельного месяца: $A_{i,j} = D_{i,j} - d_j$. Таким образом, годовой цикл, связанный с сезонными изменениями инсоляции, был исключен.

По значениям $A_{i,j}$ была построена диаграмма многолетних аномалий ТПО в широтной зоне $45-70^\circ$ Северного полушария без долгопериодных колебаний (рис. 1). На рис. 1 по горизонтальной оси отложены годы, а по вертикальной – месяцы с номерами от 1 до 12, и далее под номерами 13–24 показаны аномалии за январь–декабрь следующего года. Шкала вертикальной оси на графике от 1 до 24 месяцев необходима для наглядного представления изменений ТПО при переходе от декабря к январю следующего года.

По значениям $A_{i,j}$ была построена диаграмма многолетних аномалий ТПО в широтной зоне $45-70^\circ$ Северного полушария без долгопериодных колебаний (рис. 1). На рис. 1 по горизонтальной оси отложены годы, а по вертикальной – месяцы с номерами от 1 до 12, и далее под номерами 13–24 показаны аномалии за январь–декабрь следующего года. Шкала вертикальной оси на графике от 1 до 24 месяцев необходима для наглядного представления изменений ТПО при переходе от декабря к январю следующего года.

Диаграмма (рис. 1) позволяет проследить за местоположением аномалией ТПО одного знака в разные годы. Длительное время в разные годы аномалии часто появлялись в одни и те же месяцы года. Начинается диаграмма в 1880-х годах с положительной аномалией зимой (месяцы с номерами 1 и 13), и далее до 1930-х годов положительная аномалия на диаграмме прерывисто и многократно появляется в зимние месяцы. В последующие годы

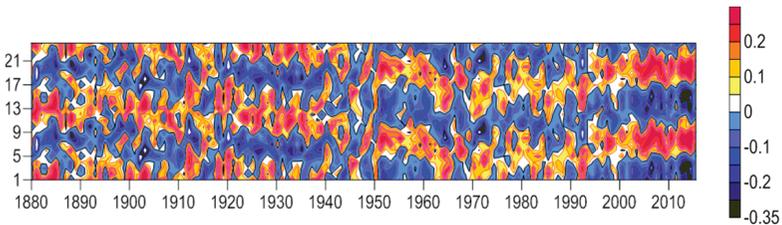


Рис. 1. Аномалии годового хода температуры поверхности океана в широтной зоне $45-70^\circ$ Северного полушария

появление положительных аномалий более часто происходит в осенние месяцы, затем переходит на летние месяцы и так далее.

На рис. 2 показаны значения аномалий температуры, сглаженные по оси «годы» по семилетиям. Сглаживание проводилось по одноименным месяцам соседних лет. Желто-красными цветами показаны интервалы времени внутри года (месяцы), в которых аномалии ТПО были положительными, а голубыми и синими цветами показаны интервалы (месяцы) с отрицательными аномалиями ТПО.

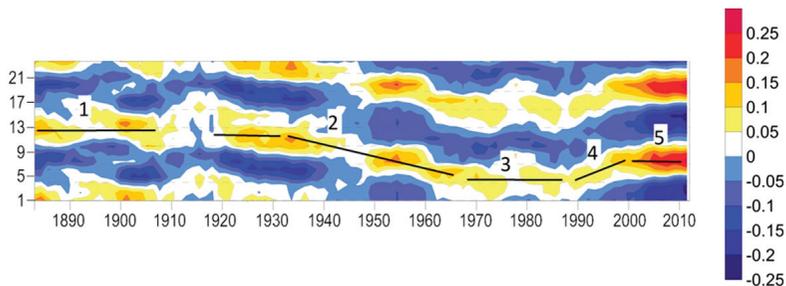


Рис. 2. Аномалии годового хода температуры поверхности океана в широтной зоне 45–70° Северного полушария. По горизонтальной оси значения сглажены по семилетиям.

По рис. 2 видно более четко, что как положительные, так и отрицательные аномалии длительное время (годы и десятилетия) появляются в определенных узких сезонных интервалах. Эти аномалии формируют календарные особенности изменения ТПО в течение года. Календарные особенности сохраняются с 1885 года до середины 1930-х годов, затем в течение следующих трех десятилетий аномалии одного знака медленно смещаются в сторону начала года, далее на два десятилетия опять календарные особенности стабилизируются. В последующие годы были опять смещение и последующая стабилизация календарных особенностей.

По данным о ТПО в широтной зоне 45–70° Южного полушария была построена аналогичная диаграмма аномалий ТПО (рис. 3).

Рис. 3 показывает, что в Южном полушарии наблюдались устойчивости и смещения аномалий ТПО, аналогичные тем, которые были отмечены в аномалиях Северного полушария. Несмотря

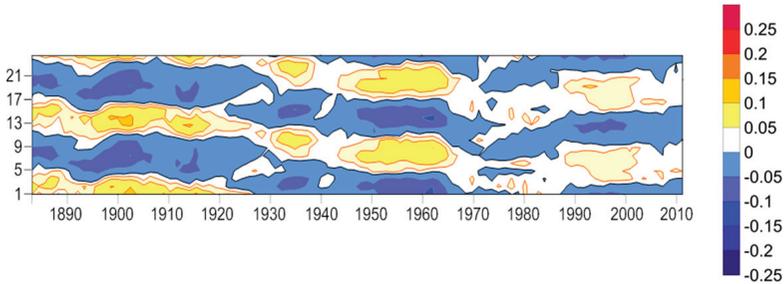


Рис. 3. Аномалии годового хода температуры поверхности мирового океана в широтной зоне 45–70° Южного полушария

на известное зеркальное отражение годового хода поглощенной солнечной радиации в Северном и в Южном полушариях, аномалии ТПО на рис. 2 и 3 одного знака наблюдались одновременно в двух полушариях.

Столь длительное существование колебаний, которые много лет проявляются в виде сезонных аномалий ТПО в одни и те же месяцы в Северном и в Южном полушариях, а также их согласованные медленные смещения по сезонам внутри года являются доказательством существования некоторого глобального механизма, поддерживающего колебания в климатической системе многие десятки лет на частоте, соизмеримой с длительностью одного года, но не связанного с сезонными изменениями склонения Солнца над горизонтом.

Глобальный синхронный эффект некоторого неизвестного воздействия на Мировой океан в Северном и Южном полушариях вынуждает строить предположения о его космическом происхождении.

На рис. 2 условно показаны траектории смещения аномалий ТПО на диаграмме от сезона к сезону и выделено пять отрезков лет с характерными сезонными положениями аномалий. Цифрой 1 обозначен отрезок лет, на интервале которого календарные особенности примерно сохранялись в одном сезоне с 1884 по 1935 год. Стабильность положения аномалий в одном и том же сезоне возможна, если все эти годы почти каждый год по месяцам повторялись однотипные состояния ТПО (период повторения сезонной аномалии равен одному году). Цифрой 2 (рис. 2) отмечен интервал лет 1935–1965 г., в котором, судя по рисунку, за

указанный интервал лет аномалии медленно смещались на более ранние месяцы. Это означает, что период повторения аномалий ТПО в указанные годы был короче длительности года и каждый последующий год аномалия появлялась несколько раньше, чем в предыдущем году. Смещение на диаграмме положительной аномалии с декабря 1935 г. на май в 1965 г. означает, что смещение на 7 месяцев произошло за 30 лет, а за год смещение составляло в среднем около 9,6 сут. То есть период повторения аномалий в эти годы был короче одного года и составил около 355 суток.

Аналогичным образом дополнительно для проверки можно проследить смещение отрицательных аномалий. Заметное смещение по сезонам отрицательной аномалии началось в 1945 году. За интервал с 1945 по 1970 год смещение на диаграмме (рис. 2) отрицательных аномалий произошло с мая на ноябрь. То есть за 25 лет смещение произошло на 8 месяцев. Это составляет 9,8 сут за год. То есть период появления отрицательных аномалий составил тоже около 355 суток на интервале лет, который на рис. 2 отмечен цифрой 2.

Цифрой 3 на рис. 2 показан интервал относительной устойчивости положения аномалий одного знака в одном сезоне. В 1990 г. началось смещение аномалий на поздние месяцы. Цифрой 4 показано смещение положительных аномалий с апреля 1990 г. по август 1997 г. В это время период появления аномалий был больше года на 17 сут и составил 382 суток. Начиная с 1998 г. положительные аномалии ТПО установились в конце лета (цифра 5 на рис. 2).

Полученные значения периодов повторения месячных аномалий ТПО не случайны. Из публикаций известна длительность года по лунному календарю, которая бывает 355 или 382 суток [15]. Это так называемый лунно-солнечный год. Лунно-солнечный год – это интервал времени, содержащий целое число лунных месяцев и максимально близкий к солнечному году. По сведениям Н. С. Сидоренкова [16] со ссылкой на Дуванина [17] большая часть лунно-солнечных лет имеет продолжительность 355 сут, реже лунно-солнечный год завершается через 382 суток. Земля делает полный оборот вокруг Солнца за 365,24 сут, увлекая Луну за собой, но Луна имеет собственное движение вокруг Земли в том же направлении с периодом 27,32 суток. За год она успевает сделать 13 оборотов (за 355,16 сут) и на 13-м обороте завершает

свою годовую траектории на $\sim 9,84$ сут раньше, чем Земля пройдет весь путь вокруг Солнца. Следующий свой оборот вокруг Земли Луна завершит на 382,48 сутки.

Периоды 355 и 382 сут, полученные из анализа диаграммы аномалий ТПО на рис. 2, точно соответствуют периодам лунно-солнечных лет, поэтому дальнейшие исследования проводились на предмет проверки причастности Луны к формированию устойчивых сезонных аномалий ТПО Мирового океана.

В работе [14] ранее было высказано предположение о наличии источника аномалий погоды, связанного с месячным обращением Земли вокруг барицентра системы Земля–Луна. Завершение тринадцати лунных оборотов происходит раньше завершения года, и поэтому с каждым годом происходит смещение всех закономерностей лунных воздействий на более ранние месяцы солнечного года со скоростью 9,84 сут в год.

Вращение Земли и Луны вокруг их барицентра совершается с периодом 27,32 суток. В месячных значениях ТПО, которые анализируются в работе, возмущения с таким периодом должны автоматически сглаживаться до полного их уничтожения. Поэтому очевидно, что аномалии ТПО, заметные на рис. 2 и 3, не могут быть простым следствием возмущений, связанных только с вращением Земли и Луны вокруг их барицентра с периодом 27,32 суток. Но обнаруженное на диаграмме смещение на $9,6 \div 9,8$ сут в год, совпадающее со свойствами лунного периода 27,32 сут, повторно приводит к гипотезе о причастности Луны к формированию аномалий ТПО, показанных на рис. 2 и 3.

Длительное сохранение аномалий ТПО в узком сезонном интервале при участии лунного цикла все же возможно, например, в результате биений лунных возмущений ТПО с периодом 27,32 сут и собственных колебаний, присущих климатической системе, с периодом, близким к $T_1 = 27,32$ сут и целым числом раз, укладывающимся в интервал одного года. Таким периодом может быть $T_2 = 28,095$ сут ($365,24/13 = 28,095$ сут). По резонансной гипотезе цикл с такой собственной частотой может резонансно поддерживаться в климатической системе лунными возмущениями с периодом 27,32 суток. А небольшие различия в периодах вынужденных колебаний с $T_1 = 27,32$ сут и собственных колебаний с периодом T_2 обеспечат биения в амплитуде результирующих

колебаний в фиксированных сезонных интервалах и календарные особенности ТПО.

Период биений T_{σ} при этом составит

$$\frac{1}{T_{\sigma}} = \frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2}.$$

Подставим значения:

$$\frac{1}{T_{\sigma}} = \frac{1}{27,32} - \frac{1}{28,095} = \frac{1}{990,39} \quad \text{или} \quad T_{\sigma} = 990,095 \text{ сут} = 2,7123 \text{ лет.}$$

Полученные оценки показывают, что если календарные особенности в метеорологических характеристиках формируются так, как в предложенной выше гипотезе, то появляться в разные годы в одном и том же месяце они должны не каждый год, а через $T_{\kappa} = nT_{\sigma}$ лет (n – целое число), nT_{σ} – количество лет, близкое к целому числу. Например: при $n = 1$ $T_{\kappa} = 2,7 \approx 3$ года; при $n = 3$ $T_{\kappa} = 8,14 \approx 8$ лет; при $n = 4$ $T_{\kappa} = 10,84 \approx 11$ лет. Такое нечеткое постоянство соответствует сведениям о календарных особенностях, которые известны из наблюдений за ними.

Экспериментальная проверка гипотезы о причастности Луны к формированию календарных особенностей ТПО

Рабочая гипотеза заключается в том, что известные лунные приливы находят отклик в климатической системе, наиболее заметный во время максимальной фазы биений от колебаний приливообразующей силы Луны с периодом 27,32 сут и колебаний ТПО на ее собственной частоте около 28,095 суток. Строилась экспериментальная статистическая модель нелинейного воздействия лунных приливов на собственные колебания ТПО с близким периодом, в которой высвобождение скрытой энергии океана под воздействием лунных приливов описывалось производением приливообразующей силы и некоторой периодической функции с периодом собственных колебаний климатической системы $T \approx 28,095$.

Результирующее колебание описывалось функцией f :

$$f = k \cdot d \cdot \text{Cos}\left(\frac{2\pi i}{T}\right),$$

где d – вычисленная по астрономическим характеристикам приливообразующая сила по Н. С. Сидоренкову [15], $T \approx 28,095$ – модельный период собственных колебаний; i – номер текущего дня

начиная с 1 января 1900 года, k – масштабный множитель $k = 10$ для приведения чисел к масштабу реальных аномалий ТПО. На рис. 4 показана диаграмма изменения модельных аномалий f по месяцам за 1900–2014 годы.

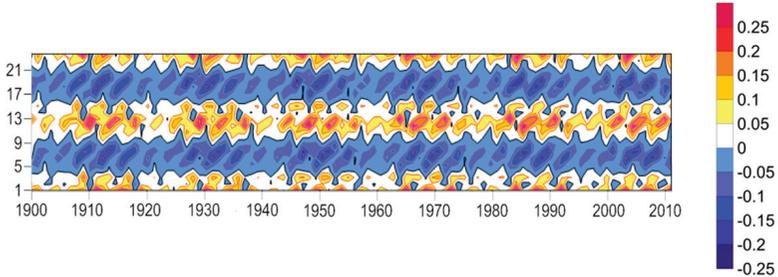


Рис. 4. Модель биений лунно-солнечных приливов и предполагаемых колебаний ТПО на собственных частотах с периодом 28,095 суток

Из рис. 4 видно, что два периодических процесса на близких частотах дают биения колебаний, синхронизированные с годовым периодом. Календарные особенности модельных возмущений получились устойчивые на всем интервале лет. От диаграммы фактических аномалий ТПО (рис. 2) модельная диаграмма (рис. 4) отличается отсутствием медленных перемещений аномалий с одного сезона на другой.

Термодинамические характеристики верхнего слоя океана (температура, соленость, плотность, толщина слоя взаимодействия с атмосферой и т. д.) с течением лет изменяются. Поэтому частоты собственных колебаний не могут быть неизменными при многолетних изменениях. Отличия периода собственных колебаний T от значения 28,095 неизбежно должны приводить к смещению внутри года максимальной фазы биений, т. е. должны приводить к смещению календарных особенностей аномалий ТПО. Проследим на модели результат изменения периода T . Подстраивая задаваемый период T предполагаемых собственных колебаний ТПО, можно добиться перемещения модельных аномалий по диаграмме. Важно оценить величину T , необходимую для моделирования наблюдаемого смещения аномалий ТПО на рис. 2. На рис. 2 выделено 7 участков временной шкалы лет с разными скоростями смещения сезонных аномалий. По величине

смещений аномалий ТПО на рис. 2 были определены периоды собственных колебаний, которые в результате биений могли бы дать смещающиеся аномалии. В таблице показаны найденные периоды предполагаемых собственных колебаний ТПО.

Т а б л и ц а

**Модельные периоды (в сутках) колебаний ТПО
на собственных частотах по интервалам лет**

Годы	1900–1937	1938–1975	1976–1985	1986–2002	2003–2014
Периоды (в сутках)	28,096	28,05	28,099	28,14	28,096

Различия в периодах составили не более 0,3 %. В модель, представленную функцией по интервалам лет, подставлялись соответствующие периоды из таблицы, и далее строилась диаграмма сезонно-временных изменений модельных аномалий ТПО.

Подобие наблюдаемых календарных особенностей ТПО (рис. 2) и модельных (рис. 5) показывает, что многолетнее повторение аномалий ТПО в пределах одного сезона или медленные перемещения аномалий от одного сезона к другому можно описать моделью биений собственных колебаний ТПО и колебаний, вызванных изменениями склонения Луны при их синхронизации с полным оборотом Земли вокруг Солнца. Наблюдаемые смещения календарных особенностей происходят при изменениях частоты собственных колебаний ТПО не более чем на 0,3 %.

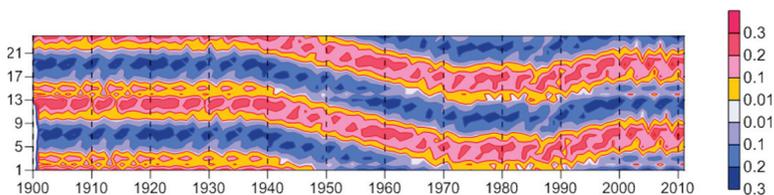


Рис. 5. Модель календарных особенностей сезонных возмущений ТПО на основе биений колебаний приливообразующей силы Луны по Н. С. Сидоренкову и колебаний ТПО на собственной частоте около 28,095 суток

Заключение

Согласие модельных результатов по сезонным аномалиям ТПО и данных наблюдений является подтверждением возможного резонансного воздействия повторяющихся внешних воздействий на климатическую систему. Учитывая важность подобного заключения, необходимы дополнительные исследования возможной резонансной природы возникновения и поддержания колебаний в климатической системе, известных как естественные (природные) колебания климата.

Если гипотеза о резонансной природе колебаний в климатической системе верна, тогда картину наблюдаемых колебаний климата можно представить в общих чертах.

Смена сезонов, сферичность Земли и неоднородность ее поверхности (океан во всей его толще, суша, горы) создают практически непрерывный спектр собственных частот климатической системы. А циклические изменения внешних условий – неравномерность движения Земли по орбите, воздействия Луны и планет, солнечной активности и неизвестных факторов – создают условия для возникновения резонансов с колебаниями в климатической системе на ее избранных собственных частотах. Нечеткое совпадение частот воздействия и собственных частот климатической системы сопровождается биениями с выделением внутренней энергии системы, превосходящей энергию воздействия. Высвобождение внутренней энергии на каждой фазе максимума биений на практике выглядит в данных наблюдений как увеличение амплитуды некоторой климатической характеристики. Последовательность таких аномалий при анализе данных наблюдений теряет признаки биений. Малейшие изменения собственных частот приводят к изменениям периода биений, а в данных наблюдений появляются нерегулярные колебания неизвестной природы. Без знания физической основы формирования этих колебаний нельзя построить статистическую модель этих колебаний и тем более физико-математическую.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Монин А.С. Введение в теорию климата. Гидрометеониздат, 1982. 243 с.
2. Лоренц Э.Н. Природа и теория общей циркуляции атмосферы. Л.: Гидрометеониздат, 1970. 259 с.

3. *Марчук, Г.И.* Численное решение задач динамики атмосферы и океана. Л.: Гидрометеониздат, 1974. 308 с.
4. *Елисеев А.В., Мохов И.И.* Влияние вземных факторов на климат: возможные механизмы воздействия и результаты моделирования // *Фундаментальная и прикладная климатология*. 2015. № 1. С. 119–132.
5. *Мохов И.И., Смирнов Д.А., Карпенко А.А.* Оценки связи изменений глобальной приповерхностной температуры с разными естественными и антропогенными факторами на основе данных наблюдений // *Доклады Академии наук*. 2012. Т. 443. № 2. С. 225–231.
6. *Гудовкин М.И., Козелов В.П., Лазутин Л.Л., Трошичев А.А., Чертков А.А.* Физические основы прогнозирования магнитосферных возмущений. Ответственный редактор С. И. Исаев // *Наука*. 1977. 317 с.
7. *Молчанов А.М.* Гипотеза резонансной структуры Солнечной системы // *Пространство и время*. 1(11).2013. С. 34–48. <http://cyberleninka.ru/article/n/gipoteza-rezonansnoy-struktury-solnechnoy-sistemy.pdf>.
8. *Шерстюков Б.Г.* Региональные и сезонные закономерности изменений современного климата (монография). Изд-во ГУ ВНИИГМИ-МЦД, 2008. 246 с. http://meteo.ru/publish_tr/monogr2/monogr2.htm
9. *Roberto Benzi, Alfonso Sutura and Angelo Vulpiani.* The mechanism of stochastic resonance // *Journal of Physics A: Mathematical and General*. 14 (1981) L453–L457.
10. *Анищенко В.С., Нейман А.Б., Мосс Ф., Шиманский-Гайер Л.* Стохастический резонанс как индуцированный шумом эффект увеличения степени порядка // *Успехи физических наук*. 1999. Т. 169. № 1. С. 7–38.
11. *Российский гидрометеорологический энциклопедический словарь*. Том II. Под ред. А.И. Бедрицкого. Составитель К.Ш. Хайруллин. Летний сад. Санкт-Петербург. 2009. 309 с.
12. *Байдал М.Х., Серебрякова А.А.* Климатические особенности волн холода в Казахстане в холодное время года // *Тр.КазНИГМИ*. 1955. Вып. 5. С. 37–43.
13. *Вительс Л.А.* Календарные особенности в колебании интенсивности исландских и североатлантических циклонов // *Известия АН СССР, серия геофизическая*. № 4. 1952.
14. *Huang Boyin, Livermore Jay, Smith Tom & National Center for Atmospheric Research Staff (Eds).* Last modified 04 Aug 2016. «The Climate Data Guide: SST data: NOAA Extended Reconstruction SSTs, version 3 (ERSSTv3 & 3b).» Retrieved from <https://climatedataguide.ucar.edu/climate-data/sst-data-noaa-extended-reconstruction-ssts-version-3-ersstv3-3b>.
15. *Сидоренков Н.С., Сумерова К.А.* Причины аномально жаркого лета 2010 г. на Европейской территории России // *Труды Гидрометцентра России*. 2011. Вып. 346. С. 191–205.
16. *Сидоренков Н.С.* Физика неустойчивостей вращения Земли. Физматлит. Москва. 2002. 380 с.
17. *Дуванин А.И.* Приливный год и системы времени // *Океанология*. 1999. Т. 39. № 6. С. 843–848.

УДК 551.521.11:551.583.1

НЕКОТОРЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ СТАТИСТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА ДАННЫХ О ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ СОЛНЕЧНОГО СИЯНИЯ НА ТЕРРИТОРИИ РОССИИ

Л. К. Клещенко

*ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский институт
геометеорологической информации – Мировой центр данных»
lkk.obninsk@yandex.ru*

Введение

Продолжительностью солнечного сияния называется время, в течение которого прямые солнечные лучи освещают земную поверхность. Продолжительность солнечного сияния – важная характеристика погоды и климата, изменяющаяся в зависимости от географической широты и времени года (вслед за изменением длительности светового дня) и от условий циркуляции атмосферы, с которыми связана смена воздушных масс, а вместе с ней облачности и прозрачности атмосферы. Продолжительность солнечного сияния является метеорологическим параметром, дополняющим данные актинометрических наблюдений за солнечной радиацией, которые нужны для научного ведения сельского хозяйства, в строительстве, гелиотехнических разработках, курортологии и др.

Общие сведения о сезонных особенностях распределения продолжительности солнечного сияния по территории РФ можно найти в Интернете (<https://geographyofrussia.com>, раздел «Природа России\Климат»). Однако научные исследования, посвященные анализу продолжительности солнечного сияния, не многочисленны и носят они, как правило, региональный характер [1, 2]. В фундаментальной монографии по климату России [3] продолжительность солнечного сияния представлена всего одной картой, показывающей среднее многолетнее распределение ее годовых сумм. Представляется, что солнечное сияние, являющееся одним из важных климатообразующих факторов, заслуживает большего внимания и нуждается в постоянном и всестороннем изучении. Примером может служить мониторинг продолжительности солнечного сияния (наряду с температурой воздуха, осадками и другими метеорологическими параметрами) на территории Европы,

осуществляемый Региональным климатическим центром WMO RA VI RCC (<http://rcccm.dwd.de>) в виде бюллетеней, выпускаемых на регулярной основе для месяцев, сезонов и года в целом [4].

У нас в стране, в ГГО им. А.И. Воейкова, осуществляется регулярный мониторинг за солнечной радиацией по данным наблюдений на актинометрических станциях. Результаты анализа публикуются в ежегодных Докладах Росгидромета РФ [5]. Помещаются данные об особенностях радиационного режима (приходящей на земную поверхность прямой и суммарной радиации) за год и по сезонам: поля локальных значений и их региональные обобщения. Для характеристики климатических изменений приводятся временные ряды для средних годовых и сезонных аномалий, осредненных по всей территории России и по территории избранных физико-географических регионов. Однако сеть актинометрических станций, пригодных для мониторинга, довольно редкая (около 90 станций), и поле оценок может отражать лишь крупномасштабные особенности наблюдаемых многолетних изменений (при условии репрезентативности сети станций) [6]. По этой причине весьма актуальной, по мнению авторов, является необходимость использования дополнительной информации, в той или иной степени подтверждающей выявленные региональные особенности. Представляется, что в этих целях в первую очередь могут быть полезны данные о продолжительности солнечного сияния.

Целью настоящей работы является анализ данных о продолжительности солнечного сияния на сети станций РФ, включенных в созданный в ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД» архив: получение оценок основных статистических характеристик продолжительности солнечного сияния, в том числе параметров линейного тренда, анализ их географического распределения и сезонных особенностей.

Исходные данные и методика расчета

Созданный в ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД» на технических носителях архив суммарной за месяц продолжительности солнечного сияния содержит данные на станциях с 1891 года. Всего архив включает данные по 1194 станциям. Количество станций, расположенных на территории РФ, составляет 893, данные 411 станций представлены на сайте ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД»

(<http://meteo.ru>). Как видно на рис. 1, число станций в архиве возрастало до конца 80-х годов 20-го столетия, затем начало уменьшаться и стабилизировалось с начала XXI века.

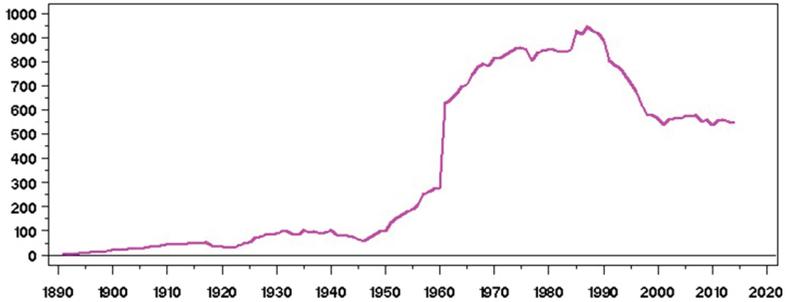


Рис. 1. Количество метеорологических станций в архиве суммарной за месяц продолжительности солнечного сияния на территории РФ в период 1891–2014 гг.

На основе месячных данных были рассчитаны сезонные и годовые значения продолжительности солнечного сияния за период 1961–2015 гг., которые и стали объектом настоящего исследования. В связи с наличием пропусков данных число станций, участвовавших в расчетах, составило 578. Расположение их показано на рис. 2.

Предварительный анализ данных для построения карт средних многолетних значений (получивших название «норм») суммарной за месяц продолжительности солнечного сияния на территории РФ за 1981–2010 гг. показал, что для всех месяцев года 30-летние ряды за этот период имеются только на 85 станциях, тогда как 20-летние – на 478 станциях. Поэтому было принято решение – для построения карт норм использовать станции, имеющие в период 1981–2010 гг. не менее 20 лет. Чтобы увеличить число анализируемых станций, для каждого месяца формировался свой список станций. В результате число используемых для расчетов станций в разные месяцы составило от 572 до 580. Всего в расчете норм использовались данные 584 станций, причем на 64 из них данные начинаются после 1984 г., а на 16 станциях заканчиваются до 2005 года.

В отличие от других статистических характеристик (стандартные отклонения и экстремумы), средние многолетние

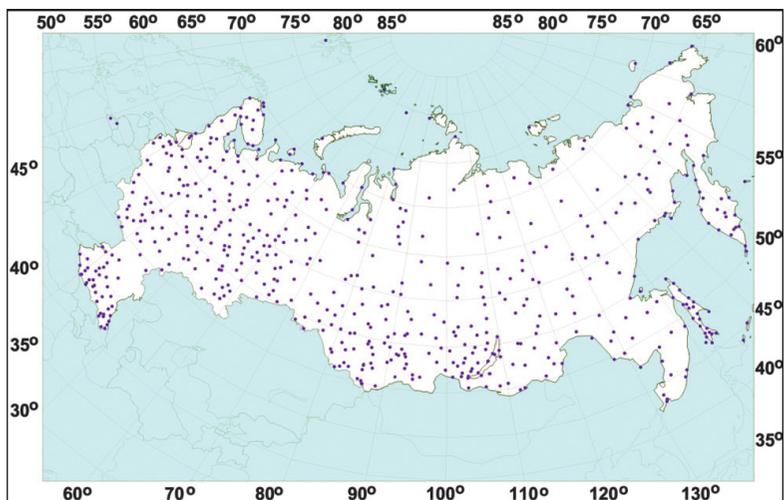


Рис. 2. Метеорологические станции, данные которых использовались в расчетах статистических характеристик сезонной/годовой продолжительности солнечного сияния

значения (нормы) суммарной за сезон продолжительности солнечного сияния получены по нормам месячных сумм для периода 1981–2010 гг. (а не по массиву многолетних рядов сезонных сумм). При этом норма за сезон рассчитывалась на станции при наличии норм для всех трех месяцев календарного сезона, а норма для года – при наличии норм для всех двенадцати месяцев. В результате число станций при построении сезонных карт составило 566–570, годовой карты – 557.

Статистические характеристики сезонных сумм продолжительности солнечного сияния

Средние многолетние значения суммарной за сезон продолжительности солнечного сияния на территории РФ за период 1981–2010 гг. представлены на рис. 3. Как видно на рисунке, в зимний сезон распределение средней многолетней продолжительности солнечного сияния носит зональный характер. Средняя продолжительность возрастает с севера на юг от значений менее 100 часов до значений более 500 часов, которые наблюдаются в Забайкалье, Амурской области и Приморском крае.

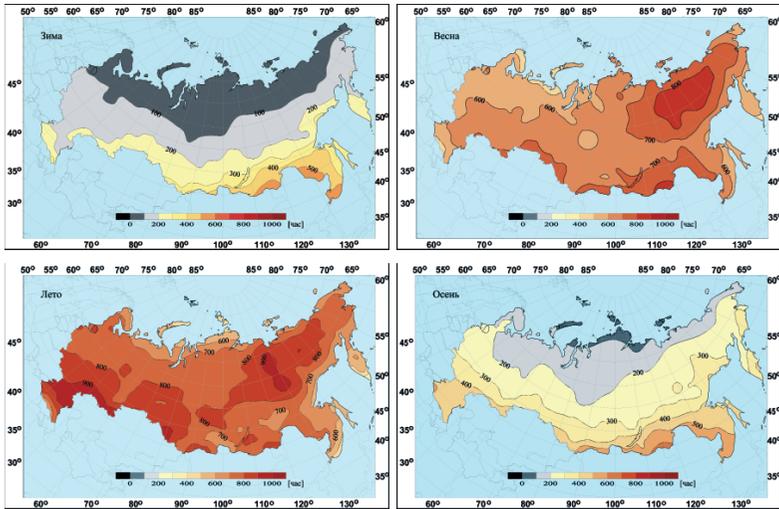


Рис. 3. Средние многолетние значения суммарной за сезон продолжительности солнечного сияния на территории РФ, 1981–2010 гг.

От зимы к весне на всей территории страны происходит увеличение продолжительности солнечного сияния, наиболее существенное в северо-восточной части азиатского материка. В результате на востоке Якутии севернее 55° с.ш. формируется очаг со значениями средней продолжительности солнечного сияния более 800 часов. Такие же значения отмечаются на юге Забайкальского края. От весны к лету на большей части страны средняя продолжительность солнечного сияния продолжает увеличиваться, в наибольшей степени это наблюдается на европейской части России (ЕЧР). В летний сезон почти на всей территории страны (исключение составляют прибрежные районы) средняя продолжительность солнечного сияния составляет более 700 часов. Очаг наибольших значений (более 900 часов) по-прежнему отмечается в Якутии. Таких же значений достигает средняя продолжительность солнечного сияния на юге ЕЧР и в Алтайском крае. В то же время в прибрежных районах Арктики и Тихого океана, а также на юге Восточной Сибири продолжительность солнечного сияния начинает уменьшаться, и в отдельных местах это уменьшение достигает 200 часов.

В осенний сезон практически на всей территории РФ происходит сокращение продолжительности солнечного сияния (исключение составляют незначительные территории на юге Приморского края и Камчатки). При этом наблюдается возвращение к зональному характеру ее распределения, аналогичному зимнему сезону, но уровень значений на большей части страны на 100–200 часов выше по сравнению с зимой. На юге ЕЧР средняя продолжительность солнечного сияния в осенний сезон составляет более 400 часов, а на юге азиатской части России (АЧР) более 500 часов (в Забайкальском крае достигает более 600 часов).

Различные факторы (прежде всего циркуляция атмосферы и связанная с ней облачность) оказывают влияние на продолжительность солнечного сияния, уменьшая ее значения по сравнению с максимально возможной продолжительностью, которая была бы в данной местности при постоянно безоблачном небе. Максимально возможная (астрономическая) продолжительность солнечного сияния равна продолжительности дня в данный период года и определяется по астрономическим формулам. Ее значения для каждого месяца имеются на метеорологических станциях и включены в состав параметров описания архива, используемого в настоящей работе.

На основе месячных значений рассчитаны максимально возможные сезонные значения и соответственно отношения реальной продолжительности солнечного сияния к максимально возможной, так называемая относительная продолжительность солнечного сияния, которая выражается в процентах. Она представлена на рис. 4 и демонстрирует суммарное влияние совокупности всех факторов на продолжительность солнечного сияния. Хорошо видны сезонные особенности этого влияния. В осенне-зимний период реальная продолжительность солнечного сияния на значительной территории РФ составляет менее 30 % от максимально возможных значений и только на крайнем юге азиатской части страны достигает 60 %. В весенне-летний период практически на всей территории страны, за исключением некоторых районов, отношение средней многолетней суммарной за сезон продолжительности солнечного сияния к максимально возможной составляет более 40 %. При этом в весенний сезон максимальные значения этого отношения (более 60 %) наблюдаются в дальневосточном регионе, а в летний сезон – на юге Европейской территории России.

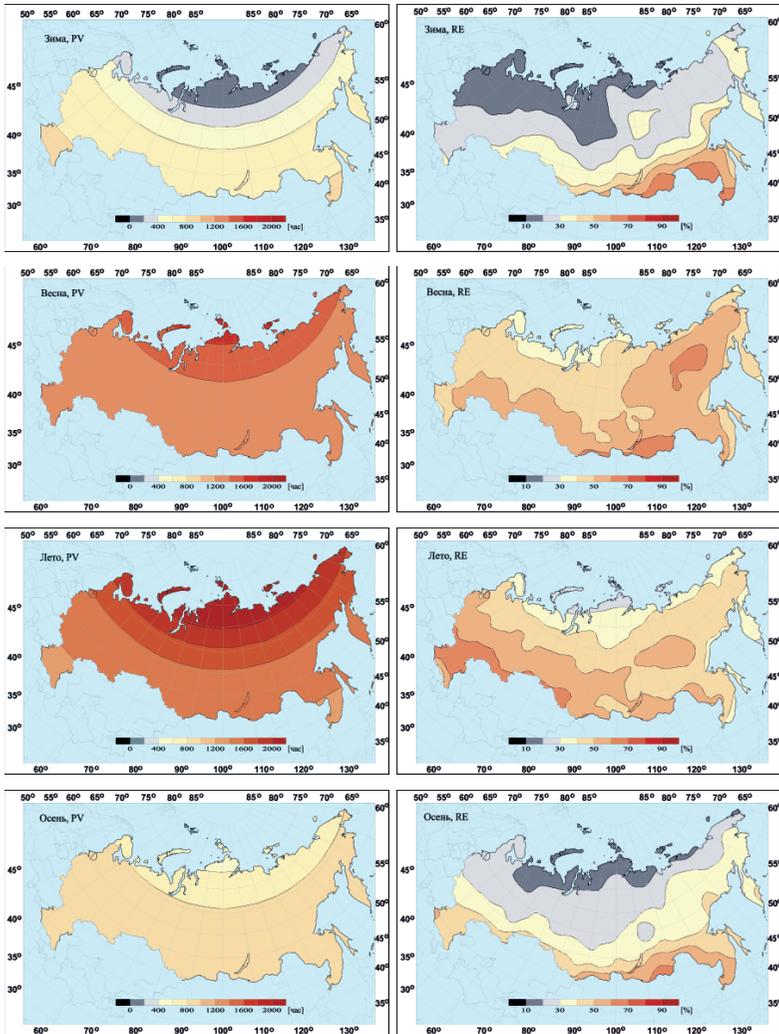


Рис. 4. Максимально возможная суммарная за сезон продолжительность солнечного сияния на территории РФ (PV, слева) и отношение средней многолетней (1981–2010 гг.) к максимально возможной (RE, справа)

В отдельные годы вследствие изменчивости циркуляционных процессов и связанных с ними условий облачности могут наблюдаться значительные отклонения продолжительности солнечного сияния от средних многолетних значений. На рис. 5 представлены оценки стандартного отклонения сезонной продолжительности солнечного сияния, характеризующего ее многолетнюю изменчивость. Наименьшая изменчивость суммарной за сезон продолжительности солнечного сияния наблюдается зимой – ее значения составляют менее 20 часов на севере и более 40 часов на юге (на отдельных станциях более 60 часов). В весенне-летний период большая изменчивость характерна для северных территорий. Весной максимальные значения стандартного отклонения отмечаются на севере Камчатского края (более 140 часов), летом – на северо-западе Красноярского края (более 150 часов). Его наименьшие значения на некоторых станциях в оба сезона составляют всего около 35 часов. Наиболее однородным является распределение стандартного отклонения для осени – на большей части территории РФ изменчивость сезонных сумм составляет в этот сезон всего 40–60 часов.

Рис. 6 и 7 дают представление об экстремальных значениях суммарной за сезон продолжительности солнечного сияния.

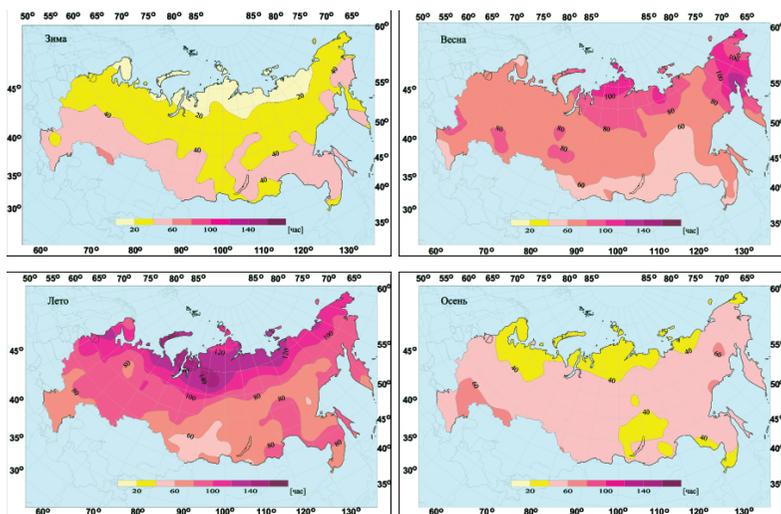


Рис. 5. Стандартные отклонения суммарной за сезон продолжительности солнечного сияния на территории РФ, 1981–2010 гг.

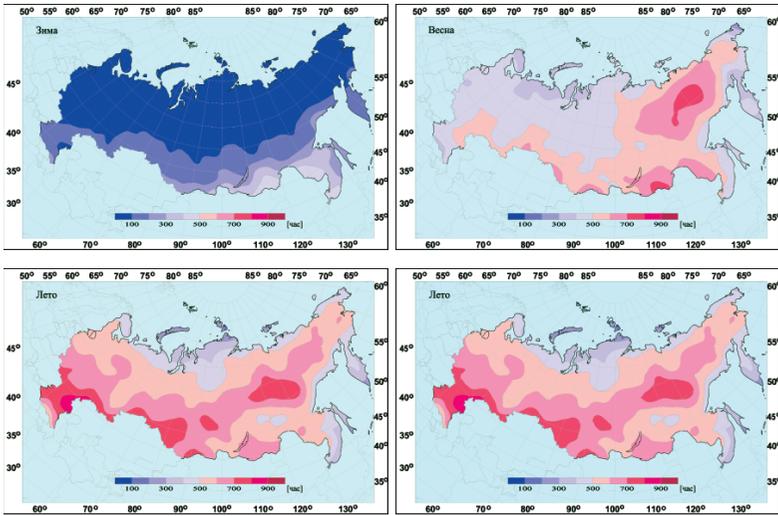


Рис. 6. Минимальные значения суммарной за сезон продолжительности солнечного сияния на территории РФ, 1981–2010 гг.

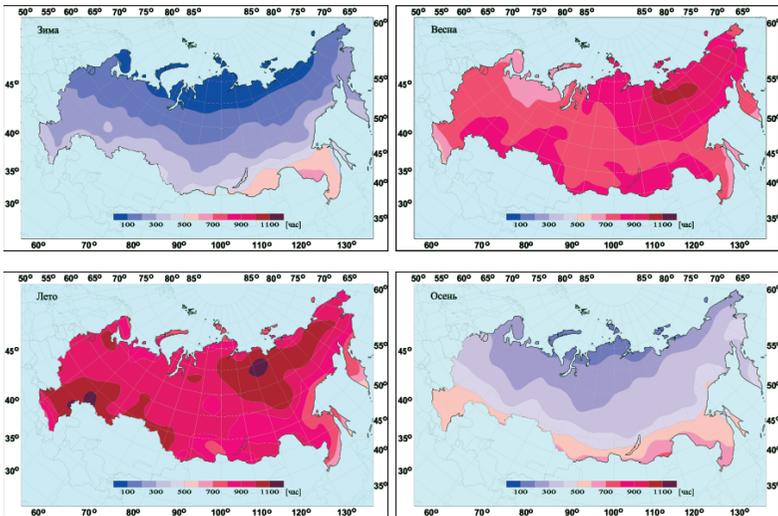


Рис. 7. Максимальные значения суммарной за сезон продолжительности солнечного сияния на территории РФ, 1981–2010 гг.

Распределение экстремумов имеет в основном зональный характер, однако обращают внимание и некоторые сезонные особенности. Так, в распределении весенних минимумов хорошо прослеживается влияние западного переноса, распространяющееся на территорию ЕЧР и Западной Сибири, а также влияние Тихого океана на прибрежные районы азиатского материка. Летние минимумы также формируются под влиянием морей Северного Ледовитого океана на севере и морей Тихого океана на востоке страны.

Экстремальные значения рассматриваемых полей статистических характеристик сезонной продолжительности солнечного сияния для каждого из сезонов и года в целом показаны в табл. 1.

Таблица 1

Экстремумы полей статистических характеристик суммарной за сезон продолжительности солнечного сияния на территории России (часы), 1981–2010 гг.

Сезон	E		S		Min		Max	
	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max
Зима	0	561	0	75	0	502	0	635
Весна	320	902	35	146	199	789	436	1103
Лето	224	983	36	168	116	864	341	1159
Осень	38	657	21	74	7	573	100	736
Год	968	2879	78	233	530	2695	1198	3102

Примечание. E – среднее значение, S – стандартное отклонение, Min – минимальное значение, Max – максимальное значение.

Оценки многолетних изменений сезонных сумм продолжительности солнечного сияния

Приведенные выше оценки статистических параметров сезонных полей продолжительности солнечного сияния характеризуют период 1981–2010 гг. В качестве одной из оценок климатических изменений могут служить довольно часто используемые в исследованиях разности норм. В настоящей работе были рассчитаны разности *de* средних многолетних значений на станциях для периодов 1961–1990 гг. (*e1*) и 1981–2010 гг. (*e2*): $de = e2 - e1$.

Обобщением полученных оценок является табл. 2, в которой для каждого из четырех сезонов (и года в целом) приведена повторяемость станций по градациям разностей *de*. Согласно проведенным расчетам, в зимний сезон повторяемость станций с уменьшением и увеличением продолжительности солнечного сияния различается не очень существенно (несколько преобладают отрицательные разности), тогда как весной и летом заметно преобладают станции,

где продолжительность солнечного сияния возросла, а в осенний сезон – уменьшилась. Если рассматривать годовые суммы продолжительности солнечного сияния, то несколько преобладают станции с увеличением продолжительности солнечного сияния.

Дополнительно в целях выявления преобладающих тенденций в многолетних изменениях продолжительности солнечного сияния получены оценки линейного тренда: углового коэффициента тренда, характеризующего среднюю скорость изменений рассматриваемой величины на заданном отрезке времени (он выражен в часах за десятилетие), и вклада тренда в суммарную дисперсию ряда (выражен в процентах). Тренд рассчитывался методом наименьших квадратов за периоды 1961–2015, 1976–2015 (1976 год – начало периода современного потепления) и 1986–2015 гг.

Таблица 2

**Изменение средней многолетней сезонной продолжительности
солнечного сияния (нормы) при переходе от периода 1961–1990 гг.
к периоду 1981–2010 гг. – повторяемость по градациям
(процент от числа станций)**

Границы градаций (часы)		Зима	Весна	Лето	Осень	Год
Нижняя	Верхняя					
<-180						0,2
-179	-160					0,5
-159	-140					0,5
-139	-120					0,7
-119	-100			0,2		2,8
-99	-80		0,2			3,8
-79	-60	0,7	0,2	1,6		3,5
-59	-40	1,2	1,9	3,0	1,4	7,1
-39	-20	10,2	9,4	9,4	9,7	9,6
-19	0	42,1	23,5	22,8	51,0	16,7
1	20	37,2	36,9	37,2	34,2	14,4
21	40	8,3	22,6	12,3	3,5	11,4
41	60	0,2	4,4	4,6		13,4
61	80		0,9	1,9		6,6
81	100					2,8
101	120					3,8
121	140					1,8
>140					0,3	
Число станций		411	434	435	431	397
Σ-		54,2	35,2	37,0	62,2	45,5
Σ+		45,8	64,8	63,0	37,8	54,5

Географическое распределение разностей норм для каждого из сезонов можно увидеть на рис. 8. Оно носит довольно пестрый характер, который меняется от сезона к сезону. Пространственное распределение областей с положительным и отрицательным трендом за период 1961–2015 гг. в главных чертах повторяет распределение приведенных выше разностей норм на территории РФ, и поэтому здесь не приводится. К тому же проведенный в [7] анализ особенностей многолетних изменений приходящей солнечной радиации в период 1961–2012 гг. показал нецелесообразность использования линейной модели для всего рассматриваемого интервала в связи с наличием явно выраженного минимума вблизи середины этого периода.

Оценки для двух других периодов (1976–2015 и 1986–2015 гг.) имеют различия, которые свидетельствуют о неустойчивости современных региональных климатических тенденций. Для представления в настоящей работе выбраны оценки для периода 1986–2015 гг., характеризующие тенденции последнего тридцатилетия (рис. 9). Как видно на рис. 9, в период 1986–2015 гг. в зимний сезон на территории РФ наблюдалось увеличение продолжительности солнечного сияния, при этом в отдельных районах

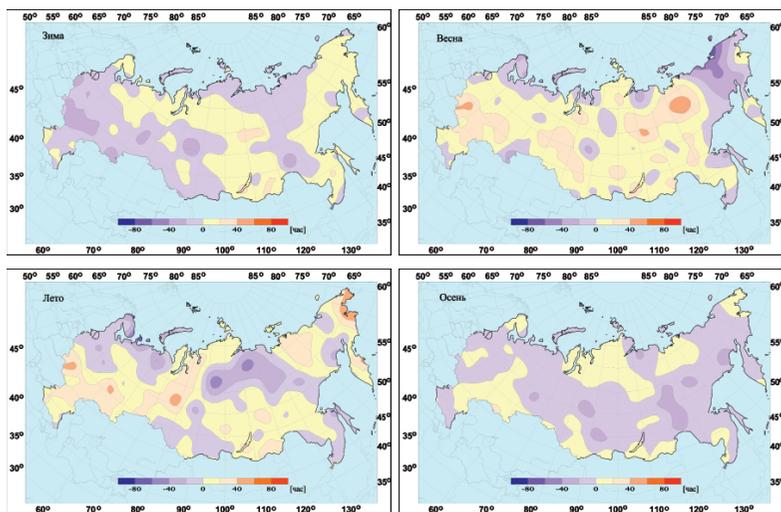


Рис. 8. Разность норм 1981–2010 и 1961–1990 гг. суммарной за сезон продолжительности солнечного сияния на территории РФ

скорость положительного тренда (b) достигала более $+40$ ч/10 лет. Вклад тренда в дисперсию ряда (D) на большей части страны составлял более 10 %, местами – до 40 %.

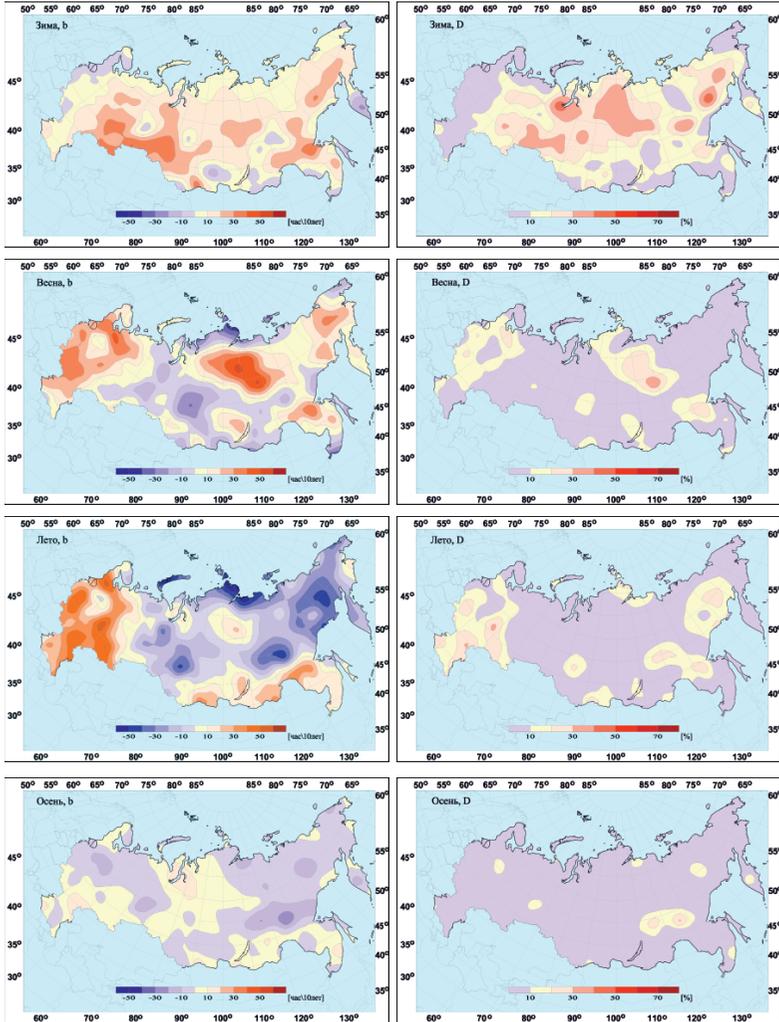


Рис. 9. Оценки параметров линейного тренда суммарной за сезон продолжительности солнечного сияния на территории РФ за период 1986–2015 гг.: угловый коэффициент b (слева) и вклад линейного тренда в полную дисперсию ряда D (справа)

В весенний сезон произошло усиление положительного тренда на Европейской территории России и в Средней Сибири (b – более +40 ч/10 лет, D – до 15 %), а также формирование областей с отрицательным трендом на севере и юге Западной Сибири. Однако на большей части страны вклад тренда обоих знаков в дисперсию ряда составлял менее 10 %. В летний сезон положительный тренд в ЕЧР сохранился, а в Средней Сибири он существенно уменьшился. Преобладающей тенденцией для азиатской части страны становится уменьшение продолжительности солнечного сияния – в очагах экстремальных значений b составляет более -50 ч/10 лет (D – до 15 %). В осенний сезон интенсивность тренда обоих знаков существенно уменьшилась, при этом произошла смена знака тренда: на значительной части Европейской территории страны положительного на отрицательный, а в Западной Сибири, напротив – отрицательного на положительный. Однако повсеместно вклад тренда в дисперсию ряда в этот сезон составляет менее 10 %, исключение – юг Якутии, где на небольшой территории вклад отрицательного тренда достигает 15 %.

Статистический анализ суммарной за год продолжительности солнечного сияния

На рисунке 10 показано распределение основных статистических характеристик суммарной за год продолжительности солнечного сияния. Как видно из рисунка, максимумы средних многолетних значений годовых сумм наблюдаются в южных районах страны. В ЕЧР они составляют более 2200 часов, а в АЧР, в Забайкальском крае, превышают 2800 часов. Здесь же отмечаются максимальные значения годовых сумм – они составляют более 3100 часов, а также максимумы минимальных значений годовых сумм (более 2500 часов). Наибольшей изменчивостью годовых сумм характеризуются в ЕЧР южные районы, а в АЧР – северные. Среднеквадратическое отклонение суммарной за год продолжительности солнечного сияния (s) в областях экстремумов составляет более 200 часов. Наиболее устойчивым (значения среднеквадратического отклонения минимальны) является световой режим в Иркутской области и на севере Хабаровского края – s составляет в этих регионах менее 100 часов.

На рис. 11 приведены оценки, характеризующие многолетние изменения суммарной за год продолжительности солнечного сияния.

Как разности норм для периодов 1961–1990 и 1981–2010 гг., так и оценки линейного тренда за период 1961–2015 гг., показывают, что, несмотря на пятнистость оценок, преобладающей тенденцией на территории РФ в этот период являлось увеличение продолжительности солнечного сияния. Однако если в ЕЧР эта тенденция являлась господствующей, то в АЧР наблюдаются довольно обширные области с отрицательным трендом (экстремумы b достигают в них более -40 ч/10 лет).

Если рассматривать оценки тренда для последнего тридцатилетия, являющегося периодом потепления климата, то обращает внимание усиление положительной тенденции в многолетних изменениях годовых сумм продолжительности солнечного сияния. Наиболее ярко выражен положительный тренд в ЕЧР (b составляет более $+100$ ч/10 лет, D местами превышает 40%), а также в северной части Красноярского края. Вместе с тем в АЧР наблюдаются и очаги с отрицательным трендом – в Западной Сибири и на юге Якутии (b составляет более -100 ч/10 лет), а также на северо-востоке Якутии, в Магаданской области, Хабаровском крае,

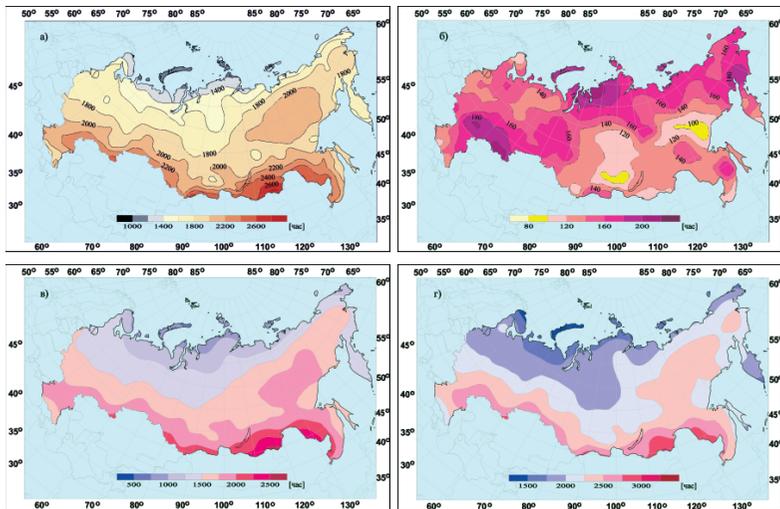


Рис. 10. Статистические характеристики суммарной за год продолжительности солнечного сияния на территории РФ, 1981–2010 гг.:

a – средние многолетние значения, b – стандартные отклонения, v – минимальные значения, z – максимальные значения

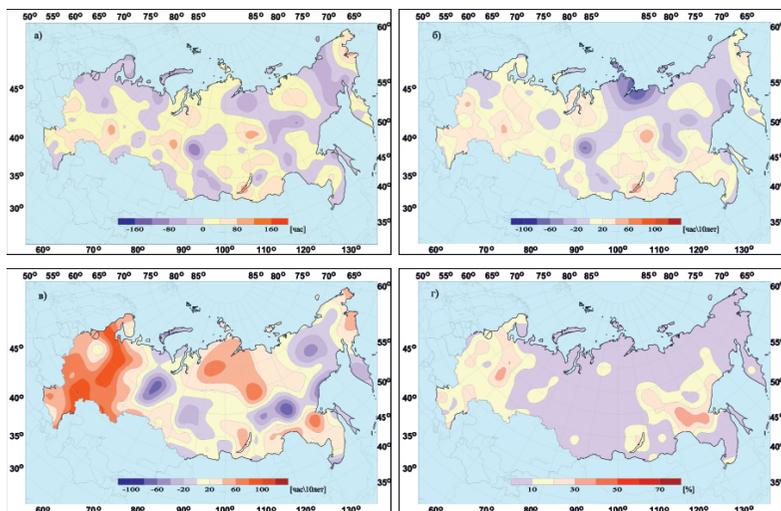


Рис. 11. Оценки многолетних изменений суммарной за год продолжительности солнечного сияния на территории РФ: а – разность норм 1961–1990 и 1981–2010 гг., б – угловой коэффициент линейного тренда за период 1961–2015 гг., в – угловой коэффициент линейного тренда и г – его вклад в полную дисперсию ряда за период 1986–2015 гг.

на Камчатке. Однако большей частью этот тренд не является существенным – его вклад в дисперсию ряда составляет менее 10 %.

Следует отметить, что выявленные тенденции в многолетних изменениях суммарной за год продолжительности солнечного сияния на территории России соответствуют основным выводам, полученным при анализе изменений прямой солнечной радиации [5]. Одной из причин наблюдающихся изменений в поступлении солнечной радиации авторы считают изменения в мутности атмосферы [6]. Однако ввиду различия сезонных и региональных оценок тренда необходим анализ влияния и других факторов, в частности крупномасштабной циркуляции атмосферы.

Заключение

Выполненное исследование является первым опытом массовой обработки созданного в ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД» на технических носителях архива месячных сумм продолжительности

солнечного сияния. Проведенные расчеты позволили представить общую картину географического распределения оценок статистических характеристик суммарной за сезон (год) продолжительности солнечного сияния на территории РФ за период 1981–2010 гг. Полученные оценки статистик могут использоваться в качестве справочного материала.

Рассчитанные оценки параметров линейного тренда для рядов сезонных и годовых сумм продолжительности солнечного сияния на станциях РФ позволили выявить основные тенденции их изменений в период 1961–2015 гг. При различии сезонных и региональных оценок преобладающей тенденцией последнего тридцатилетия (1986–2015 гг.) на территории РФ можно считать увеличение продолжительности солнечного сияния. Однако проведенный анализ показывает, что для получения надежных выводов о характере региональных (локальных) климатических изменений необходим дополнительный детальный анализ однородности рядов данных на станциях.

Автор выражает искреннюю признательность д-ру физ.-мат. наук Э.Я. Раньковой за предоставленную возможность использовать при построении карт разработки ФГБУ «ИГКЭ Росгидромета и РАН» для графической системы Surfer.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Анапольская Л.Н., Копцева И.Д. Климатические параметры Восточно-Сибирского и Дальневосточного экономических районов. Л.: Гидрометеиздат, 1979.
2. Николаев А.А. Климатические ресурсы солнечной радиации на территории Удмуртской республики // Вестник Удмуртского университета. 2012. Вып. 4. С. 115–121.
3. Климат России / Под ред. д-ра геогр. наук, проф. Н.В. Кобышевой. СПб.: Гидрометеиздат, 2001. 655 с.
4. Annual Bulletin on the Climate in WMO Region VI Europe and Middle East 2014. 2015. <https://www.dwd.de/EN/ourservices/ravibulletinjahr/ravibulletinjahr.html>
5. Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2015 год. 2016. http://climatechange.igce.ru/index.php?option=com_docman&Itemid=73&gid=27&lang=ru
6. Хлебникова Е.И., Салль И.А. Региональные климатические изменения основных составляющих радиационного баланса земной поверхности на территории России // Труды ГГО. 2014. Вып. 570. С. 34–49.
7. Хлебникова Е.И., Махоткина Е.И., Салль И.А. Облачность и радиационный режим на территории России: наблюдаемые климатические изменения // Труды ГГО. 2014. Вып. 573. С. 65–91.

УДК [556.166+551.577.61]:551.583(470+571)

ТЕРРИТОРИАЛЬНЫЕ И ВРЕМЕННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ЧАСТОТЫ ОПАСНЫХ ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЙ НА РЕКАХ РОССИИ ПРИ СОВРЕМЕННОМ КЛИМАТЕ

В. А. Семенов

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

1. Введение

Современным изменениям климата на территории России характерно увеличение его экстремальности, региональными гидрологическими последствиями которой является рост частоты опасных наводнений во время весенних половодий, при дождевых и снегодождевых паводках [3]. Гидрологической основой большинства опасных наводнений на реках России являются максимальные расходы воды и ледовые заторы [2]. Кроме того, изменения климата обуславливают увеличение частоты и продолжительности на реках маловодий при экстремально низких уровнях межени [3]. Участвовавшие в последние годы катастрофические наводнения на реках бассейнов Амура, Колымы, Верхней Оби, Кубани, малых реках Кавказского Причерноморья, а экстремальных маловодий на реках преимущественно южных районов страны обуславливают необходимость оценок территорий с повышенной частотой опасных гидрологических явлений на реках, анализа генезиса опасных наводнений.

Результаты анализа изменений годового, сезонного и минимального стока рек территории СССР за разные периоды XX столетия, преимущественно до 1985 года, опубликованы в [7–9], а сведения о региональных особенностях изменения максимальных расходов воды, метеорологических условий их формирования – в [10–13]. Обобщенные литературные сведения об изменении частоты наводнений на реках России за последующий период времени опубликованы во «Втором оценочном докладе об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации» [3]. В данной статье приведены территориальные и

временные оценки изменений стока воды в периоды половодья и низкой межени, максимальных и минимальных расходов воды, направленности и частоты наводнений за период 1985–2010 гг. Приведены также сведения о территориальном распределении изменений частоты экстремальных маловодий на реках территории России за период 1991–2010 гг.

2. Использованные материалы и методический подход

Для анализа чувствительности гидрологического режима рек к изменениям климата, особенно экстремальных характеристик стока, необходимо минимизировать антропогенное влияние на водный сток. Поэтому для анализа реакции экстремального стока рек России на изменения климата использованы материалы наблюдений Росгидромета на 110 реках с наименее нарушенным хозяйственной деятельностью гидрологическим режимом за 1985–2010 гг. и с площадями водосборов, как правило, более 3–5 тыс. км² для равнинных и более 1 тыс. км² для горных рек.

Для сравнимости результатов при оценке изменений стока за периоды половодья использованы суммы среднемесячных величин стока за апрель-май или май-июнь в зависимости от широтного расположения бассейна. Максимальные и минимальные расходы воды определялись по наибольшим и наименьшим за год величинам расходов воды. Низкая межень оценивалась по наименьшей в летне-осенний и зимний периоды года величине месячного стока.

Для выяснения тенденций в изменениях стока произведены испытания рядов на линейный тренд. При пространственном обобщении и картографическом представлении результаты испытания на тренд объединялись в три группы: увеличение стока (положительный тренд или тенденция с вероятностью более 75 %), уменьшение стока (отрицательный тренд или тенденция с вероятностью более 75 %) и отсутствие изменений (вероятность изменения менее 75 %).

Для оценки изменений частоты наводнений и маловодий на реках использованы материалы созданной в ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД» базы ежегодных сведений об опасных гидрометеорологических явлениях с документально подтвержденным ущербом за 1991–2010 гг. и результаты их трендового анализа. Методика создания и состав созданной специализированной базы данных

опасных гидрологических явлений описаны в [14]. По материалам этой базы данных и аналогичной методике выполнены оценки изменений количества опасных метеорологических явлений (опасных продолжительных дождей, ливней, снегопадов), обусловивших опасные наводнения на реках, парная корреляция между этими метеорологическими и гидрологическими явлениями.

3. Результаты

3.1. Трендовый анализ изменений экстремального стока рек

Результаты трендового анализа изменений максимальных расходов в периоды весенних, весенне-летних, летне-осенних половодий и паводков, минимальных расходов теплого и зимнего периодов года по бассейнам и группам бассейнов рек в обобщенном виде приведены в таблице.

Т а б л и ц а

Направленность и количество случаев изменений максимальных и минимальных расходов воды за 1986–2010 гг.

Бассейны рек	Количество случаев изменений расходов рек								
	Максимальные годовые расходы			Минимальные расходы теплого периода			Минимальные расходы зимнего периода		
	увеличение	уменьшение	отсутствие изменений	увеличение	уменьшение	отсутствие изменений	увеличение	уменьшение	отсутствие изменений
Север ЕТР	–	3	3	–	4	–	3	2	2
Волга	1	–	2	2	3	–	3		–
Кама, Печора	1	2	1	1	1	–	2	3	–
Дон, Днепр	2	8	4						
Северный Кавказ	3	4	5	3	1	1	–	–	–
Верхняя Обь	4	3	–	2	5	1	3	3	1
Верхний Енисей	1	3	–	3	1	1	5		
Забайкалье	–	10	–	1	9	–	–	8	1
Лена, Яна, Колыма	8		–	8	–	–	8	–	–
Амур	1	3	4	2	5	1	6	3	2
Приморье	2	4	3	3	1	4	3	3	2

Несмотря на неравномерное количественное распределение использованных речных бассейнов и пунктов наблюдений сведения таблицы позволяют оценить территориальные различия в направленности изменений экстремальных величин стока, а трендовый анализ данных наблюдений на гидрологических постах рек России за период 80-х годов XX и начало XXI столетий свидетельствуют о том, что последствия изменений климата не однозначно сказались на изменениях стока половодья, максимальных расходов воды и на частоте опасных наводнений в разных климатических поясах и регионах.

3.1.1. Изменения стока половодья и максимальных расходов воды

На реках европейской части территории страны преобладало отсутствие значимых изменений стока половодья и максимальных расходов или его уменьшение для большинства рек бассейнов Волги, Севера. Но на некоторых реках Кольского полуострова, притоков Печоры, Верхней Оки, Верхней Волги наблюдалась тенденция увеличения максимального стока (реки Ус, Угра, Протва, Волга-пост Старица). Максимальный сток большинства рек бассейна р. Дон за 30-летний период характеризуется тоже отрицательными тенденциями (реки Валуй, Девица, Тихая Сосна, Подгорная, Хопер), а максимальный сток рек Медведица и Терса – отсутствием изменений. Отрицательные изменения максимального стока характерны и для малых рек бассейна Азовского моря (реки Вулан, Миус). В изменениях максимального стока Верхнего Днепра (с. Болшево) и его притоков (Десна, Болва, Сейм, Тускарь) тоже преобладали отрицательные тенденции.

На реках Кавказа, в бассейне р. Кубань, преобладало отсутствие изменений максимального стока, но в горной части бассейна (реки Белая, Большой Зеленчук, Фарс) преобладали положительные изменения, а в максимальном стоке небольших рек Западного Кавказа тоже отмечалось увеличение максимальных расходов воды (реки Мзымта, Туапсе).

На реках азиатской части территории, наоборот, преобладало увеличение стока воды в период половодья и максимальных расходов воды, но направленность их изменения существенно меняется в зависимости от широтного и орографического положения бассейна. В стоке рек Северо-Востока страны за рассматриваемый

период на территории субарктического и умеренного поясов (реки Алдан, Амма, Олёкма в бассейне Лены), Колымы, Яны изменения максимального стока с тенденцией увеличения, а на р. Индигирке (субполярный пояс) и Вилюй (юг умеренного пояса) изменения слабо отрицательные. На реках Сибири, в субарктическом и субполярном поясах и средних широтах умеренного пояса, в период 1985–2010 гг. в изменениях стока весеннего половодья и максимальных расходов преобладали положительные тенденции, а в южных, равнинных районах преобладало их уменьшение [13]. Уменьшения особенно были выражены на реках Забайкалья.

В горных районах бассейна Верхнего Енисея преобладало отсутствие изменений в стоке за половодья и максимальном стоке, а в горных районах Западной Сибири (бассейн Верхней Оби) в изменениях максимального стока средних рек преобладали положительные тенденции.

Изменения стока за период весеннего половодья (апрель-май) на реках бассейна Амура и Приморья в период 1951–1985 гг. в большинстве случаев (75 %) были положительными, а в стоке части рек изменений не было [7]. В последующий период (1985–2010 гг.) тенденции увеличения стока в период весеннего половодья сохранились и даже усилились (реки Усури, Большая Бира, Раздольная и др.). В периоды летне-осеннего половодья, которое характерно для рек муссонного климата, до 2010 года, наоборот, преобладали отрицательные тенденции изменений.

Такое распределение направленности изменений стока половодья и максимальных расходов воды определяется прежде всего изменениями количества сезонных осадков. Для зимнего периода этого 25-летия характерно увеличение на большей, азиатской части территории страны количества зимних осадков и запасов воды в снежном покрове к началу снеготаяния. Уменьшение снеготаяния, особенно на залесенных территориях, отмечено в северных, южных и западных районах ЕТР, где зимние оттепели и увеличение продолжительности снеготаяния не способствовали формированию высоких максимумов весеннего половодья. Увеличение количества зимних осадков на ЕТР наблюдалось на Северном Кавказе и Урале. Увеличение количества весенних осадков было характерно для Дальнего Востока, горных районов юга Сибири, Кавказа.

3.1.2. Изменения максимального стока паводков

Для изменений дождевого и снегодождевого паводочного стока рек бассейна Амура и Приморья в период 1951–1985 гг. были характерны различия, обусловленные влиянием орографии местности, но преобладали отрицательные изменения или их отсутствие (реки Зeya, Буряя, Шилка). Положительные изменения в Приморье наблюдались на реках с восточной ориентацией бассейнов на склонах хр. Сихотэ-Алинь (реки Самарга, Рудная, Черемуховая и др.), наиболее доступных муссонным дождям, а в бассейне Амура – наоборот, северо-западным районам (р. Уркан). В 80-х годах прослеживалась тенденция увеличения положительных изменений паводочного стока, которая сохранилась в первом десятилетии текущего столетия, а в 2013 г., в результате выпадения интенсивных дождей, охвативших весь бассейн Амура, продолжавшихся около двух месяцев, наивысшие уровни воды на участке Среднего и Нижнего Амура, длина которого более 1000 км, превысили исторические максимумы за более чем столетний период гидрологических наблюдений на 0,40–2,11 м [3, 4]. На пике половодья у Хабаровска сформировался выдающийся максимальный расход воды – 46 тыс. м³/с, повторяемость которого оценивается как один раз в 200–250 лет. Одной из возможных причин формирования таких метеорологических условий является блокирование циклонов широтной атмосферной циркуляции [4, 5].

В 2014 году в Горном Алтае, Западных Саянах, в бассейнах рек Лена, Колыма прошли сложные, трудно прогнозируемые паводки редкой повторяемости в результате сочетания аномальных гидрометеорологических условий. На Алтае – это сочетание положительных температурных аномалий, вызвавших таяние снега и ледников в горах в сочетании с аномальной по объему, площади и продолжительности зоны дождевых осадков в бассейне Верхней Оби, где превышение нормы осадков составило 2–2,5 раза от месячной нормы. На многих участках речной сети расход воды дождевого стока достиг или превысил максимальные величины за весь период наблюдений. В 2015 году на спаде весеннего половодья наибольшую опасность наводнения представляли подъемы уровня воды рек бассейна Средней Оби и Нижней Оби, обусловленные тоже обильными и продолжительными осадками.

На Европейской территории России наибольшую опасность наводнений представляют дождевые паводки на горной и

предгорной частях территории Северного Кавказа и Причерноморья, где связь частоты опасных паводков с опасными осадками (сильными и продолжительными) наиболее тесная (коэффициент корреляции – 0,58), а коэффициент корреляции между сильными ливневыми дождями и селями – 0,74.

Повторяемость катастрофического наводнения локального масштаба, вызванного ливневыми осадками летом 2012 года на небольшой реке Адагум в бассейне р. Кубань с человеческими жертвами в г. Крымске оценивается не чаще чем один раз в 200 лет [3].

Таким образом, значительные части территорий разных регионов России оказались подвергнутыми опасным наводнениям с уровнем воды выше 0,5 % обеспеченности. Фактически это были паводки одного порядка повторяемости.

3.2. Территориальное распределение изменений частоты и генезиса опасных наводнений

Сравнительный анализ изменений частоты опасных дождей и наводнений показал, что значительное увеличение опасных наводнений в половодье на реках территории России наблюдалось в 2001–2005 гг., с некоторым уменьшением в 2006–2010 гг., а с 2011 г. возобновился рост их количества, а наибольшее увеличение произошло в 2013 году. Это свидетельствует об увеличении дождевой составляющей в формировании экстремальных расходов воды не только паводков, но и половодий.

Результаты совместного анализа пространственных и временных изменений максимальных расходов воды рек и частоты опасных наводнений показывают, что эти изменения не всегда аналогичны. В субарктическом поясе, на Северо-Востоке страны, наиболее часто опасные наводнения стали повторяться в бассейне р. Колыма, где опасные наводнения происходят во второй половине лета и осенью при выпадении обильных и продолжительных осадков.

В субарктических районах и средних широтах Азиатской территории, северных широтах Европейской территории частота опасных наводнений возрастает также от ледовых заторов, что обуславливает увеличение частоты опасных наводнений и при отсутствии роста максимальных расходов воды рек.

В горных районах при современном потеплении увеличению частоты наводнений способствует возрастание площади одновременного снеготаяния и выпадения опасных дождей одновременно на нескольких высотных поясах, что при неизменности максимальных расходов воды малых рек за счет большего количества их суммирования приводит к увеличению максимального стока и высоте наводнения на больших реках. В бассейнах рек Северного Кавказа в рассматриваемый период происходило также увеличение частоты опасных селевых потоков.

В результате анализа территориально-временных изменений максимальных расходов воды, опасных наводнений и метеорологических явлений, взаимосвязи между ними, основываясь на климатическом районировании территории СССР, предложенном Б.П. Алисовым [1], выполнено гидролого-климатическое районирование России с выделением территорий, наиболее чувствительных к изменениям климата по частоте опасных наводнений на реках [13].

Районами повышенного риска частоты опасных наводнений, в том числе катастрофических, являются островные (Сахалин, Курилы) и приморские районы муссонного климата Дальнего Востока, а также Кавказского Причерноморья. В континентальных районах повышенные риски увеличения частоты наводнений характерны для горных территорий переходных зон от равнин к горам, где повышение количества продолжительных и ливневых осадков приводит к формированию наводнений в половодье с одновременным снеготаянием на территории нескольких высотных зон, паводков очень редкой повторяемости, а также селевых потоков. Сохраняется повышенная опасность заторных наводнений на реках средних и высоких широт и нагонных в приустьевых участках рек Севера Сибири и Европейской территории России.

3.3. Изменения минимального стока воды и экстремальных маловодий на реках

Результаты трендовых оценок изменений стока в маловодные сезоны и минимального стока рек на территории России и сопредельных районов территории СССР до 80-х годов XX века были опубликованы в [7–9]. Результаты исследований свидетельствуют, что из сезонных стоков наиболее значимые изменения были характерны для стока зимнего периода (ноябрь–март). Изменения

наблюдались почти во все десятилетия начиная с 20-х гг. на Европейской и с 40-х гг. на Азиатской территории с увеличением с запада на восток числа случаев изменений в 70–80-е годы.

В летний маловодный период на европейской части территории наблюдался переход к увеличению стока в 30-х гг. на севере и в 50–60-х гг. в центральных районах, и в 70-х – на юге. А на Азиатской территории переломы в колебании минимального летнего стока характерны для 60-х и 80-х гг.

Оценки изменений минимального стока рек в прошлом столетии наиболее детально выполнены для южных районов азиатской части территории России и сопредельных районов Казахстана [7]. Результаты этих исследований свидетельствуют о том, что до 80-х гг. прошлого столетия, в период 1931–1980 гг., направленность изменений минимального стока была преимущественно положительной для бассейнов рек Оби, Енисея, Амура и озер Байкал, Балхаш, но преимущественно отрицательной – для некоторых рек южной части бассейна озера Байкал (таблица). Отрицательные изменения или их отсутствие для минимального стока в этот период были характерны и для стока отдельных рек, бассейны которых отличаются малой общей увлажненностью территории (реки Шилка, Кулунда, Аягуз).

3.3.1. Изменения минимального стока воды в современный период

Результаты трендового анализа за период 1985–2010 гг. показали, что в зимний период преобладало увеличение минимального стока, особенно на реках азиатской территории, но уменьшение на реках Забайкалья, некоторых реках юга Западной Сибири, Приморья, а на всей Европейской территории России преобладало увеличение зимнего минимального стока или отсутствие его изменений (таблица).

Направленность изменения месячного минимального стока за периоды летне-осенней межени и минимального суточного стока зависит от широтного положения бассейна реки и региона. На реках Дальнего Востока низкий сток в летне-осеннюю межень с начала XXI века наблюдался во всем бассейне Амура (реки Шилка, Бира и др.), в Южном Приморье (р. Уссури), а в северных районах – в бассейне р. Колымы. На реках юга Восточной Сибири, в Забайкалье, происходило уменьшение меженного стока,

в бассейне Верхнего Енисея изменения были не существенные, а в северных районах бассейна Енисея (Подкаменная Тунгуска) изменения стока летней межени были положительными. В бассейне р. Лена, на реках Якутии, тоже происходило увеличение стока в летне-осенний период.

На реках юга Западной Сибири преобладали слабые отрицательные изменения (р. Бия) или отсутствие изменений стока в летне-осеннюю межень, а в стоке реки Катунь были не существенные положительные изменения. На реках Урала были отрицательные изменения стока летне-осенней межени.

В изменениях минимальных летних расходов воды почти на всей Европейской территории, кроме некоторых рек Северного Кавказа и Кольского полуострова, преобладали отрицательные тенденции.

3.3.2. Изменение количества маловодий на реках

За 20-летний период (1991–2010 гг.) на реках России подразделениями Росгидромета было зафиксировано 112 экстремальных маловодий с учетным ущербом, из них в период 1991–1995 гг. – 8, 1996–2000 гг. – 9, 2001–2005 гг. – 51, а за 2006–2010 гг. – 44. Маловодья бывают преимущественно в южной части Азиатской территории (юг Западной Сибири, Забайкалье, бассейн р. Амур, реки Камчатки), но в последние годы бывают также на средних широтах Сибири и Дальнего Востока. Наметилась тенденция увеличения частоты маловодий в первом-втором десятилетиях XXI века и на реках некоторых районов Европейской территории России. Наибольшее увеличение маловодий произошло на реках равнинных территорий Южного федерального округа и Поволжья (Адыгея, Астраханская, Самарская, Саратовская области). В 2010 году продолжительное маловодье было также на реках Предуралья (Удмуртия, Татарстан, Кировская область), бассейна р. Дон. Рост их частоты объясняется увеличением континентальности климата, выражающееся в сезонном перераспределении и уменьшении осадков, возрастании продолжительности бездождевых периодов не только летом, но и весной, а на Дальнем Востоке и осенью.

3.4. Возможные изменения экстремального стока рек в будущем

Прогнозы изменений годового и сезонного стока под влиянием климата статистическими методами за рубежом и в нашей стране имеют значительную историю. Например, для оценки изменений годового и сезонного стока по рекомендации Всемирной метеорологической организации в 80-х годах прошлого столетия во ВНИИГМИ-МЦД были разработаны прогнозы годового и сезонного стока, основанные на анализе сложившихся изменений стока, распределения характерных значений критериев Манна (максимумов и минимумов), использовании обнаруженных трендов и их устойчивости за различные временные периоды [7, 9]. При анализе по критерию Кендела и автокорреляционному коэффициенту первого порядка установлено, что для некоторых рек с устойчивыми трендами характерна большая вероятность неслучайного распределения колебания. Устойчивые тренды высокой вероятности, наблюдающиеся в стоке рек северной и восточной частях Европейской территории, юга Дальнего Востока, отдельных районов Сибири и рек ледниково-снегового питания, позволяют считать возможным прогноз изменений их стока на ближайшие десятилетия. Проверочные прогнозы, представленные как средние за пятилетний период на независимом фактическом материале, показали хорошие результаты – ошибки прогноза не превосходят среднего квадратического отклонения [9].

Катастрофическое наводнение на Амуре в 2013 году, в бассейне Верхней Оби в 2014 г. и в последующие годы, на реках южного Приморья и бассейна р. Колыма в 2016 году были вызваны интенсивными продолжительными осадками в июле-августе и сентябре, которые были связаны с формированием продолжительных атмосферных антициклонов, блокирующих зональный перенос в атмосфере средних широт Северного полушария на фоне аномально высокой температуры поверхности Тихого океана в его западной части [4, 5]. Анализ характеристик атмосферных блокингов в Северном полушарии за последние десятилетия, выполненный рядом авторов, указывает на увеличение продолжительности существования летних блокингов и их числа при общем потеплении в Северном полушарии и прогнозируется общее увеличение частоты их режимов и средней продолжительности существования [5, 6].

Учитывая, что экстремальные наводнения обуславливаются блокированием антициклонами западного и муссонного влагопереноса с увеличением количества и интенсивности выпадения осадков, оценки изменений частоты наводнений в будущем должны учитывать повторяемость этих атмосферных процессов, а она, по оценкам климатологов, будет возрастать. Это осложняет возможности прогнозов экстремального стока и опасных наводнений статистическими методами.

С влиянием блокингов и разных фаз развития процессов Эль-Ниньо и Ла-Нинья в Тихом океане связана и вероятность формирования положительных аномалий температуры воздуха, осадков, интенсивных засух, обуславливающих экстремальные маловодья рек, что свидетельствует об их возможном увеличении в будущем.

4. Заключение

Результаты трендового анализа свидетельствуют, что в конце XX – начале XXI столетий на реках Азиатской территории России изменения экстремальных величин стока воды в основном подчинены географо-климатической зональности: максимальные расходы в половодье и минимальные расходы в теплый период года увеличивались в высоких и средних широтах и уменьшались в южных районах. На равнинных реках Европейской территории изменения максимальных расходов воды не существенны, а минимальные расходы в теплый период года преимущественно уменьшались, особенно в южных районах.

Увеличение частоты опасных наводнений в половодье и при паводках характерно, в основном, для рек Азиатской территории, в том числе для горно-предгорных районов юга, а на Европейской территории – для горных районов Кавказа, Урала и Предуралья.

Районами повышенного риска увеличения частоты опасных наводнений, в том числе катастрофических, являются островные (Сахалин) и приморские районы муссонного климата Дальнего Востока, горные и приморские районы Кавказского Причерноморья, а в континентальных районах – территории переходных зон от равнин к горам, где повышение количества обильных, продолжительных или ливневых осадков приводит к формированию паводков редкой повторяемости. При современном изменении климата сохраняется повышенная опасность заторных наводнений

в северных районах Сибири и Европейской территории России, ветровых нагонных наводнений в морских устьях рек, особенно севера Европейской территории.

Частота маловодий с начала XXI столетия увеличивается преимущественно в южных районах, но в последние годы маловодья стали чаще также в средних и даже высоких широтах.

Гидрологические основы экстремальных явлений водности рек и прогнозируемое увеличение частоты и продолжительности блокингов атмосферного давления свидетельствуют, что при прогнозируемом изменении климата следует ожидать расширения географии и увеличения частоты опасных наводнений и маловодий, особенно на реках южных территорий России.

Работа выполнена при финансовой поддержке Русского географического общества и Российского фонда фундаментальных исследований, проект № 13-05-41172.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алисов Б.П. Климат СССР. М: Изд-во МГУ, 1956. 128 с.
2. Бузин В.А. Опасные гидрологические явления. Уч. пособие. СПб.: Изд-во РГГМУ, 2008. 228 с.
3. Второй оценочный доклад Росгидромета об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. М.: Росгидромет, 2014. 1008 с.
4. Данилов-Данильян В.И., Гельфан А.Н., Мотовилов Ю.Г., Калугин А.С. Катастрофическое наводнение 2013 года в бассейне реки Амур: условия формирования, оценки повторяемости, результаты моделирования // Водные ресурсы. 2014. Т. 41, № 2. С. 111–122.
5. Мохов И.И., Семенов В.А. Погодно-климатические аномалии в российских регионах и их связь с глобальными изменениями климата // Метеорология и гидрология. 2016. № 2. С. 16–28.
6. Мохов И.И., Петухов В.К. Блокинги и тенденции их изменения // Доклады АН. 1997. Т. 337, № 5. С. 687–689.
7. Семенов В.А. Сток рек засушливых территорий. М.: МО Гидрометеоздата, 1990. 169 с.
8. Семенов В.А., Алексеева А.К. Региональные особенности климатических изменений стока рек СССР // Метеорология и гидрология. 1989. № 9. С. 91–97.
9. Семенов В.А., Алексеева А.К., Дегтяренко Т.И. Изменения стока рек России и прилегающих территорий в XX столетии // Метеорология и гидрология. 1994. № 2. С. 76–83.
10. Семенов В.А. Климатообусловленные изменения вклада снега в формирование опасных гидрологических явлений на реках // Лед и снег. 2013. № 3. С. 107–112.

11. Семенов В.А. География климатообусловленных изменений опасных наводнений на реках России в конце XX–начале XXI столетий // Труды ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД», вып. 177. Обнинск: Изд-во «ВНИИГМИ-МЦД», 2014. С. 160–174.

12. Семенов В.А. Гидролого-климатические основы и география рисков опасных наводнений и маловодий на реках России // Научное обеспечение реализации «Водной стратегии Российской Федерации на период до 2020 г.»: Сборник научных трудов. Т. 2. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2015. С. 44–50.

13. Семенов В.А., Гниломедов Е.В., Салугашвили Р.С., Голубев В.Н., Фролов Д.М. География распределения и генезис климатообусловленных изменений экстремальных расходов воды, опасных наводнений и маловодий на реках России // Труды ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД», вып. 179. Обнинск: Изд-во «ВНИИГМИ-МЦД», 2015. С. 198–120.

14. Семенов В.А., Кобозева Г.Л., Коршунов А.А., Волков А.А., Шамин С.И. К вопросу создания информационного обеспечения оценки климатически обусловленных изменений повторяемости опасных и неблагоприятных явлений на реках // Труды ГУ «ВНИИГМИ-МЦД», вып. 174. Обнинск: Изд-во «ВНИИГМИ-МЦД», 2010. С. 355–366.

УДК 551.506.7

СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ НОВОГО МАССИВА ТЕКУЩИХ АЭРОЛОГИЧЕСКИХ ДАННЫХ, ПОСТУПАЮЩИХ ИЗ СЕТИ ГСТ В КОДОВЫХ ФОРМАХ BUFR

Т. В. Руденкова

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

Введение

Данные срочных аэрологических наблюдений (температурно-ветрового и ветрового зондирования атмосферы) [1] по глобальной сети станций, поступающие в ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД» в оперативном режиме по каналам связи в традиционных кодовых формах FM [2], архивируются в формате массива АЕРОСТАС [3]. В связи с развитием систем аэрологических наблюдений состав и объем передаваемых данных увеличился. Современные измерительные системы позволяют получать подробные данные радиозондирования с разрешением от 2 до 10 с (50–100 м) с привязкой ко времени и географическим координатам наблюдения на каждом уровне, что обеспечивает высокое вертикальное разрешение (ВВР) в отличие от предыдущих измерений.

С планируемым в ближайшее время переходом Глобальной системы телесвязи (ГСТ) на таблично-ориентированные кодовые формы для передачи результатов гидрометеорологических наблюдений, согласно рекомендациям ВМО [4–6], текущие аэрологические данные будут передаваться в BUFR. Для архивации текущих аэрологических данных, поступающих по ГСТ в BUFR, разработана структура нового массива под именем АЕРОБАФР. Структура и формат нового массива отличаются от действующего формата АЕРОСТАС по составу архивируемых элементов, по количеству видов и структуре записей, по кодовым таблицам, по объему усвояемых данных и др. Структура записей нового массива соответствует требованиям формата Языка описания гидрометеорологических данных (ЯОГМД), принятом во ВНИИГМИ-МЦД для архивации гидрометданных [7]. Содержание и структура нового массива описаны ниже.

Описание содержания и структуры нового массива АЕРОБАФР

Состав и содержание массива. Массив АЕРОБАФР содержит подробные данные радиозондирования ВВР по глобальной сети станций на всех уровнях наблюдения, в том числе

- на уровне земли;
- на стандартных изобарических поверхностях (уровни: 1000; 925; 850; 700; 500; 400; 300; 250; 200; 150; 100; 70; 50; 30; 20; 10 гПа);
- на уровнях тропопаузы;
- на уровнях особых точек по температуре и влажности;
- на уровнях особых точек по ветру, на уровне максимального ветра.

Массив содержит значения элементов:

- на уровнях зондирования – основные элементы наблюдений: давление воздуха, геопотенциальную высоту, температуру воздуха, температуру точки росы, направление и скорость ветра;
- данные облачности;
- данные об абсолютном сдвиге ветра на уровне максимального ветра;
- температуру поверхностного слоя воды (для судовой станции).

Регион сбора информации. Географический район сбора информации – территория России и стран СНГ, зарубежная территория всего земного шара. Всего – около 900 аэрологических станций.

Временное представление. Время наблюдений – стандартные сроки: 00, 06, 12, 18 ч Всемирного скоординированного времени (ВСВ). Возможны различные варианты расписания выпусков радиозондов от одного до четырех в сутки в стандартные сроки. На аэрологической сети Росгидромета выпуски радиозондов проводятся на 30 мин раньше срока наблюдения (в 23 ч 30 мин, 5 ч 30 мин, 11 ч 30 мин и 17 ч 30 мин). На зарубежной аэрологической сети возможны отклонения от стандартных сроков до 2 ч 30 мин. Возможны повторные и учащенные выпуски радиозондов с отклонениями от стандартных сроков.

Состав и структура записей массива АЕРОБАФР. Аэрологическое наблюдение (срок) представляет данные, полученные в результате выпуска одного радиозонда (радиопилота). Для хранения данных одного срока в описываемом массиве предлагается

2 вида записей: запись вида 1 (НАБЛ) постоянной длины и запись вида 2 (НАБЛ 2) переменной длины (V). Количество записей вида 2 зависит от объема поступивших данных (уровней наблюдения) за один срок наблюдения, причем каждая последующая запись содержит продолжение данных, не вошедших в предыдущую запись. В начале каждой записи указывается длина записи в байтах с учетом служебных символов конца строки и перевода каретки. Каждая запись представляет собой последовательность ASCII-символов, заканчивающаяся символами конца строки и перевода каретки. Состав и описание элементов двух видов записей представлены в табл. 1–3.

Условно в структуру всех видов записей входит постоянная (призначная) часть (равна 56 байтам). Структура призначной части приведена в табл. 1. Записи всех видов имеют одинаковую призначную часть.

Состав призначной части всех видов записей. Содержание призначной части записей определяет место, дату и время выпуска радиозонда (радиопилота).

Призначная часть записей состоит из элементов:

- Длина записи
- Синоптический индекс станции или радиопозывные судна (мобильной наземной станции)

- Год

- Месяц

- День

- Час

- Минута

- Секунда

- Широта со знаком

- Долгота со знаком

- Индекс источника данных (вид наблюдения – радиозонд или радиопилот)

- Общее количество уровней наблюдения в подъеме

- Число сегментов группы НАБЛПОВ

- Вид записи

Данные наблюдений на уровнях содержатся в записях вида 2. В случае, если объем данных, поступивших за один срок, превышает размер 32 000 байт, продолжение данных содержится в последующих записях вида 2. Записи вида 2 имеют одинаковую структуру.

Состав и структура записи вида 1 (НАБЛ). Запись вида 1 с именем НАБЛ состоит из двух частей: призначной и информационной, имеет постоянную длину. Состав призначной части записи описан в табл. 1. Информационная часть записи содержит данные о высоте станции, об используемом оборудовании, о радиационной поправке, о температуре поверхностного слоя воды (для судов), данные облачности, общие дополнительные метаданные. Длина призначной части равна 56 байтам. Длина информационной части равна 126 байтам (табл. 2).

Состав записей вида 2 (НАБЛ 2). Записи вида 2 (НАБЛ 2) состоят из призначной и переменной частей. Длина переменной части определяется количеством уровней наблюдения.

Состав и структура переменной части записей вида 2 (НАБЛ 2). Переменная часть записей вида 2 (НАБЛ 2) содержит собственно подробные данные радиозондирования ВВР на всех уровнях наблюдения. Описание состава и структуры одного уровня наблюдения приведено в табл. 3.

Для каждого уровня наблюдения указывается его значимость (табл. 4, кодовая таблица 008042). Основные элементы уровня наблюдения сопровождаются характеристикой качества (Q). Уровни наблюдения имеют постоянную длину (90 байт) и в записи расположены в порядке убывания значений элемента «давление» независимо от значимости уровня. Наличие количества уровней в записи определяется значением элемента «счетчик поверхностей».

Таблица 1

Описание состава и структуры призначной части всех видов записей массива АЕРОБАФР

№ п/п	Элементы	Описание элемента	Условное название на ЯОГМД	Позиции
1	Длина записи	Целое число. Фактическая длина каждой записи	ДЛЗАП	1–5
Идентификация места выпуска				
2	Синоптический индекс станции, номер или радиопозывные судна, мобильной станции	Для наземных станций 9 символов (цифры), причем первые четыре символа – нули, следующие 5 символов – пятизначный синоптический индекс станции. Для судов и мобильных станций буквы или сочетание букв и цифр (3 и более символов)	СТАНЦИЯ	6–14

Окончание табл. 1

№ п/п	Элементы	Описание элемента	Условное название на ЯОГМД	Позиции
Дата и время выпуска				
3	Год	Четырехзначное целое число, год	ГОД	15–18
4	Месяц	Двухзначное целое число, порядковый номер месяца в году в пределах от 01 до 12	МЕСЯЦ	19–20
5	День	Двухзначное целое число, порядковый номер дня в месяце в пределах от 01 до 31	ДЕНЬ	21–22
6	Час	Двухзначное целое число. Действительное время выпуска радиозонда по ВСВ, часы	ЧАС	23–24
7	Минута	Двухзначное целое число, минуты	МИНУТА	25–26
8	Секунда	Двухзначное целое число, секунды	СЕКУНДА	27–28
Горизонтальные координаты места выпуска				
9	Широта с высокой точностью со знаком	Восьмизначное целое число. Градусы и сотысячные (10^{-5}) доли градуса. Знак плюс – северная широта. Знак минус – южная широта. Хранимое значение увеличено в 100 000 (10^5) раз.	ШИРОТА	29–36
10	Долгота с высокой точностью со знаком	Девятизначное целое число. Градусы и сотысячные (10^{-5}) доли градуса. Знак плюс – восточная долгота. Знак минус – западная долгота. Хранимое значение увеличено в 100 000 (10^5) раз.	ДОЛГОТА	37–45
11	Индекс источника данных (вид наблюдения)	Двухзначное целое число. 11 – радиозондовые наблюдения, 12 – радиопилотные наблюдения	ИНДИСД	46–47
12	Общее количество уровней в наблюдении	Четырехзначное целое число. Общее количество уровней в записях вида 2	КОЛУРОВН	48–51
13	Число сегментов группы НАБЛПОВ	Двухзначное целое число	NSeg	52–53
14	Вид записи	Однозначное целое число. Вид записи (1–2)	ВИДЗАП	54
15	Конец строки	Коды перевода строки и возврата каретки	EOS	55–56

Таблица 2

**Описание состава и структуры информационной части записи вида 1
с именем НАБЛ массива АЕРОБАФР**

№ п/п	Элемент	Описание элемента	Условное название на ЯОГМД	Позиции
1	Версия кодовых таблиц	Трехзначное целое число	ВЕРТАБЛ	1–3
Вертикальные координаты места выпуска				
2	Высота станции над средним уровнем моря	Семизначное целое число. Метры с точностью до 0,1. Минус – ниже уровня моря, плюс – выше уровня моря. Высота увеличена в 10 раз.	ВЫСОТАСТ	4–10
3	Высота барометра над средним уровнем моря	Семизначное целое число. Метры с точностью до 0,1. Минус – ниже уровня моря, плюс – выше уровня моря. Высота увеличена в 10 раз.	ВЫСОТАБ	11–17
4	Высота места выпуска над средним уровнем моря	Семизначное целое число. Метры с точностью до 0,1. Минус – ниже уровня моря, плюс – выше уровня моря. Высота увеличена в 10 раз.	ВЫСОТАВ	18–24
5	Маркер качества высоты станции	Двухзначное целое число. Для подвижных станций. Кодовая таблица 33024	МАРКАЧВС	25–26
Идентификация аппаратуры для измерения ветра, давления, температуры, влажности				
6	Тип радиозонда/ системы зондирования	Трехзначное целое число. Цифры кода. Общая кодовая таблица С-2. Кодовая таблица 002011	КОДПРИБ	27–29
7	Радиационная поправка	Двухзначное целое число. Цифры кода. Кодовая таблица 002013	РАДП	30–31
8	Методика слежения /Состояние используемой системы	Трехзначное целое число. Цифры кода. Общая кодовая таблица С-7. Кодовая таблица 002014	МЕТОД	32–34
9	Тип используемого измерительного оборудования	Двухзначное целое число. Цифры кода. Кодовая таблица 002003	ТИПОБОР	35–36
10	Температура поверхностного слоя воды (для судовой станции)	Пятизначное целое число. Градусы Цельсия с точностью до 0,01. Хранимое значение увеличено в 100 раз	ТЕМПОВ	37–41
11	Характеристика качества	Однозначное целое число в цифрах кода	Q	42
12	Конец строки	Коды перевода строки и возврата каретки	EOS	43–44

Продолжение табл. 2

№ п/п	Элемент	Описание элемента	Условное название на ЯОГМД	Позиции
Информация об облачности				
13	Вертикальная значимость облачности	Двухзначное целое число. Цифры кода. Кодовая таблица 008002	ЗНАЧОБЛ	45–46
14	Характеристика качества	Однозначное целое число в цифрах кода	Q	47
15	Количество облаков (Nh)	Двухзначное целое число в цифрах кода. Кодовая таблица 020011	ОБЛНКОЛВ	48–49
16	Характеристика качества	Однозначное целое число в цифрах кода	Q	50
17	Высота нижней границы облачности	Пятизначное целое число в метрах	ОБЛВЫСЗ	51–55
18	Характеристика качества	Однозначное целое число в цифрах кода	Q	56
19	Тип облачности нижнего яруса (CL)	Двухзначное целое число в цифрах кода. Кодовая таблица 020012	ОБЛНФОР	57–58
20	Характеристика качества	Однозначное целое число в цифрах кода	Q	59
21	Тип облачности среднего яруса (CM)	Двухзначное целое число в цифрах кода. Кодовая таблица 020012	ОБЛСФОР	60–61
22	Характеристика качества	Однозначное целое число в цифрах кода	Q	62
23	Тип облачности верхнего яруса (CH)	Двухзначное целое число в цифрах кода. Кодовая таблица 020012	ОБЛВФОР	63–64
24	Характеристика качества	Однозначное целое число в цифрах кода	Q	65
25	Конец строки	Коды перевода строки и возврата каретки	EOS	66–67
Дополнительная информация о радиозондах и наземных комплексах				
26	Номер наблюдения	Четырехзначное целое число. Последовательный номер срока с начала года начиная с 1	НОМНАБЛ	68–71
27	Вычисление геопотенциальной высоты	Двухзначное целое число. Цифры кода. Кодовая таблица 002191	ВЫЧВЫСОТ	72–73
28	Идентификация программного обеспечения и его версии	15-значное буквенно-цифровое значение. Текстовые данные	ПРОГОБЕС	74–88

Окончание табл. 2

№ п/п	Элемент	Описание элемента	Условное название на ЯОГМД	Позиции
29	Серийный номер радиозонда	20-значное буквенно-цифровое значение. Могут быть добавлены и серийные номера датчиков.	СЕРНОМЕР	89–108
30	Рабочая частота радиозонда	Десятизначное целое число, Гц	ЧАСТОТА	109–118
31	Тип датчика давления	Двухзначное целое число в цифрах кода. Кодовая таблица 002095	ДАТДАВ	119–120
32	Тип датчика температуры	Двухзначное целое число в цифрах кода. Кодовая таблица 002096	ДАТТЕМП	121–122
33	Тип датчика влажности	Двухзначное целое число в цифрах кода. Кодовая таблица 002097	ДАТВЛЖ	123–124
34	Конец строки	Коды перевода строки и возврата каретки	EOS	125–126

Таблица 3

**Описание состава и структуры записей вида 2 (НАБЛ 2)
массива АЕРОБАФР**

№ п/п	Элемент	Описание элемента	Условное название на ЯОГМД	Позиции
1	Номер сегмента группы НАБЛПОВ	Двухзначное целое число. Номер сегмента группы НАБЛПОВ	ISeg	1–2
2	Счетчик уровней	Трехзначное целое число. Указывает количество уровней в данной записи	СЧЕТПОВ	3–5
3	Конец строки	Коды перевода строки и возврата каретки	EOS	6–7
Описание одного уровня (группы НАБЛПОВ)				
4	Время, прошедшее с момента выпуска радиозонда	Пятизначное целое число. Секунды	ВРЕМЯ	8–12
5	Характеристика качества	Однозначное целое число в цифрах кода	Q	13
6	Значимость уровня вертикального зондирования	Шестизначное целое число. Таблица флагов 008042	ЗНАЧУР	14–19
7	Характеристика качества	Однозначное целое число в цифрах кода	Q	20
8	Значимость 1-го уровня	Двухзначное целое число в цифрах кода. Характеризует значимость уровня (№ бита, в котором значение равно 1). Кодовая таблица 008042	КОД1	21–22

Продолжение табл. 3

№ п/п	Элемент	Описание элемента	Условное название на ЯОГМД	Позиции
9	Значимость 2-го уровня	Как для элемента «Значимость 1-го уровня»	КОД2	23–24
10	Значимость 3-го уровня	Как для элемента «Значимость 1-го уровня»	КОД3	25–26
11	Значимость 4-го уровня	Как для элемента «Значимость 1-го уровня»	КОД4	27–28
12	Значимость 5-го уровня	Как для элемента «Значимость 1-го уровня»	КОД5	29–30
13	Значимость 6-го уровня	Как для элемента «Значимость 1-го уровня»	КОД6	31–32
14	Давление воздуха	Шестизначное целое число. Давление воздуха в гПа с точностью до 0,01. Хранимое значение увеличено в 100 раз.	ДАВЛИАТМЗ	33–38
15	Характеристика качества	Однозначное целое число в цифрах кода	Q	39
16	Геопотенциальная высота уровня	Пятизначное целое число, в гп. метрах	ВЫСОУРОЗ	40–44
17	Характеристика качества	Однозначное целое число в цифрах кода	Q	45
Координаты радиозонда				
18	Изменение широты относительно места выпуска	Восьмизначное целое число со знаком (градусы и стотысячные (10^{-5}) доли градуса). Хранимое значение увеличено в 100 000 (10^5) раз.	ИЗМШИР	46–53
19	Характеристика качества	Однозначное целое число в цифрах кода	Q	54
20	Изменение долготы относительно места выпуска	Десятизначное целое число со знаком (градусы и стотысячные (10^{-5}) доли градуса). Хранимое значение увеличено в 100 000 (10^5) раз.	ИЗМДОЛГ	55–63
21	Характеристика качества	Однозначное целое число в цифрах кода	Q	64
Данные температуры, температуры точки росы, ветра и сдвигов ветра				
22	Температура воздуха	Шестизначное целое число. Градусы Цельсия с точностью до 0,01. Хранимое значение увеличено в 100 раз	ТЕМВОЗДЗ	65–70
23	Характеристика качества	Однозначное целое число в цифрах кода	Q	71

Окончание табл. 3

№ п/п	Элемент	Описание элемента	Условное название на ЯОГМД	Позиции
24	Температура точки росы	Шестизначное целое число. Градусы Цельсия с точностью до 0,01. Хранимое значение увеличено в 100 раз.	ТЕМТЧРОЗ	72–77
25	Характеристика качества	Однозначное целое число в цифрах кода	Q	78
26	Направление ветра	Трехзначное целое число. Градусы	ВЕТНАПРЗ	79–81
27	Характеристика качества	Однозначное целое число в цифрах кода	Q	82
28	Скорость ветра	Четырехзначное целое число. М/с с точностью до 0,1. Хранимое значение увеличено в 10 раз.	ВЕТСКОРЗ	83–86
29	Характеристика качества	Однозначное целое число в цифрах кода	Q	87
30	Сдвиг ветра в слое ниже уровня на 1 км	Трехзначное целое число. М/с с точностью до 0,1. Хранимое значение увеличено в 10 раз.	СДВЕТРАН	88–90
31	Характеристика качества	Однозначное целое число в цифрах кода	Q	91
32	Сдвиг ветра в слое выше уровня на 1 км	Как для элемента «Сдвиг ветра в слое ниже уровня на 1 км»	СДВЕТРАВ	92–94
33	Характеристика качества	Однозначное целое число в цифрах кода	Q	95
34	Конец строки	Коды перевода строки и возврата каретки	EOS	96–97

Таблица 4

Значимость продленного вертикального зондирования 0 08 042

Номер бита	Значимость продленного вертикального зондирования
1	Поверхность
2	Стандартный уровень
3	Уровень тропопаузы
4	Уровень максимального ветра
5	Значимый уровень температуры
6	Значимый уровень влажности
7	Значимый уровень ветра
8	Начало отсутствующих данных о температуре

Окончание табл. 4

Номер бита	Значимость продленного вертикального зондирования
9	Конец отсутствующих данных о температуре
10	Начало отсутствующих данных о влажности
11	Конец отсутствующих данных о влажности
12	Начало отсутствующих данных о ветре
13	Конец отсутствующих данных о ветре
14	Зондирование ветра в верхней точке
15	Уровень, определяемый решением на региональном уровне
16	Зарезервирован
17	Уровень давления, первоначально указанный посредством высоты как вертикальной координаты
Все 18	Отсутствующее значение

Контроль данных

Значения основных метеорологических элементов: геопотенциальной высоты, температуры воздуха, температуры точки росы, скорости и направления ветра на всех уровнях – проконтролированы. В результате контроля элементам присваиваются некоторые признаки контроля качества (см. табл. 5). Метод контроля основан на использовании таких компонентов, как климатический, вертикальный, горизонтальный и статический контроль качества наблюдаемых аэрологических величин с использованием многолетней статистической структуры этих величин [8].

Таблица 5

Признаки контроля качества элементов

Код	Значение признака контроля качества
0	Значение не контролировалось
1	Правильное значение
2	Сомнительное значение
3	Значение ошибочно
4	Исправленное при контроле значение (вместо ошибочного)
5	Восстановленное при контроле значение (вместо отсутствующего)
9	Признак отсутствия значения

Структура хранения данных на техническом носителе и константы отсутствия

Данные в массиве АЕРОБАФР представлены в символьном виде, содержат числовые и текстовые значения величин. Для всех элементов записи, кроме элемента «Синоптический индекс станции или радиопозывные судна», элементов с текстовыми данными и «Коды перевода строки и возврат каретки» выбран формат хранения FA(w) – символьный формат для представления целых чисел в коде ASCII. Для элемента «Синоптический индекс станции или радиопозывные судна» и элементов с текстовыми данными выбран формат хранения AA(w) – символьный формат для представления текстовой информации в коде ASCII. Для элемента «Коды перевода строки и возврат каретки» выбран формат хранения VI(w). Для отсутствующего значения числовой величины в соответствии с требованиями ЯОД СУД АИСОРИ во всех позициях соответствующего поля и признака качества записывается цифра 9. Для отсутствующего значения текстовой величины используется заполнение поля пробелами. Значение числовой величины выровнено вправо, пробелы слева игнорируются, знак «-» помещается перед старшей значащей цифрой, знак «+» необязателен. Значение текстовой величины выровнено влево, остаток поля справа заполнен пробелами. Единицы измерения и точность данных указаны при подробном описании формата записи.

Организация данных

Логическая структура массива. Массив данных АЕРОБАФР содержит месячные порции наблюдений по станциям. Для каждого календарного месяца создаются два файла данных: файл данных по всем наземным станциям глобальной сети и файл данных по всем судовым станциям. На стыке месяцев данные сообщений за время наблюдения 21 час 00 мин (равно или больше) включены в файл данных следующего месяца. Файлы данных по наземным станциям и по судовым имеют идентичную структуру записей. Каждый файл данных сопровождается файлом описания данных, составленным на ЯОГМД. Структура записей массива на ЯОГМД представлена в таблице 6.

Таблица 6

ЯОД-ОПИСАНИЕ ФОРМАТА АЕРОБАФР

FAMILY	АЕРОВБУФР	V(32000);				//Описание семейства файлов аэрологических данных
RECORDS;						//Начало записи
LNG	ДЛЗАП	FA(5)	PC(5);			//Длина записи
KEY(1,СПСТАНАЦ)	СТАНЦИЯ	AA(9)	PA(9);			//Синоптический индекс АЭ или радиопозывные судна
KEY(0)	ГОД	FA(4)	PC(4);			//Год
KEY(0)	МЕСЯЦ	FA(2)	PC(2);			//Месяц
KEY(0)	ДЕНЬ	FA(2)	PC(2);			//День
KEY(0)	ЧАС	FA(2)	PC(2);			//Действительное время наблюдения по ВСВ, часы
МИТ	МИНУТА	FA(2)	PC(2);			//Минуты
МИТ	СЕКUNДА	FA(2)	PC(2);			//Секунды
KEY(U)	ШИРОТА	FA(8)	PC(13,5)	D(5);		//Широта
KEY(U)	ДОЛГОТА	FA(9)	PC(14,5)	D(5);		//Долгота
KEY(U)	ИНДИСД	FA(2)	PC(2);			//11-радиозонд (p/3), 12- радиопилот
МИТ	КОЛУРОВН	FA(4)	PC(4);			//Общее количество уровней наблюдения в подьеме радиозонда
МИТ	NSeg	FA(2)	PC(2);			//Число сегментов группы НАБЛПОВ
MRC(0)	ВИДЗАП	FA(1)	PC(1);			//Вид записи (1–2)
МИТ	ЕОС	BI(2)	PC(4);			//Коды перевода строки и возврата каретки
RBODY(1)	НАБЛ;					//Данные наблюдений
МИТ	ВЕРТАБЛ	FA(3)	PC(3);			//Версия кодовых таблиц
МИТ	ВЫСОТАСТ	FA(7)	PC(8,1)	D(1);		//Высота станции над ср. уровнем моря, м до 0,1
МИТ	ВЫСОТАВ	FA(7)	PC(8,1)	D(1);		//Высота нуля барометра над ср. уровнем моря, м до 0,1
МИТ	ВЫСОТАВ	FA(7)	PC(8,1)	D(1);		//Высота места выпуска над ср. уровнем моря, м до 0,1
МИТ	МАРКАИВС	FA(2)	PC(2);			//Маркер качества высоты станции для мобильных станций. К.т. 33024

Продолжение табл. 6

МИТ	КОДПРИБ	FA(3)	PC(3);			//Тип р/з системы зондирования. К.т. 002011
МИТ	РАДП	FA(2)	PC(2);			//Радиационная поправка. К.т. 002013
МИТ	МЕТОД	FA(3)	PC(3);			//Методика слежения/состояние системы. К.т. 002014
МИТ	ТИПОБОР	FA(2)	PC(2);			//Тип измерительного оборудования. К.т. 002003
МИТ	ТЕМПОВ	FA(5)	PC(7,2)	D(2);		//Температура пов. слоя воды (для суд. ст.), град. Цельсия
СНА(ТЕМПОВ)	Q	FA(1)	PC(1)	NA;		//Признак качества
МИТ	EOS	BI(2)	PC(4);			//Коды перевода строки и возврата каретки
GRE	ОБЛАКА;					//Данные облачности
МИТ	ЗНАЧОБЛ	FA(2)	PC(2);			//Вертикальная значимость облачности. К.т. 008002
СНА(ЗНАЧОБЛ)	Q	FA(1)	PC(1)	NA;		//Признак качества
МИТ	ОБЛНКОЛВ	FA(2)	PC(2);			//Кол-во облаков (Nh). К.т. 020011
СНА (ОБЛНКОЛВ)	Q	FA(1)	PC(1)	NA;		//Признак качества
МИТ	ОБЛВЫСЗ	FA(5)	PC(5);			//Выс. нижн. границы облаков (h) над поверхностью земли (м)
СНА(ОБЛВЫСЗ)	Q	FA(1)	PC(1)	NA;		//Признак качества
МИТ	ОБЛНФОР	FA(2)	PC(2);			//Тип обл. нижнего яруса (CL). К.т. 020012
СНА(ОБЛНФОР)	Q	FA(1)	PC(1)	NA;		//Признак качества
МИТ	ОБЛСФОР	FA(2)	PC(2);			//Тип обл. среднего яруса (SM). К.т. 020012
СНА(ОБЛСФОР)	Q	FA(1)	PC(1)	NA;		//Признак качества
МИТ	ОБЛВФОР	FA(2)	PC(2);			//Тип обл. верхнего яруса (SH). К.т. 020012
СНА(ОБЛВФОР)	Q	FA(1)	PC(2)	NA;		//Признак качества
МИТ	EOS	BI(2)	PC(4);			//Коды перевода строки и возврата каретки
END	ОБЛАКА;					
GRE	ДОПДАН;					//Дополнительная информация о р/з и наземных комплексах
МИТ	НОМНАБЛ	FA(4)	PC(4);			//Номер наблюдения с начала года

Продолжение табл. 6

МИТ	ВЫЧЫСОТ	FA(2)	PC(2);			//Вычисление геопотенциальной высоты. К.т.002191
МИТ	ПРОГОБЕС	AA(15)	PA(15);			//Идентификация прог. обеспечения и его версии
МИТ	СЕРНОМЕР	AA(20)	PA(20);			//Серийный номер р/з. М.б. добавл. номера датчиков
МИТ	ЧАСТОТА	FA(10)	PC(10);			//Рабочая частота р/з в Гц
МИТ	ДАТДАВ	FA(2)	PC(2);			//Тип датчика давления. К.т. 002095
МИТ	ДАТТЕМП	FA(2)	PC(2);			//Тип датчика температуры. К.т. 002096
МИТ	ДАТВЛАЖ	FA(2)	PC(2);			//Тип датчика влажности. К.т. 002097
МИТ	ЕОС	BI(2)	PC(4);			//Коды перевода строки и возврата каретки
END	ДОЦДАН;					
END	НАБЛ;					
RBODY(2)	НАБЛJ2;					
МИТ	ISeg	FA(2)	PC(2);			//Номер сегмента группы НАБЛПОВ
CNT	СЧЕТПОВ	FA(3)	PC(3);			//Счетчик поверхностей
МИТ	ЕОС	BI(2)	PC(4);			//Коды перевода строки и возврата каретки
GRV(СЧЕТПОВ)	НАБЛПОВ;					//Группа поверхностей
IND(1500)j			PC(4);			
МИТ	ВРЕМЯ	FA(5)	PC(5);			//Время, прошедшее с момента выпуска, секунды
СНА(ВРЕМЯ)	Q	FA(1)	PC(1)	NA;		// Признак качества
МИТ	ЗНАЧУР	FA(6)	PC(6);			//Значимость уровня. Таблица флагов 008042
СНА(ЗНАЧУР)	Q	FA(1)	PC(1)	NA;		// Признак качества
МИТ	КОД1	FA(2)	PC(2);			//Значимость 1-го уровня. Номер бита. К.т. 008042
МИТ	КОД2	FA(2)	PC(2);			//Значимость 2-го уровня. Номер бита. К.т. 008042
МИТ	КОД3	FA(2)	PC(2);			//Значимость 3-го уровня. Номер бита. К.т. 008042
МИТ	КОД4	FA(2)	PC(2);			//Значимость 4-го уровня. Номер бита. К.т. 008042
МИТ	КОД5	FA(2)	PC(2);			//Значимость 5-го уровня. Номер бита. К.т. 008042
МИТ	КОД6	FA(2)	PC(2);			//Значимость 6-го уровня. Номер бита. К.т. 008042
МИТ	ДАВЛАТМ3	FA(6)	PC(8,2)		D(2);	//Давление воздуха, гПа до 0,01

О к о н ч а н и е т а б л . 6

СНА (ДАВЛАТМЗ)	Q	FA(1)	PC(1)	NA;		// Признак качества
МИТ	ВЫСОУРОЗ	FA(5)	PC(5);			//Геопотенциальная высота уровня, в гп. метрах
СНА (ВЫСОУРОЗ)	Q	FA(1)	PC(1)	NA;		// Признак качества
МИТ	ИЗМШИР	FA(8)	PC(13,5)		D(5);	//Изменение широты относительно места выпуска
СНА(ИЗМШИР)	Q	FA(1)	PC(1)	NA;		// Признак качества
МИТ	ИЗМДОЛГ	FA(9)	PC(14,5)		D(5);	//Изменение долготы относительно места выпуска
СНА(ИЗМДОЛГ)	Q	FA(1)	PC(1)	NA;		// Признак качества
МИТ	ТЕМВОЗДЗ	FA(6)	PC(8,2)		D(2);	//Температура воздуха, град. Цельсия до 0,01
СНА (ТЕМВОЗДЗ)	Q	FA(1)	PC(1)	NA;		// Признак качества
МИТ	ТЕМТЧРОЗ	FA(6)	PC(8,2)		D(2);	//Температура точки росы, град. Цельсия до 0,01
СНА (ТЕМТЧРОЗ)	Q	FA(1)	PC(1)	NA;		// Признак качества
МИТ	ВЕТНАПРЗ	FA(3)	PC(3);			//Направление ветра, градусы
СНА (ВЕТНАПРЗ)	Q	FA(1)	PC(1)	NA;		// Признак качества
МИТ	ВЕТСКОРЗ	FA(4)	PC(5,1)		D(1);	//Скалярная скорость ветра, м/с до 0,1
СНА (ВЕТСКОРЗ)	Q	FA(1)	PC(1)	NA;		// Признак качества
МИТ	СДВИГВН	FA(3)	PC(4,1)		D(1);	//Сдвиг ветра в слое на 1 км ниже ур. макс.ветра, м/с до 0,1
СНА(СДВИГВН)	Q	FA(1)	PC(1)	NA;		// Признак качества
МИТ	СДВИГТВ	FA(3)	PC(4,1)		D(1);	//Сдвиг ветра в слое на 1 км выше ур. макс.ветра, м/с до 0,1
СНА(СДВИГТВ)	Q	FA(1)	PC(1)	NA;		// Признак качества
МИТ	ЕОС	ВІ(2)	PC(4);			//Коды перевода строки и возврата каретки
END	НАБЛПОВ;					
END	НАБЛ2;					
END;						

Структура файла данных. Файл данных построен в соответствии с ЯОД-описанием, предшествующим каждому информационному файлу. Файл данных представляет собой последовательность записей постоянной и переменной длины, упорядоченных по синоптическим индексам для наземных станций или радиопозывным (номерам) для судовых станций и наземных мобильных станций, для каждого индекса станции (радиопозывного) – по видам наблюдений (радиозонды/радиопилоты), для каждого вида наблюдений – по дням месяца, для каждого дня месяца – по времени наблюдения (срока), для каждого срока – по видам записи, для каждого вида записи в переменной части записи – по уровням наблюдения. Уровни расположены в порядке убывания значений давления. Для радиопилотов уровни стандартных высот упорядочены по возрастанию высоты.

Идентификация файлов

Имя файла данных наземных станций – baerГГММ1.arq, имя файла описаний данных наземных станций – baerГГММ1.foz, имя файла данных судовых станций – baerГГММ2.arq, имя файла описаний данных судовых станций – baerГГММ2.foz, где ГГ – год наблюдений, ММ – месяц наблюдений.

Кодовые таблицы

Международные кодовые таблицы (к.т.) FM 94 BUFR [4–6]:

- К.т.33024. Маркер качества высоты станции.
- К.т. 002011. Тип радиозонда/ системы зондирования. Общая кодовая таблица C-2.
 - К.т.002013. Коррекция солнечной и инфракрасной радиации.
 - К.т. 002014. Методика слежения/состояние используемой системы. Общая кодовая таблица C-7.
 - К.т. 002003. Тип используемого измерительного оборудования.
 - К.т. 008002. Вертикальная значимость облачности.
 - К.т. 020011. Количество облаков (Nh) нижнего (CL) или среднего яруса (CM), если облаков CL нет.
 - К.т. 020012. Тип облачности нижнего яруса (CL). Слоисто-кучевые, слоистые, кучевые и кучево-дождевые облака.
 - К.т. 020012. Тип облачности среднего яруса (CM). Высококучевые, высокослоистые и слоисто-дождевые облака.

- К.т. 020012. Тип облачности верхнего яруса. Перистые, перисто-кучевые и перисто-слоистые облака.
- К.т. 008042. Значимость уровней вертикального зондирования.
- К.т. 002191. Вычисление геопотенциальной высоты.
- К.т. 002095. Тип датчика давления.
- К.т. 002096. Тип датчика температуры.
- К.т. 002097. Тип датчика влажности.

Заключение

В случае прекращения передачи данных по каналам связи в традиционных кодовых формах FM и переходе ГСТ на BUFR архивация и накопление текущей аэрологической информации по глобальной сети аэрологических станций в ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД» будет производиться в новом формате АЕРОБАФР по технологии через систему CliWare [9]. Технология создания нового массива текущей аэрологической информации АЕРОБАФР – в стадии разработки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *РД 52.11.650–2003*. Наставление гидрометеорологическим станциям и постам. Выпуск 4. Аэрологические наблюдения на станциях. Часть III. Температурно-ветровое радиозондирование атмосферы. Гидрометеоиздат. 2003. 311 с.
2. *Сборник* аэрологических кодов. Санкт-Петербург: Гидрометеоиздат. 1994. 80 с.
3. *Руденкова Т.В.* Формат архивации текущих аэрологических данных, поступающих по каналам связи для ПЭВМ // Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2010. Вып. 174. С. 41–63.
4. *Наставление* по кодам. Международные коды. Том 1.2. (Дополнение II к Техническому регламенту ВМО). Часть В – Двоичные коды. Часть С – Общие элементы двоичных и буквенно-цифровых кодов. ВМО. № 306. 2012. 844 с.
5. http://www.wmo.int/pages/prog/www/WMOCodes/WMO306_v12/LatestVERSION/LatestVERSION.html
6. http://www.wmo.int/pages/prog/www/WMOCodes/WMO306_v12/PrevVERSIONS/PreviousVERSIONS.html
7. *Веселов В.М.* Язык описания гидрометеорологических данных для IBM PC совместимых ПЭВМ // Труды ВНИИГМИ-МЦД. 1996. Вып. 160. С. 41–54.
8. *Алдухов О.А., Черных И.В.* Методы анализа и интерпретации данных радиозондирования атмосферы. Т. 1. Контроль качества и обработка данных. Обнинск: ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД». 2013. 306 с.
9. <http://cliware.meteo.ru/>

УДК 551.510.522

КЛИМАТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРИЗЕМНЫХ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ИНВЕРСИЙ ПО ДАННЫМ АЭРОЛОГИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ НА СТАНЦИЯХ МУРМАНСК И СМОЛЕНСК

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 расчеты для объектов, потенциально загрязняющих окружающую среду, всегда выполняются с учетом 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 подъем 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 справочнике [1].

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

Настоящая работа является первым шагом к созданию такой базы данных. В статье рассмотрены климатические характеристики приземных инверсий по данным наблюдений на двух аэрологических станциях (Смоленск и Мурманск) за несколько последних лет. Выбор станций обусловлен близостью их к Смоленской и

Кольской АЭС, т. е., 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].

Данные и обработка

Анализ основных характеристик температурных инверсий выполнен на основе массива многолетних данных радиозондирования АЭРОСТАС [2]. Каждый файл массива содержит данные, поступившие за месяц по глобальной сети аэрологических станций. В процессе формирования архивных файлов данные проходят процедуру комплексного контроля качества [3].

Исследование характеристик температурных инверсий проведено для станций Мурманск и Смоленск за период 2011–2015 гг. Для определения характеристик инверсий 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 подъеме радиозонда фиксировалось несколько слоев 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 приземных 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 приземные инверсии до их верхней границы.

Следует отметить, что расчет средних значений мощности и интенсивности проводился в том случае, если число их наблюдений составляло не менее 20 за соответствующий месяц, год или для конкретной станции.

Климатические характеристики температурных инверсий

Особенности годовых изменений повторяемости приземных инверсий для станции Смоленск и Мурманск показаны на рис. 1 и 2 соответственно. Кривые годового хода повторяемости приземных инверсий имеют схожие очертания с кривыми годового хода аналогичной характеристики, построенными по данным справочника [1]. В справочном пособии представлен обширный табличный материал об инверсиях температуры по результатам наблюдений на аэрологических станциях. Следует отметить, что сроки в таблицах справочника [1] были даны по московскому времени (03, 09, 15 и 21 ч). Поскольку в современных системах радиозондирования действительное время выпуска радиозонда указывается по Всемирному скоординированному времени (ВСВ), результаты наблюдений за срок 00 ч по ВСВ сопоставлялись с результатами наблюдений справочника [1] за срок 03 ч по Московскому времени, аналогично для других сроков. Ниже на рисунках и в таблицах срок дан по ВСВ.

Значения повторяемости приземных инверсий для станции Смоленск по сроку 00 ч достаточно высоки, варьируются в течение года от 11 до 73 %, достигая максимальных значений в летние месяцы. Полученные результаты повторяемости приземных инверсий для станции Смоленск хорошо согласуются с данными справочника [1], однако стоит отметить, что в целом значения данной характеристики ниже представленных в справочнике. Для станции Мурманск в отдельные месяцы получены более высокие значения повторяемости, по сравнению с результатами аналогичных исследований 1959–1968 годов.

Средняя мощность приземных инверсий определялась путем вычитания значения высоты станции над уровнем моря из среднего значения высоты верхней границы инверсии, средняя интенсивность – вычитанием значения температуры на станции из ее значения на верхней границе инверсии.

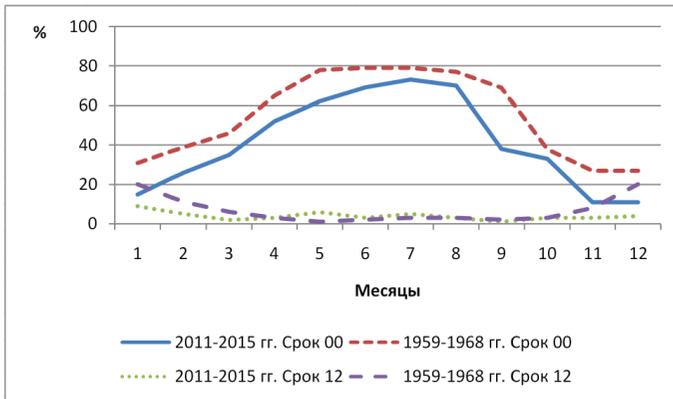


Рис. 1. Годовой ход многолетних средних значений повторяемости приземных инверсий для станции Смоленск за период 2011–2015 гг.

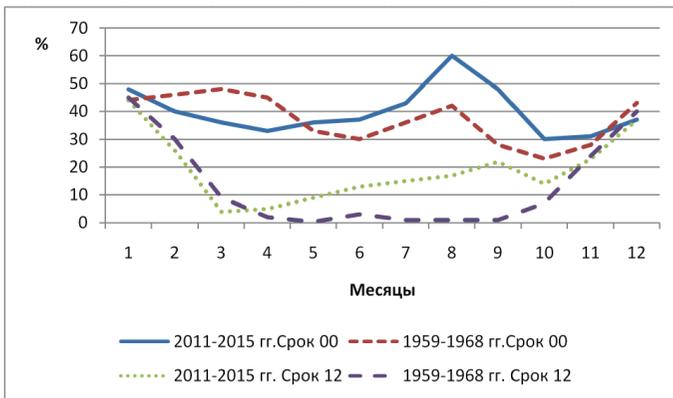


Рис. 2. Годовой ход многолетних средних значений повторяемости приземных инверсий для станции Мурманск за период 2011–2015 гг.

В таблицах 1 и 2 представлен годовой ход многолетних средних значений мощности приземных для станций Смоленск и Мурманск соответственно. Здесь же даны аналогичные характеристики из справочника [1]. Обращает на себя внимание, что по данным последних лет в среднем несколько уменьшилась мощность как дневных, так и ночных инверсий.

Таблица 1

Годовой ход многолетних средних значений мощности приземных инверсий (ΔH , км) для станции Смоленск

Годы	Срок	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
2011–2015	00	0,67	0,35	0,33	0,26	0,26	0,27	0,27	0,29	0,28	0,29	–	–
1959–1968	00	0,68	0,59	0,45	0,28	0,26	0,25	0,26	0,27	0,27	0,40	0,68	0,75
2011–2015	12	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
1959–1968	12	0,73	0,67	–	–	–	–	–	–	–	–	0,71	0,65

Таблица 2

Годовой ход многолетних средних значений мощности приземных инверсий (ΔH , км) для станции Мурманск

Годы	Срок	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
2011–2015	00	0,39	0,40	0,31	0,26	0,27	0,18	0,23	0,25	0,23	0,23	0,29	0,33
1959–1968	00	0,55	0,62	0,49	0,42	0,44	0,45	0,44	0,43	0,38	0,39	0,45	0,55
2011–2015	12	0,43	0,40	–	–	–	–	0,07	0,07	0,06	0,09	0,24	0,33
1959–1968	12	0,53	0,55	0,35	–	–	–	–	–	–	–	0,44	0,55

В таблицах 3 и 4 представлен годовой ход многолетних средних значений интенсивности приземных инверсий для станций Смоленск и Мурманск соответственно. Средние значения интенсивности инверсий в целом совпадают с более ранними значениями, однако для отдельных месяцев имеются различия. Так, на станции Смоленск в феврале интенсивность инверсии по последним данным составляет 3,8 °С против 5,1 °С по данным [1].

Таблица 3

Годовой ход многолетних средних значений интенсивности приземных инверсий (ΔT , °С) для станции Смоленск

Годы	Срок	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
2011–2015	00	5,3	3,8	3,7	3,5	4,2	3,6	3,8	4	3,9	2,1	–	–
1959–1968	03	6,9	5,1	3,9	3,1	3,2	3,6	3,4	3,5	3,7	3,3	5,1	4,9
2011–2015	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
1959–1968	15	4,9	3,3	2,1	–	–	–	–	–	–	–	3,1	3,8

Таблица 4

Годовой ход многолетних средних значений интенсивности приземных инверсий (ΔT , °С) для станции Мурманск

Годы	Срок	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
2011–2015	00	5,1	5,3	2,4	1,7	1,9	1,6	1,5	2,4	1,7	1,3	2,1	4,7
1959–1968	00	5,9	5,4	3,9	2,1	1,8	1,8	2,2	2,1	1,4	1,4	3,5	5,4
2011–2015	12	5,3	6,0	–	–	–	–	0,6	0,4	0,3	0,7	1,7	3,9
1959–1968	12	5,2	5,4	2,1	–	–	–	–	–	–	–	3,3	5,4

Заключение

Выполненный анализ повторяемости, мощности и интенсивности приземных инверсий по аэрологическим данным станций Мурманск и Смоленск позволил провести сравнение с аналогичными справочными характеристиками, полученными по данным за 1959–1968 гг. В целом полученная картина годового хода повторяемости приземных инверсий на станции Смоленск аналогична годовому ходу по более ранним наблюдениям, но все значения примерно на 10 % ниже. На станции Мурманск общий характер годового хода повторяемости также в целом подобен более раннему годовому ходу, но при этом наблюдается заметное увеличение повторяемости как дневных, так и ночных инверсий в летне-осенний сезон. Можно также отметить уменьшение мощности инверсий по данным обеих станций.

Таким образом, полученные результаты позволяют уточнить имеющиеся сведения [1] о климатических характеристиках температурных инверсий. Это говорит об актуальности создания справочных материалов по температурным инверсиям на 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. *Описание* символического формата хранения данных аэрологических наблюдений, поступающих по каналам связи для ПЭВМ (формат АЭРОСТАС) / Составители: Т.В. Руденкова. Обнинск. 2009.
3. *Алдухов О.А., Черных И.В.* Методы анализа и интерпретации данных радиозондирования атмосферы. Т. 1. Контроль качества и обработка данных. ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД». Обнинск. 2013. 306 с.

УДК 004.6:551.5:004.9

К ПОСТРОЕНИЮ ТЕХНОЛОГИИ ВЗАИМНОЙ КОНВЕРТАЦИИ БАЗ ДАННЫХ РАЗЛИЧНОЙ СТРУКТУРЫ ДЛЯ ПОПОЛНЕНИЯ И ВЕРИФИКАЦИИ ДАННЫХ ЕГФД, А ТАКЖЕ ДЛЯ ОБСЛУЖИВАНИЯ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ

Ю. Р. Кофтан¹, Л. О. Перетяцько²

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

¹ ykoftan@meteo.ru, ² leon0121@yandex.ru

1. Современное состояние технологий работы с электронными данными ЕГФД

В Российской Федерации функции по оказанию услуг в области гидрометеорологии, мониторинга состояния окружающей среды, определения уровня ее загрязнения осуществляет Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды – Росгидромет. Для мониторинга окружающей среды Росгидромет имеет наблюдательную сеть, систему стационарных и подвижных пунктов наблюдений, которая проводит регулярные метеорологические, аэрологические и другие наблюдения. В состав Росгидромета входят 25 территориальных управлений по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (УГМС), в которые стекаются все данные, полученные наблюдательной сетью на данной территории.

Единый государственный фонд данных о состоянии окружающей среды, ее загрязнении (ЕГФД) является ведомственным архивным фондом, в рамках которого обеспечивается долговременное (в том числе и постоянное) хранение государственных информационных ресурсов Росгидромета и обслуживание потребителей. Головной организацией формирования ЕГФД является Федеральное государственное бюджетное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт гидрометеорологической информации – Мировой центр данных» (ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД»), который осуществляет обработку полученных данных и пополнение ЕГФД – долговременного хранилища данных.

ЕГФД представляет собой упорядоченную, постоянно пополняемую совокупность документированной информации о состоянии окружающей среды, ее загрязнении, получаемой в результате работы наблюдательной сети Росгидромета, а также информацию общего назначения и специализированную информацию в области гидрометеорологии и смежных с ней областях. Данные ЕГФД хранятся на носителях различных видов: бумажных, микрофишах и электронных (магнитных лентах, жестких дисках и оптических носителях) [1].

Существенную ценность ЕГФД представляют данные, полученные системой наблюдений Росгидромета. Для хранения данных наблюдений в электронной форме во ВНИИГМИ-МЦД разработаны:

- Язык описания гидрометеорологических данных (ЯОД), который реализует иерархическую модель данных представления результатов наблюдений на сети Росгидромета и принят в качестве отраслевого стандарта Гидрометеослужбы в 1978 г. [2];

- Комплекс программных средств формирования электронных данных в формате ЯОД для пополнения ЕГФД текущей режимной информацией на основе результатов наблюдений на сети Росгидромета (ПЕРСОНА МИС, ПЕРСОНА АРМ, Реки-режим, ARMAGRO) [3, 4];

- Комплекс программных средств накопления оперативных метеорологических данных на основе реляционной СУБД (система Омега), предназначенный для приема, обработки и накопления в базе данных в реальном масштабе времени информации, поступающей по каналам передачи данных [5];

- Комплекс программных средств для эффективной работы с архивами ЕГФД АИСОРИ (Автоматизированная информационная система обработки режимной информации), включающий инструменты для решения спектра задач от обработки входящих из системы наблюдения Росгидромета и зарубежных источников данных до хранения и представления данных потребителям [6].

Разработанные во ВНИИГМИ технологии и программные продукты позволяют создавать и хранить в Фонде данные, полученные на наблюдательной сети Росгидромета в форме максимально отражающей структуру и форматы первичных данных наблюдений и измерений [1]. Данные наблюдений и измерений

на наблюдательной сети Росгидромета хранятся в Фонде в виде файловых архивов в формате ЯОД.

В ЕГФД хранится несколько уровней первичных данных наблюдений и измерений. На первом уровне хранятся данные, полученные ВНИИГМИ из УГМС и других источников, выполняющих наблюдения и измерения параметров окружающей среды и ее загрязнения. Верхним уровнем электронного хранилища данных наблюдений и измерений Росгидромета в настоящее время являются РСБД – режимно-справочные банки данных по видам наблюдений, содержащие первичные данные системы наблюдений, преобразованные в Нормализованные структуры данных для удобства обслуживания запросов потребителей. Нормализация может осуществляться по-разному для разных архивов, чаще всего – это преобразование первичных данных в непрерывные ряды многолетних наблюдений и измерений, но сами данные не преобразуются (сохраняют свое первоначальное значение как в архивах первого уровня ЕГФД). Кроме данных системы наблюдений в Нормализованную структуру включаются метаданные конкретного РСБД архива, документация, протоколы, рабочие файлы.

В настоящее время в ЕГФД Росгидромета размещены и пополняются электронные ресурсы в виде данных наблюдений и измерений об окружающей среде и ее загрязнении. Данные представлены в формате файловых ЯОД-архивов нескольких уровней: от данных, полученных из УГМС (в ЯОД-формате) и из каналов передачи данных (преобразованных в ЯОД-формат во ВНИИГМИ-МЦД) до Нормализованных РСБД архивов.

Обработка данных производится по формальным синтаксическим признакам и представляет собой выявление структурных дефектов файлов, оценку качества данных, а также преобразование структуры хранимых архивов в вид удобный для обслуживания потребителей (например, в многолетние ряды данных по точке наблюдений). Содержательная (семантическая) проверка производится только для выявления заведомо недопустимых значений параметров (например, выхода значений за допустимые границы).

Выборка и представление потребителям данных наблюдений и измерений из электронных архивов ЕГФД осуществляется инструментами комплекса программных средств АИСОРИ с использованием языка запросов в архивы ЯОД-файлов. В настоящее

время АИСОРИ может предоставлять пользователям выборки данных в виде файлов, содержащих плоские таблицы с разделителями пробел или точка с запятой (текстовый формат CSV).

2. Задачи развития технологий работы с ЕГФД

Дальнейшее развитие технологий работы с Единым государственным фондом данных о состоянии окружающей среды, ее загрязнении планируется осуществлять в нескольких направлениях:

- 1) расширение пула источников входных данных, используемых для пополнения ЕГФД;
- 2) разработка технологии верификации данных РСБД ЕГФД по достоверности хранимой информации, то есть создание инструментов нахождения и исправления содержательных (семантических) ошибок;
- 3) расширение пула форматов выходных данных, предоставляемых потребителям при выполнении запросов в Фонд.

По первому направлению в качестве первоочередной задачи необходимо разработать технологии и программные средства пополнения ЕГФД на основе сообщений БАФР, т.е. сообщений, передающихся по Глобальной сети телесвязи Всемирной метеорологической организации (ГСТ ВМО) в виде кодовых форм BUFR (Binary Universal Form for Representation meteorological data – двоичная универсальная форма для представления метеорологических данных).

Необходимо также настроить технологию создания режимно-справочных банков данных (РСБД) АИСОРИ для более оперативной обработки помесечных ЯОД-архивов приземной метеорологии по текущему году, поступающих во ВНИИГМИ-МЦД из Управлений гидрометслужбы (УГМС). После тестирования и частичной нормализации можно с начала текущего года начинать формировать по станциям архив текущего года. Этот архив будет пополняться по мере поступления новых данных из УГМС. После доведения глубины обработки поступивших данных до полной нормализации архива он будет включен в РСБД, т.е. в архив, содержащий непрерывные ряды многолетних наблюдений и измерений.

Второе направление развития ЕГФД – устранение содержательных (семантических) ошибок в РСБД требует организовать обратную связь с потребителями данных ЕГФД, так как

семантические ошибки выявляются и корректируются специалистами предметной области в процессе использования данных наблюдений и измерений. Для сравнения откорректированных пользователями массивов данных с ЯОД-архивами ЕГФД надо разработать систему преобразования (конвертации) данных различных форматов представления, возвращенных пользователями, в формат ЯОД. Система должна обеспечить конвертацию в ЯОД-файлы данных в виде плоских таблиц с разделителями пробел или точка с запятой (текстовый формат CSV), а также в виде реляционных структур современных СУБД (последние широко используются продвинутыми потребителями при обработке данных). При этом необходимо иметь инструменты доказательства адекватности конвертированных в ЯОД-файлы данных с массивами, возвращенными пользователями. Также следует учесть, что данные могут быть исправлены в архивах ЕГФД только после проверки их по первичным источникам наблюдения и измерения, например: по книжкам наблюдения на метеостанции.

Для хранения верифицированных по содержательным признакам данных, в Фонде предполагается создать новый уровень с условным наименованием Верифицированные РСБД, сохраняя Нормализованные РСБД-архивы в настоящем виде.

Третье направление развития ЕГФД – расширение пула форматов выходных данных, предоставляемых потребителям. Первоочередная задача этого направления – добавить к предлагаемым потребителям форматам предоставления данных выборки из РСБД в виде реляционных структур, которые можно использовать в реляционных СУБД. Для этого необходимо разработать конвертор данных из иерархических структур ЯОД-файлов и плоских таблиц в адекватные реляционные структуры данных.

Второе и третье направления развития ЕГФД технологически объединяет необходимость конвертации массивов данных одной структурной организации в другую. Для обработки данных наблюдений и измерений сети Росгидромета в настоящее время используются три модели данных:

- данные иерархической структуры – наиболее близкие к исходным данным, получаемым сетью наблюдений Росгидромета;
- данные плоских табличных структур – наиболее простые в обработке;

- данные реляционной структуры – т.к. большинство современных систем управления базами данных (СУБД) являются реляционными.

Грамотным инженерным решением является разработка единого комплекса программ взаимной конвертации иерархической, реляционной и табличной структур.

Структура комплекса программ:

- подсистема конвертации реляционной базы данных в файл с данными в формате ЯОД;

- подсистема конвертации файлов данных в формате ЯОД в реляционную базу данных;

- подсистема конвертации реляционной базы данных в плоскую таблицу – задача выполняется штатными средствами любой реляционной СУБД;

- подсистема конвертации файлов данных в формате ЯОД в плоскую таблицу – задача выполняется средами комплекса АИСОРИ;

- подсистема конвертации данных, представленных в виде плоской таблицы, в файлы данных в формате ЯОД.

- подсистема проверки адекватности результатов конвертации данных с целью выявления и устранения ошибок искажения структуры данных или же самих данных.

Оценка адекватности выполняемых преобразований путем:

- проверки адекватности связей между параметрами в разных моделях представления данных;

- проверки идентичности результатов запросов к данным разных моделей представления; для решения этой задачи необходимо разработать метод формирования адекватных запросов (транслятор запросов);

- сравнения исходного массива данных с массивом, полученным путем прямой, а затем обратной конвертации.

3. Основные задачи взаимной конвертации данных иерархической и реляционной структур

Наиболее сложными в реализации перечисленных в разделе 2 подсистем являются подсистемы конвертации реляционной структуры данных в иерархическую и наоборот. Поэтому анализ подходов к алгоритмам этих преобразований является ключевым звеном в задачах взаимной конвертации.

3.1. Иерархическая модель данных

Иерархическая модель данных – это модель данных в виде древовидной структуры, представляющая собой совокупность узлов (сегментов), имеющих отношение «предок–потомок» и образующих граф в виде дерева. [7].

К основным понятиям иерархической структуры относятся поле, сегмент (узел), экземпляр сегмента, уровень, связь.

Сегмент, у которого нет предка, называется **корнем дерева** и располагается на самом верхнем уровне иерархии. Все узлы, которые находятся ниже корневого узла, являются **потомками корня**, располагающиеся на втором, третьем и т. д. уровнях. Каждый **узел (сегмент)** более высокого уровня может иметь либо несколько потомков, либо ни одного, но у каждого потомка есть лишь один предок.

Поле – это наименьшая неделимая единица данных.

Сегмент (узел) – это поименованная совокупность полей (поименованный линейный кортеж полей данных).

Экземпляр сегмента – это некоторая логическая запись, описывающая конкретный объект предметной области.

Пример схемы иерархической модели данных представлен на рис. 1.

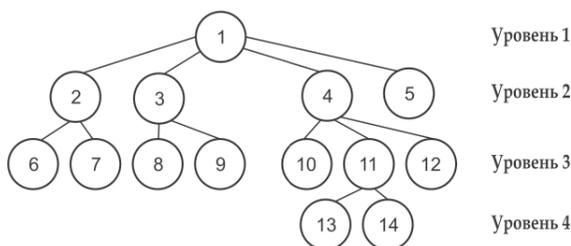


Рис. 1

Каждый элемент структуры лежит на единственном иерархическом пути, начинающемся от корневого. Иерархические базы данных наиболее пригодны для моделирования структур, по своей природе являющихся иерархическими.

В частности, такой структурой описываются данные наблюдений и измерений, получаемые на наблюдательной сети Росгидромета, при помещении этих данных в ЕГФД иерархическая структура данных сохраняется.

Для хранения и обработки иерархически организованных данных наблюдений и измерений во ВНИИГМИ-МЦД был разработан язык описания гидрометеорологических данных – ЯОД [2], который принят в качестве стандарта в Росгидромете в 1978 году.

В основе ЯОД лежит иерархическая модель данных, и он предназначен для описания логической и физической структуры режимных и исторических гидрометеорологических данных. В ЯОД определены способы представления данных иерархической структуры в виде последовательности записей, состоящих из отдельных элементов и их объединений – групп, которые могут быть вложенными. Каждая запись, группа и элемент имеет уникальное имя.

Запись – это совокупность данных, в состав которой могут входить элементы и группы. Первым элементом записи всегда является элемент LNG, хранящий ее длину.

Если семейство содержит основные записи одного вида, то структура записи описывается следующим образом:

```

Описание_записи ::= RECORD Имя_записи [Атрибуты];
                    [Начало_записи]
                    [Тело_записи]
END;

Начало_записи ::= [ Элемент_LNG]
                  [Элемент_KEY |
                  Элемент_IND |
                  Элемент_MIT_CHA]

Тело_записи ::=
                  [Фиксированная_часть]
                  [Переменная_часть]

```

Начало записи может содержать элемент, определяющий ее длину – элемент LNG, для файлов формата V (с переменной длиной записи) он обязателен, а также совокупность признаков.

Если семейство содержит записи многих видов, то структура записи описывается следующим образом:

```

Описание_записей ::= RECORDS [Атрибуты];
                    Начало_записи
                    Элемент_MRC
                    { RBODY (Значение_MRC) Имя [Атрибуты];
                    [Тело_записи]
                    END;
                    }
END;

```

Предложение RECORDS служит заголовком для описания записей всех видов. Так как все записи имеют одинаковое начало, оно описывается один раз перед описанием тел записей. В отличие от случая записей одного вида начало записи всегда содержит элемент, определяющий ее длину, далее могут следовать один или несколько ключей.

Группа – это набор элементов определенного типа. Группа имеет имя и тип. Группы бывают следующих типов:

- Простая группа – не имеет внутренних групп. Это группы вида GRE и GRR.
- Повторяющаяся группа – входит в состав записи или другой группы в нескольких экземплярах. Это группы вида GRP, GRV и GRK.
- Неповторяющаяся группа – входит в состав записи или другой группы в единственном экземпляре. Это группы вида GRE и GRR.

Элемент – это наименьшая неделимая единица данных. Элемент имеет имя и тип. Элементы бывают следующих типов:

- Ключ KEY используется для идентификации экземпляров записей.
- Индекс IND используется для идентификации экземпляров групп GRP и GRV.
- Элемент MRC используется в случае записей нескольких видов для идентификации вида записи.
- Элемент CHA используется в качестве некоторой дополнительной характеристики основного элемента.
- Счетчик CNT используется для хранения количества экземпляров группы RGV или GRK.
- Элемент LNG используется для хранения длины экземпляра записи.

Признак – это элемент, идентифицирующий экземпляр записи.

Признаки могут быть ключами (KEY), то есть элементами, которые явно входят в запись, или индексами (IND), которые явно в запись не входят. Перемешивание ключей и индексов не допускается.

3.2. Реляционная модель данных

В основе реляционной модели [7] лежит математическое понятие **отношения**, физическим представлением которого является двумерная таблица. В реляционной модели отношения используются для хранения информации об объектах, представленных в хранилище данных. Важным свойством такой модели является то, что все данные находятся в таблицах и только в таблицах.

Основные понятия реляционных баз данных.

Отношение – это подмножество декартова произведения или плоская таблица.

Декартово произведение – это произведение двух или более множеств.

$$A = \{a_1, a_2, \dots, a_n\};$$

$$B = \{b_1, b_2, \dots, b_n\};$$

$$A \cdot B = \{ \langle a_i, b_j \rangle \mid a_i \in A (i = 1, \dots, n), b_j \in B (j = 1, \dots, n) \};$$

$A \cdot B$ – декартово произведение двух множеств;

$\langle a_i, b_j \rangle$ – множество кортежей.

Кортеж – это упорядоченное множество, в котором количество элементов равно количеству перемножаемых множеств или запись в таблице.

Атрибут – свойство объектов предметной области или заголовков столбца таблицы.

Сущность – это отношение, построенное на атрибутах.

Связь – это отношение, построенное на сущностях.

Тип данных – множество значений данного типа с определенным набором операций, применимых к этим значениям.

Домен – совокупность допустимых значений атрибута.

Первичный ключ – это атрибут, однозначно идентифицирующий каждый экземпляр записи в отношении.

Внешний ключ – это атрибут или множество атрибутов одного отношения, которые являются первичными ключами в других таблицах.

На рис. 2 представлена совокупность понятий реляционной модели.



Рис. 2

3.3. Описание моделей конвертируемых данных и иерархических структур, описывающих эти модели

Модель данных наблюдений и измерений параметров окружающей среды, хранящихся в Фонде, является иерархической. Разработанный в конце 70-х годов XX века во ВНИИГМИ-МЦД язык описания гидрометеорологических данных (ЯОД) обеспечил адекватное представление данных первичных наблюдений и измерений, получаемых наблюдательной сетью Росгидромета. Созданный на основе ЯОД комплекс программ формирования данных ЕГФД и управления ими позволяет достаточно эффективно решить задачи долговременного хранения и использования данных Фонда и, что существенно, обеспечивает национальную независимость решения этих задач.

Модель ЯОД-представления данных наблюдений и измерений параметров окружающей среды после нормализации исходных данных (в виде РСБД) представлена на рис. 3.

Иерархические структуры моделей различных видов данных наблюдений и измерений об окружающей среде имеют отличия, поэтому для анализа принципов конвертации выбраны две граничные по сложности структуры данных: иерархическая структура данных аэрологических наблюдений (как самый простой вид организации

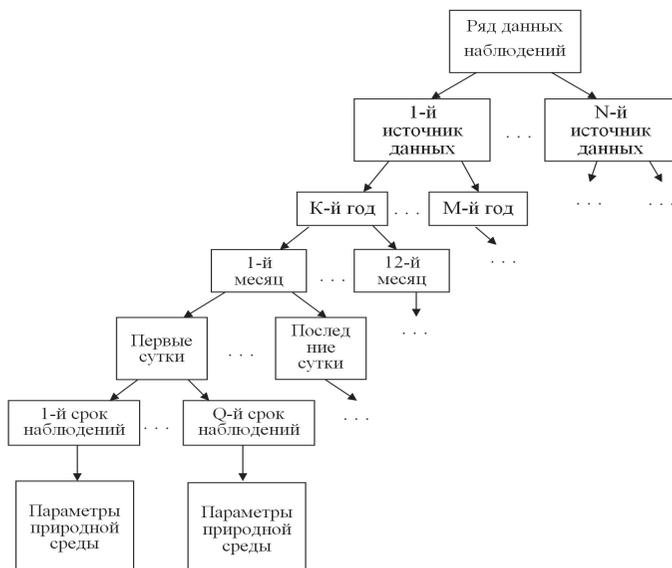


Рис. 3

данных) и иерархическая структура данных метеорологических наблюдений (как наиболее сложно организованные данные).

Обобщенная иерархическая структура данных аэрологических наблюдений на основе ЯОД-описания (рис. 4).

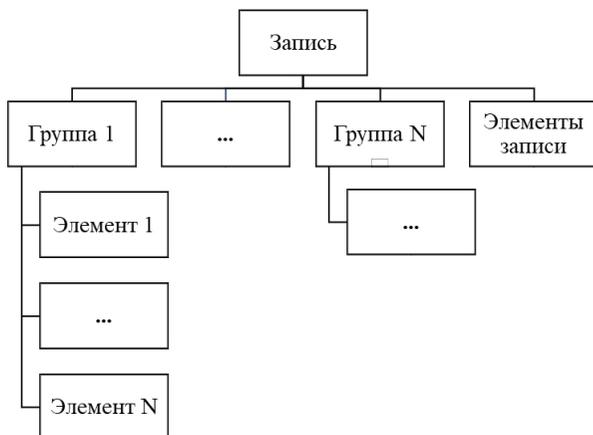


Рис. 4

Пример ЯОД-описания данных аэрологических наблюдений
(сокращенный вариант)

FAMILY АЕРОСТАС V(32000); //ОПИСАНИЕ СЕМЕЙСТВА ФАЙЛОВ
АЭРОЛОГИЧЕСКИХ ДАННЫХ

RECORD НАБЛСРОК; // Начало записи

LNG ДЛЗАП FA(5) PC(5); // Длина записи

KEY(I,СПСТАЊ) СТАНЦИЯ AA(7) PA(7); // Синоптический индекс АЭ или
радиопозывные судна

KEY(I) ГОД FA(4) PC(4); // Год

KEY(I) МЕСЯЦ FA(2) PC(2); // Месяц

KEY(I) ДЕНЬ FA(2) PC(2); // День

KEY(I) СРОК FA(2) PC(2); // Время наблюдения по ВСВ, округленное до целых
час

MIT ВРЕМЯ FA(4) PC(4); // Время наблюдения по ВСВ, в час и мин.

KEY(U) ШИРОТА FA(5) PC(7,2) D(2); // Широта

KEY(U) ДОЛГОТА FA(6) PC(8,2) D(2); // Долгота

...

MIT ТЕМПОВ FA(5) PC(7,2) D(2); // Температура пов. слоя воды, град.Цельсия

CHA(ТЕМПОВ) Q FA(1) PC(1) NA; // Признак качества

GRE ОБЛАКА; // Данные облачности в цифрах кода КН-01

MIT ОБЛНКОЛВ FA(2) PC(2); // Кол-во облаков Nh. К.т. 2700

CHA(ОБЛНКОЛВ) Q FA(1) PC(1) NA; // Признак качества

...

END ОБЛАКА;

GRV(СЧЕТПОВ) НАБЛПОВ ; // Счетчик поверхностей

IND(1000) i PC(4);

MIT КОД FA(2) PC(2); // Код уровня

MIT ДАВЛАТМЗ FA(6) PC(8,2) D(2); // Давление воздуха, гПа до 0,01

CHA(ДАВЛАТМЗ) Q FA(1) PC(1) NA; // Признак качества

MIT ВЫСОУРОЗ FA(5) PC(5); // Высота уровня (геопотенциал), гп.метрах

CHA(ВЫСОУРОЗ) Q FA(1) PC(1) NA; // Признак качества

MIT ТЕМВОЗДЗ FA(5) PC(8,2) D(2); // Температура, град. Цельсия. Для макс.

в.- сдвиг ветра ниже

CHA(ТЕМВОЗДЗ) Q FA(1) PC(1) NA; // Признак качества

MIT ДЕФТЧРОЗ FA(5) PC(7,2) D(2); // Дефицит т. росы, град. Цельсия. Для макс.

в.- сдвиг ветра выше

CHA(ДЕФТЧРОЗ) Q FA(1) PC(1) NA; // Признак качества

MIT ВЕТНАПРЗ FA(4) PC(4); // Направление ветра, градусы

CHA(ВЕТНАПРЗ) Q FA(1) PC(1) NA; // Признак качества

MIT ВЕТСКОРЗ FA(4) PC(5,1) D(1); // Скалярная скорость ветра, м/с до 0,1.

CHA(ВЕТСКОРЗ) Q FA(1) PC(1) NA; // Признак качества

MIT EOS ВІ(2) PC(4); // Коды перевод строки и возврат каретки

END НАБЛПОВ;

END НАБЛСРОК;

Обобщенная иерархическая структура данных метеорологических наблюдений на основе ЯОД-описания на рис. 5.

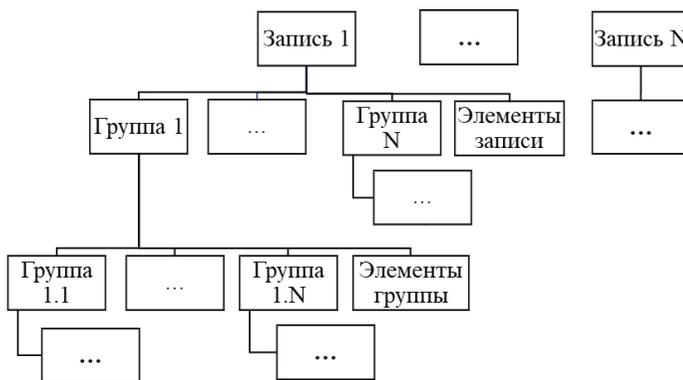


Рис. 5

Пример ЯОД-описания данных срочных метеорологических наблюдений
(сокращенный вариант)

```

// TMC
FAMILY SI V(4044);
RECORDS;
  LNG ДЛЗАП В(2) РС(4); //
  МПТ НУЛИ В(2) РС(4); //
  KEY(I,СПГОД ) ГОД В(2) РС(4); // Год
  KEY(I,СПМЕСЯЦ ) МЕСЯЦ В(1) РС(2); // Месяц
  KEY(U) СТАНЦИЯ В(4) РС(7); // Станция
  MRC(1) ТИПЗАП В(1) РС(2); // Тип записи (1-12)

RBODY(1) CONST; // Паспортные данные станции

  МПТ НАИМЕНСТ А(20) РА(20) NA; // Наименование станции
  МПТ КООРДНОМ В(4) РС(7) NA; // Координатный номер станции
  МПТ НОМУПРАВ В(1) РС(2) NA; // Номер УГМС
  МПТ НОМЧАСП В(1) РС(2) NA; // Номер часового пояса
  МПТ ПРГЕОРАС В(1) РС(1); // Признак географического расположения
  МПТ КОЛСРОК В(1) РС(1) NA; // Количество сроков наблюдения
  ...
  GRP GRS1; // На глубинах под естественным покровом
  IND(7) ГЛУБИНЫ РС(1); // Глубина
  МПТ ПРНВЫИТТ В(1) РС(1); // Наличие вытяжного термометра
  END GRS1;
  GRP GRS2; // На глубинах под естественным покровом
  IND(10) ГЛУБИНЫ РС(2); // Глубина
  МПТ ПРНЭЛЕКТ В(1) РС(1); // Наличие электротермометра
  END GRS2;
  
```

MIT ДНАЧПНОЧ В(1) РС(2); // День начала полярной ночи
MIT МНАЧПНОЧ В(1) РС(2); // Месяц начала полярной ночи
...
GRP БЕТА;
IND(3) ДЕКАДА РС(1);
MIT ПРСУТКСР В(1) РС(1); //Сут.кол.сроков набл
СНА(ПРСУТКСР) Q В(1) РС(1) NA; // т.п,ест.п.гл(2=40)
END БЕТА;
GRP ЗАММИНТ;
IND(4) ЗАМЕНМТ4 РС(1);
MIT ДЕНЬЗАМТ В(1) РС(2); //День замены мин.тер
СНА(ДЕНЬЗАМТ) Q В(1) РС(1) NA;
MIT СРОКЗАМТ В(1) РС(2); //Срок замены мин.тер
СНА(СРОКЗАМТ) Q В(1) РС(1) NA;
END ЗАММИНТ;
GRP ДЕЛЬТА;
IND(3) ДЕКАДА РС(1);
MIT ОССУМПДК В(1) РС(3,1) D(1); //Сум.попр.на смачив.
СНА(ОССУМПДК) Q В(1) РС(1) NA; // осадком.за декаду
END ДЕЛЬТА;
GRP ПРОДОЛСС;
...
END ПРОДОЛСС;
GRP ДОПШТМИН;
...
END ДОПШТМИН;

MIT КОЛДОППР В(1) РС(1); //Кол.доп.попр.мин.т.
MIT ПРВВЕДП В(1) РС(1); //Призн.введ.поправки
END CONST;

RBODY(2) SUTKI; // Срочные данные за сутки
KEY(1) ДЕНЬ В(1) РС(2); // День
CNT СЧКООРД В(1) РС(1); // Признак дрейфующей станции
GRP ВЫСОТАСП;
IND(3) РЕЙКИЗ РС(1); // Номер рейки
MIT СНЕПВЫСМ В(2) РС(4); // Высота снежного покрова
СНА(СНЕПВЫСМ) Q В(1) РС(1) NA; // Признак качества
END ВЫСОТАСП;
...
GRP SROKM;
...
END SROKM;

GRV (СЧКООРД) KOORD;
IND(1) ПРНАЛИЧ РС(1);
MIT ШИРОТАДС В(2) РС(5,2) D(2); //Широта дрейф.станц.
СНА(ШИРОТАДС) Q В(1) РС(1) NA; // нат.знач.град,мин.
MIT ДОЛГОТАС В(2) РС(6,2) D(2); //Долгота дрейф.станц
СНА(ДОЛГОТАС) Q В(1) РС(1) NA; // нат.знач.град,мин.
MIT ОПРПОЛУШ В(1) РС(1); //Определит.полушария
СНА(ОПРПОЛУШ) Q В(1) РС(1) NA;

```
    END KOORD;
END SUTKI;

RBODY(3) TPOCHV; //Температура почвы на глубинах
...
END TPOCHV;

RBODY(4) GELIO; // Данные гелиографа
...
END GELIO;

RBODY(5) TGGRAF; // Данные термографа и гигрографа
...
END TGGRAF;

RBODY(6) SNEG; // Данные снегосъемок
...
END SNEG;

RBODY(7) REGEN; // Данные пювиографа
...
END REGEN;

RBODY(8) OBLJAW; // Данные об обледенении и особо опасных явл.
...
END OBLJAW;

RBODY(9) ATMOS; // Данные об атмосферных явлениях
...
END ATMOS;

RBODY(10) CONPC; // Служебные данные о контроле
...
END CONPC;

RBODY(11) SYNSEM;
...
END SYNSEM;

RBODY(12) PLUV;
...
END PLUV;

END;
```

3.4. Основные принципы взаимной конвертации

Анализ приведенных в подразделе 3.3 структур для представления, хранения и обработки данных наблюдений и измерений позволяет сформулировать основные принципы преобразования данных различных форм представления.

1. Файлы ЯОД-описания данных по разным видам наблюдения параметров окружающей среды являются ключевыми конструкциями, определяющими процесс взаимной конвертации (преобразования) данных различных форм представления без потери адекватности содержания.

2. При конвертации из реляционной структуры в иерархическую ЯОД-структуру или плоскую табличную структуру осуществляется выборка данных SQL-запросом SELECT и запись их в соответствующие структуры ЯОД-файла (RECORD/RECORDS, RBODY и группы) или столбцы плоской таблицы.

3. При конвертации из иерархической ЯОД-структуры в реляционную структуру на основе ЯОД-описаний генерируются реляционные отношения (таблицы реляционной БД) и связи между отношениями. Параметры и признаки из ЯОД-описания используются для генерации атрибутов отношений (заголовков столбцов таблиц). Предполагается автоматическая генерация структуры базы на основе записей и групп ЯОД-файла и диалоговая корректировка структуры.

4. При конвертации подбираются форматы данных конкретной реляционной СУБД, соответствующие форматам данных ЯОД-описания.

5. Контролируемой сущностью при конвертации и проверке адекватности преобразованных баз является кортеж данных, включающий данные наблюдений и измерений из исходного файла: параметры окружающей среды, признаки описывающих источник данных (стационарный или мобильный и др.) и временные привязки (год, месяц, сутки, срок получения данных).

В реляционной структуре такой кортеж представлен сводным кортежем связанных отношений (склежкой строк связанных таблиц), а в иерархической структуре – совокупностью кортежей всех узлов дерева от наблюдаемых/измеренных в конкретный срок параметров до корня дерева.

Контролю подлежат:

- полнота переноса в новую (конвертированную) базу всех данных из исходной (конвертируемой);
- связи между данными: в конвертированной БД проверяется наличие исходных связей как по количеству, так и виду связи, а также отсутствие в результирующей базе связей, не имеющих в исходной БД;
- соответствие форматов параметров в исходной и конвертируемых базах.

Заключение

Решение поставленных задач развития позволит повысить полноту и достоверность данных ЕГФД и улучшить качество обслуживания потребителей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Веселов В.М.* Структура и информационные технологии ЕГФД. История и перспективы // Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2014. Вып. 177. С. 5–27.
2. *Веселов В.М.* Язык описания гидрометеорологических данных для IBM PC совместимых ПЭВМ // Труды ВНИИГМИ-МЦД. 1995. Вып. 160. С. 41–54.
3. *Правосудько Т.П., Сомова С.М., Амельченко Е.В., Волкова Л.А.* Информационная технология формирования массивов с данными первичных агрометеорологических наблюдений в унифицированном формате. // Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2014. Вып. 178. С. 112–122.
4. *Зубрицкая Е.Н., Сомова С.М.* Адаптация автоматизированной системы ПЕРСОНА МИС к современным условиям модернизации метеорологической наблюдательной сети // Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2014. Вып. 177. С. 70–76.
5. *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.
6. *Веселов В.М., Прибыльская И.Р.* Система управления данными АИСОРИ. Общее описание. Обнинск: ВНИИГМИ-МЦД. 1981. 103 с.
7. *Хомоненко А.Д., Цыганков В.М., Мальцев М.Г.* Базы данных: Учебник для высших учебных заведений / Под ред. проф. А.Д. Хомоненко. 4-е изд., доп. и перераб. СПб.: КОРОНА принт, 2004. 736 с.

УДК 551.583

К ВОПРОСУ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КЛИМАТИЧЕСКОЙ ОБЕСПЕЧЕННОСТИ

А. А. Воронцов¹, С.Р. Степаненко²

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

¹ vorov@meteo.ru, ² stepanenko.1941@mail.ru

Понятие «обеспеченность» широко используется в прикладной климатологии, основная задача которой – обеспечение хозяйствующих организаций информацией о режиме колебаний погодных условий.

Обеспеченность гидрометеорологической величины – это вероятность того, что значение рассматриваемой переменной может превысить заданную величину. Искомая обеспеченность определяется суммированием повторяемости в убывающем порядке [1].

Суммарная кривая повторяемости (число случаев в %) называется эмпирической интегральной кривой. Для получения этой кривой обычно требуются данные за несколько десятилетий. Полученные значения обеспеченности служат прогнозом верхней границы величины на следующий такой же период. Очевидно, что в условиях быстрого изменения климата такой прогноз может оказаться не адекватным реальным условиям в течение прогнозного периода.

Следует отметить, что в основе существующего метода определения климатической обеспеченности лежит концепция математической статистики, рассматривающая результаты измерений как однородную статистическую совокупность дискретных событий.

Однако данные гидрометеорологических измерений, во-первых, характеризуют сложный непрерывно изменяющийся динамический процесс системы, а не совокупность независимых событий, как того требуют методы математической статистики, а, во-вторых, эти данные являются физически (и статистически) неоднородными по времени и по пространству, т.е. нарушается еще одно условие применения статистических методов. Все это, безусловно, может приводить к неправильным оценкам статистических характеристик, в частности к неправильным значениям обеспеченности. Поэтому ряды для статистического анализа

стремятся получать при однородных физических условиях, в частности при одинаковых значениях потока внешней радиации и одинаковых условиях на подстилающей поверхности.

Неоднородность протекания погодных условий, помимо внешних причин, обусловлена неравновесным характером процессов теплообмена в климатической системе, порождающим внутренние нерегулярные колебания в широком спектре частот. Природу собственных колебаний можно интерпретировать как результат влияния внутренних не постоянных источников тепла, спонтанно возникающих в неравновесной системе.

В этих условиях для формирования статистических рядов необходимо использовать модель колебания метеорологических переменных в виде временного ряда

$$u(t) = f(t) + e(t), \quad (1)$$

где $f(t)$ – закономерные колебания, а $e(t)$ – случайная составляющая.

Задавая уровень U_k ряда $u(t)$, найдем ряд $\varepsilon_v = e(t_v)$, где значения t_v такие, для которых $f(t_v) = U_k$. Если ряд ε_v является случайным, то по нему можно вычислять статистические характеристики, включая искомую обеспеченность.

Рассмотрим пример. Пусть ряд $u(t)$ есть среднемесячные значения приземной температуры воздуха, а $f(t)$ – многолетний годовой ход. Пусть $U_m < U_k < U_x$, где U_m , U_x – наименьшее и наибольшее значения годового хода. Для любого U_k ряд ε_i будет неоднородным, т.к. при одинаковых значениях U_k весной и осенью отклонения от многолетних значений будут разные вследствие разного характера общей циркуляции атмосферы. Следовательно, в функцию f необходимо включить параметр циркуляции или просто разделить ряд ε_v на два ряда ε_{v1} , ε_{v2} , соответствующие двум разным месяцам, как обычно и поступают на практике.

Для заданного месяца k отклонения среднемесячных значений температуры воздуха от многолетних значений ε_{vk} , как известно, образуют неслучайную пространственную совокупность (непрерывное поле). Совокупность полей во времени можно рассматривать как волновой процесс. Если период волнового процесса много меньше года, то значения поля в каждой точке за разные годы будут статистически независимыми и по значениям ε_{vk} можно определять статистические характеристики. В противном случае функцию $f(t)$ необходимо дополнить закономерным колебанием с периодом больше года.

Таким образом, возникает задача оценки закономерной компоненты колебаний полей среднемесячных значений температуры воздуха. Эта оценка выполнена в [2], где дано развитие физико-статистического подхода к пространственно-временному анализу полей и показано, что отклонения от «нормы» u'_{jk} содержат, по меньшей мере, две регулярные составляющие (главные компоненты полей), характеризующие синхронные (глобальные, климатические) колебания $S(t)$, и асинхронные (локальные) колебания $A(t)$, обусловленные колебанием общей циркуляции атмосферы.

Итак, отклонения от «нормы» u'_{ijk} (i – номер точки на сетке, j – номер года, k – номер месяца) можно представить в виде [2]

$$u'_{ijk} = S_{ijk} + A_{ijk} + \Delta_{ijk}, \quad (2)$$

где Δ_{ijk} – метеорологический «шум».

Если для модели (2) построить поля составляющих, то получим, что поля синхронной и асинхронной компонент представляют собой непрерывные функции, а поле «шума» Δ_{ijk} напоминает турбулентное движение, откуда следует, что многолетний ряд Δ_{ijk} для заданной точки и заданного месяца можно считать статистическим рядом, и к нему применимы статистические обобщения. Обеспеченность закономерной компоненты определяется величиной погрешности ее аппроксимации или прогноза.

Для разработки метода определения климатической обеспеченности важно знать соотношение дисперсий суммарной составляющей $G_{ijk} = S_{ijk} + A_{ijk}$ и дисперсии «шума» Δ_{ijk} . Если дисперсия G_{ijk} невелика по сравнению с дисперсией u'_{ijk} , то закономерной компонентой можно пренебречь и вычисление обеспеченности по существующим методам можно считать полностью оправданным.

На рисунке, где показан усредненный по годам годовой ход среднеквадратических отклонений (СКО) колебаний G_{ijk} и СКО «шума» Δ_{ijk} , видно, что СКО колебаний G_{ijk} на порядок больше СКО «шума». Следовательно, применение статистических обобщений, включая определение обеспеченности по отклонениям от «нормы» является некорректным.

В [3] показано, что если погрешность эмпирических данных невелика, то динамический процесс можно прогнозировать с помощью модели авторегрессии.

Оценим возможность применения авторегрессии для аппроксимации рядов S_{ijk} , A_{ijk} , полученных по среднемесячным значениям температуры воздуха. Представим значения S_{ijk} в виде ряда

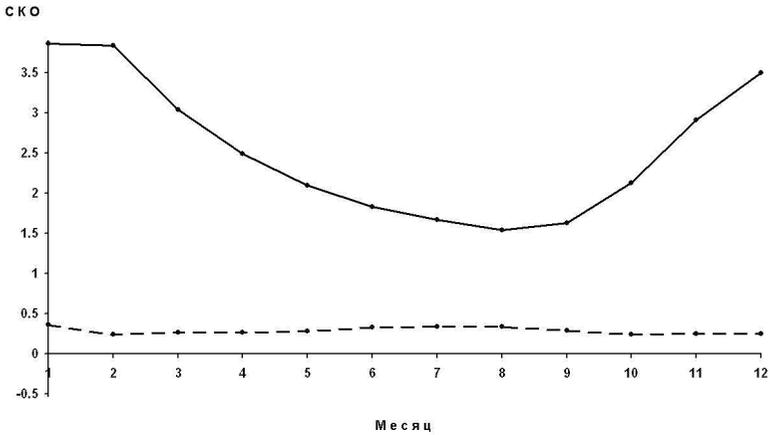


Рис. Годовой ход СКО суммарной составляющей G_{ijk} (сплошная кривая) и шума Δ_{ijk} (пунктир)

$S_t(x)$, где x – координаты горизонтальной сетки, t – непрерывное время. Запишем значение $S_t(x)$ в виде

$$S_t(x) = a_1 S_{t-1}(x) + a_2 S_{t-2}(x) + \dots + a_k S_{t-k}(x), \quad (3)$$

где k – порядок авторегрессии, a_k – эмпирические параметры, определяемые по методу наименьших квадратов (МНК).

Для среднемесячных значений температуры воздуха на территории бывшего СССР за период 1886–2004 гг. значение коэффициента детерминации R^2 модели (3) в среднем за все годы для разных значений k оказались для $k = 1$, $R^2 = 93,1$; для $k = 2$, $R^2 = 98,3$; а для $k = 3$, $R^2 = 99,1$.

Таким образом, поля синхронных колебаний S_{ijk} аномалий среднемесячной температуры воздуха (колебания климата) можно аппроксимировать уравнением авторегрессии третьего порядка.

Возможность использования уравнения авторегрессии для мониторинга климата S_{ijk} не вызывает сомнения, а использование его для прогнозирования требует отдельного исследования.

В [2] показано, что значения асинхронных колебаний A_{ijk} также можно аппроксимировать нелинейной авторегрессией

$$A_t = \prod \alpha_k (A_{t-k} - c_k) + \Delta t, \quad (4)$$

где α_k , c_k – эмпирические параметры.

Наличие параметров c_k позволяет описывать сложную поверхность со многими особыми точками. Однако оценка параметров (4) представляет достаточно сложную задачу, поэтому для ее оценки в [2] было использовано линейное разложение (4).

При $k = 7$ коэффициент детерминации линейного разложения выражения (4) равен почти 100 %, поэтому авторегрессию можно использовать для прогноза шагами по времени.

Поскольку между компонентами G_{ijk} и A_{ijk} (между климатом и циркуляцией) существует взаимосвязь, то возможно, что включение в модель (4) переменной G_{ijk} позволит уменьшить порядок авторегрессии (4).

Рассмотрим теперь случай, когда дискретность эмпирических данных по времени мала (например, рассматриваются минимальные значения температуры воздуха за сутки). В этом случае обеспеченность (вероятность превышения заданного значения минимальной температуры) зависит от значений $G(t)$, $A(t)$ и распределения минимальной температуры в течение месяца.

Оценка обеспеченности с помощью функции распределения по градациям по выборке за месяц становится ненадежной, т. к. при объеме 30 элементов количество градаций должно быть меньше 6. Статистическая надежность обеспеченности крайних градаций в этом случае является невысокой, поэтому мы предлагаем метод определения обеспеченности на основе интегральной функции распределения.

Суть метода в следующем. Пусть мы имеем m выборок объемом $n \leq 30$. Упорядочим каждую выборку по возрастанию. Полученные ряды обозначим u_{ij} , $i = 1, n$, $j = 1, m$. Найдем для каждого i среднее значение по j , т. е. получим ряд \bar{u}_i . Если u_{ij} представляют выборки из заданного теоретического (например, нормального) закона распределения, то легко убедиться, что при достаточно большом значении m усредненный ряд \bar{u}_i идеально согласуется с теоретическим распределением. Легко убедиться, что каждая упорядоченная выборка u_{ij} является линейной функцией усредненного вариационного ряда \bar{u}_i , т. е.

$$u_{ij} = c_{0j} + c_{1j}\bar{u}_i + \delta_{ij}, \quad (5)$$

где параметры c_{0j} , c_{1j} определяются по МНК.

Параметр c_{0j} характеризует вариацию среднемесячных значений, определение обеспеченности которой рассмотрено выше.

Параметр c_{1j} характеризует значения относительного размаха колебаний переменной u_{ij} в течение j -го месяца. Абсолютные значения колебаний равны $C_{1j} = c_{1j}(\bar{u}_x - \bar{u}_m)$, \bar{u}_x , \bar{u}_m – наибольшее и наименьшее значение ряда \bar{u}_i . Крайние значения C_{1j} можно считать величиной обеспеченности. Параметр C_{1j} принципиально ничем не отличается от среднемесячных значений, поэтому для определения обеспеченности минимальных значений температуры воздуха за сутки в течение месяца также можно использовать динамический метод анализа полей. Отклонениями δ_{ij} можно пренебречь по той же причине, что и при рассмотрении полей среднемесячных значений.

Таким образом, можно сделать вывод, что динамический метод определения обеспеченности метеорологических переменных можно использовать для данных любой дискретности по времени.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Савин В.К. и др.* / Савин В.К., Краснов М.И., Шубин И.Л., Волкова Н.Г. Козина Д.А., Колесников В.П. Строительная климатология. Справочное пособие к СНиП 23-01-99. М.: НИИ строительной физики РААСН, 2006. 135 с.
2. *Воронцов А.А., Степаненко С.Р.* Физико-статистический метод разложения гидрометеорологических полей и сравнение его с методом естественных ортогональных функций // Труды «ВНИИГМИ-МЦД». 2016. Вып. 181. С. 148–152.
3. *Степаненко С.Р., Воронцов А.А.* Об основных научно-методических аспектах технологии прогнозирования сложных систем // Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций. 2008. № 4. С. 35–45.

УДК 551.5

ФИЗИКО-СТАТИСТИЧЕСКИЙ МЕТОД РАЗЛОЖЕНИЯ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ И СРАВНЕНИЕ ЕГО С МЕТОДОМ ЕСТЕСТВЕННЫХ ОРТОГОНАЛЬНЫХ ФУНКЦИЙ

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

При долгосрочном прогнозировании на основе рядов гидрометеозлементов большой длительности с помощью эмпирических методов, как правило, вначале отфильтровывают короткопериодные флуктуации.

Основные применяемые фильтры – это различные осреднения и сглаживания. Помимо прямых фильтров, для исключения короткопериодных колебаний в практике прогнозов, особенно долгосрочных, используются свойства разложения метеорологических полей по естественным ортогональным функциям (ЕОФ) [1].

В [2] отмечено, что для описания метеорологических полей можно использовать относительно небольшое количество первых ЕОФ (или главных компонент), поэтому, если восстановить поле только по главным компонентам, то из него будут исключены (отфильтрованы) короткопериодные колебания, характеризующие мелкомасштабные возмущения.

Однако это предположение не проверено должным образом; сам же метод предполагает постоянство параметров многомерной функции распределения вероятностей (что может оказаться неверным даже на относительно небольшом временном интервале); реализации многомерного поля считаются случайными без какого-либо доказательства, а пространственно-временной спектр межгодовых колебаний полей имеет только два экстремума, в короткопериодной и долгопериодной области.

Все эти обстоятельства приводят к выводу о необходимости сравнения эффективности применения ЕОФ и других подходов и методик.

Для этой цели был использован архив календарных среднемесячных значений температуры воздуха за период 1886–2004 гг.

по 166 метеорологическим станциям по всей территории бывшего СССР.

По этим материалам для каждого месяца были сформированы отдельные поля (матрицы данных 166×119 , где 166 – число станций, а 119 – количество лет).

Согласно методике ЕОФ, элементы такой матрицы $u'_{ijk} = u_{ijk} - \bar{u}_{ik}$, где \bar{u}_{ik} – средние многолетние значений u_{ijk} , можно представить в виде уравнения регрессии:

$$u'_{ijk} = g_{ijk} + e_{ijk} = c_{0jk} + \sum c_{jkt} \psi_{ikt} + e_{ijk}, \tau = 1, 2, \dots, v \quad (1)$$

здесь $g_{ijk} = c_{0jk} + \sum c_{jkt} \psi_{ikt} + e_{ijk}$ – поле u'_{ijk} , сглаженное v собственными векторами (естественными ортогональными функциями) ψ_{ikt} . Количество собственных векторов ψ_{ikt} определим по критерию $\eta = (\zeta_v - \zeta_{v-1}) / (\zeta_v - \zeta_m)$, где ζ_v – собственные числа корреляционной матрицы $R_{u'}$, а v такое, при котором $\eta < \eta_{0,01}$, где $\eta_{0,01}$ – 1 % квантиль распределения статистики η [3]. В этом случае будем считать, что все $\zeta_i, i = v+1, v+2, \dots, m$ обусловлены статистически однородным шумом. Параметры c_{jkt} для каждого k -го месяца j -го года определяются по МНК.

Для сравнения с ЕОФ рассмотрим, так называемый, физико-статистический метод [4, 5], в котором каждое значения u_{ijk} поля среднемесячной температуры воздуха можно записать в виде суммы глобальных колебаний S_{ijk} , локальных колебаний E_{ijk} и шума ε_{ijk} :

$$u_{ijk} = S_{ijk} + E_{ijk}, \quad (2)$$

$$S_{ijk} = b_{0jk} + b_{1jk}, \quad (3)$$

$$E_{ijk} = A_{ijk} + \varepsilon_{ijk}. \quad (4)$$

Применяя к (2) и (3) линейный метод наименьших квадратов (МНК), найдем компоненту S_{ijk} и отклонения от нее E_{ijk} .

Компоненту A_{ijk} будем определять с помощью смешанного полинома 6 степени по широте и долготе шаговым регрессионным анализом [6].

Отметим, что синхронная составляющая может описывать в среднем по всем случаям от 77 до 90 % исходной дисперсии.

Отметим, что движения глобальных пространственных масштабов можно определить как синхронные колебания атмосферы в целом, поскольку межгодовые колебания S_{ijk} в каждой точке сетки изменяются пропорционально одной той же величине b_{1jk} , (тем самым являются синхронными на всей сетке).

Локальные колебания синоптических масштабов E_{ijk} можно считать асинхронными колебаниями по сравнению с глобальными, поскольку межгодовые колебания в каждой точке сетки не связаны (асинхронны) между собой.

Выясним, как соотносятся составляющие S_{ijk} , E_{ijk} и характеристики ЕОФ.

Для этого сравним собственные числа, полученные по матрице R_u , и по матрице R_A .

Оказалось, что для среднемесячных значений температуры воздуха первые 30 собственных чисел, полученные по R_u , и R_A близки между собой, а начиная с шестого собственного числа, они практически совпадают.

В табл. 1 приведены средние за каждый месяц значения коэффициентов корреляции полей A_{ijk} и полей g_{ijk} , полученные по шести первым собственным функциям.

Таблица 1

Средние коэффициенты корреляции полей главных компонент A_{ij} , g_{ij}

Месяц, k	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
R_{agk}	0,67	0,68	0,69	0,66	0,77	0,79	0,78	0,75	0,70	0,67	0,68	0,73

В таблице видно, что корреляция не настолько мала, чтобы считать эти поля независимыми, но и не настолько велика, чтобы считать их совпадающими.

Таким образом, метод ЕОФ позволяет найти лишь приближенную оценку колебаний полей синоптических масштабов, отсеивая движения глобальных пространственных масштабов.

Эффективность фильтрации шума ε_{ijk} двумя методами оценим по соотношению остаточных дисперсий $\chi^2 = s_e^2/s_\varepsilon^2$, где s_e^2 – дисперсия шума при разложении по ЕОФ, а s_ε^2 – при разложении по физико-статистическому методу (табл. 2). В табл. 2 видно, что для всех месяцев $s_e^2 \geq s_\varepsilon^2$, а в некоторые месяцы дисперсия шума по методу ЕОФ более чем в 1,5 раза превышает дисперсию шума по физико-статистическому методу.

Таблица 2

Средние значения соотношения дисперсий малых компонент разложения полей

Месяц	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$\chi^2 = s_e^2/s_\varepsilon^2$	1,51	1,26	1,02	1,55	1,26	1,30	1,61	1,41	1,59	1,38	1,48	1,45

Эффективность фильтрации шума можно оценить также по степени гладкости полей A_{ijk} , g_{ijk} путем сравнения числа локальных экстремумов каждого поля. Значение поля считается экстремумом, если оно меньше (или больше) значений поля в ближайших точках во всех четырех секторах.

В табл. 3, где приведено среднее по месяцам количество локальных экстремумов для обоих методов, видно, что количество локальных экстремумов по физико-статистическому методу на порядок меньше количества локальных экстремумов, полученных по методу ЕОФ. При этом количество локальных экстремумов по методу ЕОФ в восьми случаях больше количества экстремумов исходного поля, т. е. ЕОФ создает дополнительный шум.

Таблица 3
Количество локальных экстремумов исходных полей u'_{ijk}
и главных компонент A_{ij} , g_{ij}

Месяц	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
A_{ijk}	0,42	0,40	0,42	0,36	0,22	0,28	0,18	0,36	0,30	0,26	0,32	0,42
G_{ijk}	3,18	3,54	3,22	4,38	4,04	4,38	4,60	5,36	5,20	5,26	3,86	4,32
u'_{ijk}	3,50	3,82	4,51	4,27	4,15	3,87	4,42	4,82	4,78	4,32	3,83	3,84

Выводы

1. Рассмотрено использование двух методов разложения метеорологических полей (среднемесячных данных по 166 метеостанциям за 119 лет) – метод ЕОФ и физико-статистический метод.

2. Для исследования глобальных климатических движений может быть использован как один, так и другой метод.

3. Для исследования локальных синоптических колебаний предлагается использование физико-статистического метода, дающего некоторое преимущество при фильтрации более высокочастотных колебаний (метеорологического «шума»).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Багров Н.А. Аналитическое представление последовательности метеорологических полей посредством естественных ортогональных составляющих // Труды ЦИП. 1959. Вып. 74. С. 3–27.

2. *Мещерская А.В., Руховец Л.В., Юдин М.И., Яковлева Н.И.* Естественные составляющие метеорологических полей. Л.: Гидрометеониздат, 1970. 199 с.
3. *Большев Л.Н., Смирнов Н.В.* Таблицы математической статистики. М.: Наука, 1983. 415 с.
4. *Степаненко С.Р.* Климатические изменения температуры воздуха и высоты поверхности H500 Северного полушария // Метеорология и гидрология. 1995. № 8. С. 14–22.
5. *Степаненко С.Р., Воронцов А.А.* Об основных научно-методических аспектах технологии прогнозирования сложных систем // Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций. 2008. № 4. С. 35–45.
6. *Дрейпер Н., Смит Г.* Прикладной регрессионный анализ. М.: Статистика, 1987. С. 329.

УДК 551.576.1: 551.58

Оценки параметров вертикальной макроструктуры сплошной облачности в Арктическом регионе РФ по долгопериодным данным радиозондирования. Черных И.В., Алдухов О.А. Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2018. Вып. 181. С. 5–17.

Большой интерес представляет задача выяснения роли полей метеовеличин, взаимодействующих между собой, в современном потеплении в Арктике. В данной работе на основе данных радиозондирования атмосферы за 1964–2014 гг. получены диапазоны изменений статистических характеристик параметров сплошных облачных слоев (их повторяемости, числа, высоты нижней и верхней границ, толщины) в разных атмосферных слоях над Арктикой РФ, а также (для осени) синхронные оценки их пространственно-временной изменчивости и приземной температуры. Определение границ и количества облачности по профилям температуры и влажности, полученным при радиозондировании атмосферы, выполнены с использованием CE-метода [1].

Ключевые слова: Арктический регион РФ, облачные слои, вертикальная макроструктура, климатические изменения, данные радиозондирования атмосферы, приземная температура.

Ил. 2. Табл. 4. Библиогр. 20.

УДК 551.501 551.508

Создание электронных климатических справочников с использованием информационных технологий. Колкер А.Б., Гочаков А.В., Воронина Л.А., Брусенко Е.А. Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2018. Вып. 181. С. 18–30.

В статье приводится описание и возможности Web-технологии в формировании справочной системы с рекордами температуры воздуха (минимальной и максимальной) и суточного количества осадков за многолетний ряд наблюдений и из оперативной информации (код КН-01) по всем станциям ФГБУ «Западно-Сибирское УГМС» в суточном, декадном и месячном разрешении.

Ключевые слова: информационные технологии, климатические данные, электронный архив, минимальная и максимальная температуры воздуха, количество осадков, экстремальные значения.

Ил. 6. Библиогр. 5.

УДК 551.583.1, 551.581.1

Физико-статистическое моделирование колебаний климата и опыт прогноза на два десятилетия колебаний температуры воздуха Северного полушария. Шерстюков Б.Г. Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2018. Вып. 181. С. 31–51.

Приводятся результаты исследования сопряженных колебаний температуры поверхности мирового океана, температуры воздуха на континентах, атмосферной циркуляции, изменения скорости вращения Земли, расстояния Солнце–Земля и солнечной активности как подтверждение ранее выдвинутой гипотезы о причинах и структуре многолетних колебаний температуры воздуха на Земле.

Представлены сравнения новых данных наблюдений за 2007–2015 годы с авторским прогнозом на два десятилетия колебаний климата Северного полушария, составленного в 2007 году и опубликованного в 2008 году. Оправдалось предсказанное замедление потепления климата Северного полушария (теперь известная как пауза в потеплении) и экстремально теплые 2010 и 2015 годы.

Ключевые слова: колебания климата, прогноз климата, ритмы космоса.

Ил. 8. Библиогр. 23.

УДК 551.583.1

О возможном резонансном механизме колебаний климата. Шерстюков Б.Г. Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2018. Вып. 181. С. 52–70.

Предлагается гипотеза о резонансной природе колебаний климата под воздействием повторяющихся воздействий космического происхождения на климатическую систему. По данным наблюдений рассматривается формирование календарных особенностей в распределении аномалий температуры Мирового океана как пример резонансного механизма возбуждения свободных колебаний климатической системы на частоте около 28,097 суток колебаниями приливов-отливов Луны с периодом 27,32 суток и возникающими биениями.

Ключевые слова: океан, колебания климата, календарные особенности, лунные приливы, резонанс, биения.

Ил. 5. Библиогр. 17.

УДК 551.521.11:551.583.1

Некоторые результаты статистического анализа данных о продолжительности солнечного сияния на территории России. Клещенко Л. К. Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2018. Вып. 181. С. 71–87.

На основе созданного в ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД» архива суммарной за месяц продолжительности солнечного сияния на метеорологических станциях РФ получены ряды сезонных и годовых сумм. По ним рассчитаны оценки основных статистических характеристик за период 1981–2010 гг. и оценки линейного тренда за периоды 1961–2015 и 1986–2015 гг. Рассмотрены сезонные особенности географического распределения полученных статистических параметров. Сделан вывод, что преобладающей тенденцией современных изменений (конец XX – начало XXI веков) на территории РФ можно считать увеличение продолжительности солнечного сияния.

Ключевые слова: продолжительность солнечного сияния, сезонные и годовые суммы, статистические характеристики, оценки линейного тренда, географическое распределение.

Ил. 11. Табл. 2. Библиогр. 7.

УДК [556.166+551.577.61]:551.583(470+571)

Территориальные и временные изменения частоты опасных гидрологических явлений на реках России при современном климате. Семенов В. А. Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2018. Вып. 181. С. 88–101.

В работе приводятся результаты трендовых оценок изменения наибольшего и наименьшего стоков воды, частоты опасных наводнений и экстремально низкого стока (маловодий) на реках России при современном изменении климата, описываются закономерности территориального распределения этих опасных и неблагоприятных гидрологических явлений, наносящих экологический и материальный ущерб.

Ключевые слова: максимальные, минимальные расходы воды, опасные наводнения, экстремальные маловодья, изменения климата.

Табл. 1. Библиогр. 14.

УДК 551.506.7

Структура и содержание нового массива текущих аэрологических данных, поступающих из сети ГСТ в кодовых формах BUFR. Руденкова Т. В. Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2018. Вып. 181. С. 102–119.

Для архивации текущих аэрологических данных, поступающих по ГСТ в кодовых формах BUFR, разработана структура нового массива под именем АЕРОБАФР. Приведено описание структуры и содержания нового массива. Массив содержит подробные данные радиозондирования высокого вертикального разрешения с привязкой ко времени и географическим координатам наблюдения на каждом уровне.

Ключевые слова: архивация, аэрологические данные, глобальная сеть станций, глобальная сеть телесвязи, кодовая форма BUFR.

Табл. 6. Библиогр. 9.

УДК 551.510.522

Климатические характеристики приземных температурных инверсий по данным аэрологических измерений на станциях Мурманск и Смоленск. Козлова Л. Ф., Хохлова А. В. Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2018. Вып. 181. С. 120–125.

Выполнен анализ повторяемости, мощности и интенсивности приземных температурных инверсий по данным радиозондовых измерений на двух российских станциях: Мурманск и Смоленск. Расчеты климатических характеристик произведены за период 2011–2015 гг. Проведено также сравнение с аналогичными характеристиками, имеющимися в справочных изданиях за период 1959–1968 гг. Показано, что в целом характер годового хода повторяемости на станции Смоленск практически повторяет годовой ход по более ранним наблюдениям, но все значения примерно на 10 % ниже. На станции Мурманск наблюдается заметное увеличение повторяемости как дневных, так и ночных инверсий в летне-осенний сезон по сравнению с более ранними данными.

Ключевые слова: атмосфера, климат, температурные инверсии, радиозондовые наблюдения.

Ил. 2. Табл. 4. Библиогр. 4.

УДК 004.6:551.5:004.9

К построению технологии взаимной конвертации баз данных различной структуры для пополнения и верификации данных ЕГФД, а также для обслуживания потребителей. Кофтан Ю.Р., Перетяцько Л.О. Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2018. Вып. 181. С. 126–143.

Работа посвящена исследованию возможности преобразования баз данных наблюдений и измерений параметров природной среды различной структуры (табличной, иерархической ЯОД-структуры, реляционной) в адекватные базы данных. Содержит постановку задачи и описание основных подходов к разработке инструментов для взаимной конвертации данных.

Ключевые слова: Росгидромет, ЕГФД, преобразование данных, конвертация данных, язык описания данных – ЯОД, иерархическая модель данных, реляционная модель данных, система взаимной конвертации данных.

Ил. 5. Библиогр. 7.

УДК 551.583

К вопросу определения климатической обеспеченности. Воронцов А.А., Степаненко С.Р. Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2018. Вып. 181. С. 144–149.

Рассмотрено оценивание обеспеченности как вероятностной характеристики на примере долгопериодных временных рядов температуры воздуха. Приведены результаты применения на основе пространственно-временных рядов среднемесячной температуры воздуха за период 1886–2004 годов по станциям на территории бывшего СССР. Показана применимость физико-статистического метода для определения характеристик обеспеченности гидрометеорологических данных.

Ключевые слова: температура воздуха, обеспеченность, среднемесячные значения, синхронные и асинхронные колебания, уравнения авторегрессии, физико-статистический метод.

Ил. 1. Библиогр. 3.

УДК 551.583

Физико-статистический метод разложения гидрометеорологических полей и сравнение его с методом естественных ортогональных функций.

Воронцов А.А., Степаненко С.Р. Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2018. Вып. 181. С. 150–154.

Рассмотрены два метода разложения полей – физико-статистический метод и метод ЕОФ на примере полей температуры воздуха. Приведены результаты разложения пространственно-временных рядов среднемесячной температуры воздуха за период 1886–2004 годов по 116 станциям на территории бывшего СССР. Показано преимущество применения физико-статистического метода по сравнению с методом разложения на ЕОФ.

Ключевые слова: естественные ортогональные функции, физико-статистический метод, температура воздуха, сравнительный анализ.

Табл. 3. Библиогр. 6.

UDC 551.576.1: 551.58

The estimations of parameters of overcast clouds vertical macrostructure over the Arctic region of Russia from long-term atmospheric radiosounding data. Chernykh I. V., Aldukhov O. A. Proceedings of the RIHMI-WDC. 2018. N 181. P. 5–17.

The task of identifying the role of interacting meteorological fields in the current warming of the Arctic is of great interest. The paper provides the estimations of parameters of vertical macrostructure of overcast cloud layers (frequency, number of cloud layers, base, top, and thickness) in different atmospheric layers derived from the upper air data for the observational period of 1964–2014. Also the synchronous estimations of long-term changes in the cloudiness vertical macrostructure parameters and surface temperature are given (for autumn). The boundaries and amount of cloudiness from the surface to the height of 10 km were determined using the CE-method [1] on the basis of temperature and humidity profiles obtained from upper air data.

Keywords: Arctic region of Russia, cloud layers, vertical macrostructure, long-term changes, upper air data, surface temperature.

Fig. 2. Tab. 4. Ref. 20.

UDC 551.501 551.508

Development of electronic climate data sheets using information technologies. Kolker A. B., Gochakov A. V., Voronina L. A., Brusenko E. A. Proceedings of the RIHMI-WDC. 2018. N 181. P. 18–30.

The paper presents description and possibilities of the Web-technology for the development of a reference system which includes extreme (minimal and maximal) air temperature and daily precipitation values available from both long-term series of observations and operational information (FM-12 code) for all weather stations on the territory of the West-Siberian Territorial Administration for Hydrometeorological and Environmental Monitoring in a daily, ten-day and monthly resolution.

Keywords: informative technology, climatic data, data base, minimum and maximum air temperature, precipitation, extreme values.

Fig. 6. Ref. 5.

UDC 551.583.1, 551.581.1

Physical-statistical modeling of climate variations and the experience in forecasting of air temperature variations in the Northern Hemisphere for two decades.

Sherstyukov B. G. Proceedings of the RIHMI-WDC. 2018. N 181. P. 31–51.

The results of the study of the conjugate temperature fluctuations of the surface of the world ocean, air temperature on the continents, atmospheric circulation, changes in the Earth's rotation speed, the Sun-Earth distance and solar activity are shown as a confirmation of the earlier hypothesis about the causes and structure of long-term variations in the surface air temperature on the Earth.

Comparisons of new observational data for 2007–2015 with the author's forecast for two decades of climate fluctuations in the Northern Hemisphere, compiled in 2007 and published in 2008, are presented. The predicted slowdown in the climate warming of the Northern Hemisphere (now known as a pause in warming) and the extremely warm 2010 and 2015 have proved true.

Keywords: climate fluctuations, climate forecast, space rhythms.

Fig. 8. Ref. 23.

UDC 551.583.1

On the possible resonance mechanism of climate variability. Sherstyukov B. G. Proceedings of the RIHMI-WDC. 2018. N 181. P. 52–70.

A hypothesis is proposed about the resonant nature of climate variations under the influence of repeated effects of space origin on the climate system. According to observations, the formation of calendar features in the distribution of temperature anomalies in the world ocean is considered as an example of a resonance mechanism for the excitation of free oscillations in the climate system at a frequency of about 28.097 days by fluctuations in the tide-generating force of the moon with a period of 27.32 days and the resulting beats.

Keywords: ocean, climate variations, calendar features, lunar tides, resonance, beats.

Fig. 5. Ref. 17.

UDC 551.521.11:551.583.1

Some results of the statistical analysis of the data on the duration of sunshine in the territory of Russia. K l e s h c h e n k o L . K . Proceedings of the RIHMI-WDC. 2018. N 181. P. 71–87.

On the basis of the archive, which have been created in RIHMI-MCD and includes the data on the total monthly sunshine's duration on the meteorological stations of Russia, the series of seasonal and annual amounts were obtained. Based on these series the estimates of the basic statistical characteristics for 1981–2010 and the estimates of the linear trend for 1961–2015 and 1986–2015 were calculated. The seasonal features of the geographical distribution of the statistical parameters are considered. It was concluded that the prevailing trend in the current changes (end of XX – beginning of XXI centuries) in Russia can be considered as an increase of the sunshine's duration.

Keywords: duration of sunshine, seasonal and annual amounts, statistical characteristics, estimates of linear trend, geographical distribution.

Fig. 11. Tab. 2. Ref. 7.

UDC [556.166+551.577.61]:551.583(470+571)

Territorial and temporal changes in the frequency of hydrological hazards on rivers of Russia under the current climate. S e m y o n o v V . A . Proceedings of the RIHMI-WDC. 2018. N 181. P. 88–101.

Assessments of trends showing changes in maximum and minimum runoff and in frequency of hazardous floods and extreme low water periods on rivers of Russia under current climate change are given. Patterns of territorial changes of these hazardous and adverse hydrological events causing ecological and material damage are described.

Keywords: maximum, minimum runoff, hazardous floods, extreme low water periods, climate change.

Tab. 1. Ref. 14.

UDC 551.506.7

The content and structure of the new aerological archive of current upper-air data received from GTS in the BUFR code. Rudenkova T. V. Proceedings of the RIHMI-WDC. 2018. N 181. P. 102–119.

The structure of the new dataset named AEROBUFR is developed for archiving of the current aerological data received from GTS in the BUFR codes. The description of the structure and content of the new dataset is presented. The dataset contains detailed radio sounding data of high vertical resolution with referencing to time and geographical coordinates of observation at each level.

Keywords: archiving, upper-air data, global network of stations, global telecommunication network, BUFR code.

Tab. 6. Ref. 9.

UDC 551.510.522

Climatic characteristics of surface temperature inversions from upper air data from Murmansk and Smolensk stations. Kozlova L. F., Khokhlova A. V. Proceedings of the RIHMI-WDC. 2018. N 181. P. 120–125.

Frequency, layer thickness and intensity of surface temperature inversions are analyzed from radiosonde measurements at two Russian stations, Murmansk and Smolensk. Climatic characteristics of surface inversions are calculated for the period 2011–2015. These are also compared with the similar characteristics given in reference books for the period 1959–1968. It is shown that, as a whole, the annual variation of frequency at Smolensk station is similar to that observed before, but all the values are 10 % less than the previous ones. A noticeable increase in diurnal and nocturnal inversion frequencies is observed in summer and autumn at Murmansk station as compared to the earlier data.

Keywords: atmosphere, climate, temperature inversions, radiosonde observations.

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

UDC 004.6:551.5:004.9

To creation of mutual converting technology for databases of different structure for updating and verification of Unified State Data Fund's data and for user service. Koftan Yu.R., Peretyatko L.O. Proceedings of the RIHMI-WDC. 2018. N 181. P. 126–143.

The objective of the paper is to find out whether observational databases and measurements of environmental parameters of different structure (tabular, hierarchical DDL structure, relational) can be transformed into adequate databases. The paper formulates the problem and describes the main approaches to the development of tools for mutual data conversion.

Keywords: Roshydromet, Unified State Data Fund, transformation of data, data conversion, hydrometeorological data description language – DDL, hierarchical data model, relational data model, system of mutual data conversion.

Fig. 5. Ref. 7.

UDC 551.583

To the definition of frequency of climate characteristics occurrence. Vorontsov A.A., Stepanenko S.R. Proceedings of the RIHMI-WDC. 2018. N 181. P. 144–149.

The frequency of occurrence is estimated as a probability characteristic with long-term time series of air temperature taken as an example. The results of the application of mean monthly air temperature are presented on the basis of space-time series for the period 1886–2004 from stations over the territory of the former USSR. The applicability of the physico-statistical method for determining the characteristics of hydrometeorological data is shown.

Keywords: air temperature, frequency of occurrence, average monthly values, synchronous and asynchronous oscillations, autoregressive equations, physico-statistical method.

Fig. 1. Ref. 3.

UDC 551.583

Physico-statistical method of decomposition of hydrometeorological fields and its comparison with the method of empirical orthogonal functions.

Vorontsov A.A., Stepanenko S.R. Proceedings of the RIHMI-WDC. 2018. N 181. P. 150–154.

The article describes two methods of fields decomposition – the physico-statistical method and EOF as exemplified by air temperature fields. The results of decomposition of space-time series of mean monthly air temperature are presented for the period 1886–2004 for 116 stations over the territory of the former USSR. The advantage of using the physico-statistical method in comparison with the EOF decomposition method is shown.

Keywords: empirical orthogonal functions, physico-statistical method, air temperature, comparative analysis.

Tab. 3. Ref. 6.

Сборник научных трудов

Труды ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД». Выпуск 181

Подписано к печати 26.03.2018 г. Формат 60 × 84/16.

Печать офсетная. Печ. л. 9,77. Тираж 300 экз. Заказ № 6.

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