

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИИ И МОНИТОРИНГУ
ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

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



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

ОБНИНСК
2020

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

Редакционная коллегия

Главный редактор к.т.н. В. С. Косых

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

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

Члены редколлегии: к.т.н. С. В. Белов, д.т.н. Е. Д. Вязилов,

к.г.н. Е. Д. Гниломедов, к.г.н. Н. Н. Коршунова, к.ф.-м.н. С. Г. Сивачок,

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

В сборнике продолжена публикация статей с изложением результатов исследований в области анализа климата и климатического обслуживания, информационных технологий сбора и обработки данных, выполненных в период заканчивая 2020 годом. Приводятся результаты мониторинга параметров климата. Изложены результаты гомогенизации температуры воздуха по данным станций России. Описаны массивы климатических данных высокого качества и приводятся полученные на их основе результаты анализа изменений соответствующих характеристик климата. Даны оценки долговременных тенденций в изменении стока крупнейших рек Арктического бассейна России, в связи с произошедшими и ожидаемыми изменениями климата. Исследованы связи вариаций температуры поверхности океана с циклическими изменениями притока солнечной радиации. Рассматриваются различные технологии управления данными об окружающей среде, вопросы каталогизации документов Госфонда, методические вопросы ведения фондов данных Госфонда и фондов научно-технической информации, обеспечения веб-доступа к данным.

Сборник будет полезен сотрудникам Росгидромета, широкому кругу специалистов, заинтересованных в использовании информации об окружающей природной среде.

The collection contains papers with results of research in analyzing climate and climate service, as well as information technologies of data collection and processing for the period ending in 2020. Results of climate parameters monitoring are presented. Results of air temperature homogenization from data obtained at Russian stations are given. High quality climate data sets are described; these are used as a basis to obtain the results of analyzing the changes in the corresponding climate characteristics. These results are also given here. Long-term trends in the runoff change of the largest rivers in the Russian Arctic basin under the past and expected climate change are estimated. Relations between sea surface temperature variations and cyclic changes in incoming solar radiation are studied. The following issues are considered in the paper: different technologies of environmental data management, cataloguing of State Data Fund documents, methodical aspects of maintenance of State Data Fund databases and scientific and technical information, and problems of providing web access to data.

The book can be helpful to the Roshydromet staff and a wide range of experts who can benefit from using environmental information.

СОДЕРЖАНИЕ

<i>Гниломедов Е. В.</i> Оценки долговременных тенденций в изменении стока крупнейших рек арктического бассейна России в связи с произошедшими и ожидаемыми изменениями климата	5
<i>Кузнецова В. Н., Швець Н. В.</i> Особенность изменчивости относительной влажности воздуха на территории России за последние десятилетия	19
<i>Черных И. В., Алдухов О. А.</i> Долгопериодные пространственно-временные изменения числа восстановленных по радиозондовым профилям облачных слоёв для российских станций	34
<i>Шерстюков Б. Г., Салугашвили Р. С.</i> Цикличность изменения температуры воздуха в Европе по данным многолетних наблюдений в Центральной Англии ...	61
<i>Шерстюков Б. Г., Федоров В. М., Шерстюков А. Б.</i> О связи вариаций температуры поверхности океана с циклическими изменениями притока солнечной радиации	69
<i>Хохлова А. В., Тимофеев А. А., Руденкова Т. В.</i> Каталог аэрологических станций по архивам Единого государственного фонда данных	78
<i>Шерстюков Б. Г.</i> Сезонные прогнозы температуры воздуха на территории России по методу экстраполяции ритмов с заблаговременностью девять – одиннадцать месяцев	91
<i>Сомов С. В., Николенко И. Ф.</i> Некоторые особенности типологического анализа состава электронных документов Единого государственного фонда данных о состоянии окружающей среды, её загрязнении (ЕГФД)	113
<i>Михеев Н. Ю., Колесников А. Е.</i> Технология формирования базы данных детальных метаописаний объектов хранения ЕГФД	125
<i>Воробьева Л. Н., Коршунов А. А., Рыбанова А. Ю., Фокичева А. А., Шевченко О. И.</i> Динамика роста экономического эффекта специализированного гидрометеорологического обеспечения авиации	143
<i>Финаев А. Ф., Разуваев В. Н.</i> Оценка результатов гомогенизации температуры воздуха по данным станций России	158
<i>Козлова Л. Ф.</i> Изменение повторяемости температурных инверсий на станции Астрахань за последние годы	170
<i>Козлова Л. Ф., Руденкова Т. В., Хохлова А. В.</i> Массив характеристик тропоспаузы по данным радиозондирования в арктическом регионе	178
<i>Кашина И. И., Кузнецов А. А.</i> Разработка структуры перечня документов, образующихся в процессе деятельности Федеральной службы по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды	186
<i>Дементьева Т. В., Коршунова Н. Н.</i> Эмпирико-статистический анализ количества общей облачности и облачности нижнего яруса на территории России	197
<i>Воронцов А. А., Грузинов В. М., Булыгин А. М.</i> Развитие режимно-справочных пособий по морской природной среде для информационного обеспечения морской деятельности	205

CONTENTS

<i>Gnilomedov E. V.</i> Assessment of long-term trends in the flow of the largest rivers in the Arctic basin of Russia due to past and expected climate changes	5
<i>Kuznetsova V. N., Shvets N. V.</i> Variability of relative air humidity over the Russian territory in the past decades	19
<i>Chernykh I. V., Aldukhov O. A.</i> Long-term space-time changes of the number of cloud layers reconstructed from radiosonde observations for Russian stations	34
<i>Sherstyukov B. G., Salugashvili R. S.</i> Cyclicity of air temperature variations in Europe according to long-term observations in central England	61
<i>Sherstyukov B. G., Fedorov V. M., Sherstyukov A. B.</i> On the relation of ocean surface temperature variations to cyclic changes in the solar radiation flow	69
<i>Khokhlova A. V., Timofeev A. A., Rudenkova T. V.</i> Catalogue of upper-air stations in the aerological archives of the Unified State Environmental Data Fund	78
<i>Sherstyukov B. G.</i> Seasonal forecasts of air temperature in Russia using the method of extrapolation of rhythms with a lead time of nine to eleven months	91
<i>Somov S. V., Nikolenko I. F.</i> Some features of the typological analysis of the composition of electronic documents of the Unified State Environmental Data Fund (USEDF)	113
<i>Mikheev N. Yu., Kolesnikov A. E.</i> The technology of forming a database of detailed meta-descriptions of storage objects of Unified State Environmental Data Fund	125
<i>Vorobyova L. N., Korshunov A. A., Rybanova A. Yu., Fokicheva A. A., Shevchenko O. I.</i> Dynamic growth in benefits of specialized hydrometeorological support of aviation	143
<i>Finaev A. F., Razuvayev V. N.</i> Assessment of air temperature data homogenization for meteorological stations of Russia	158
<i>Kozlova L. F.</i> Changes in the frequency of temperature inversions at the Astrakhan station in recent years	170
<i>Kozlova L. F., Rudenkova T. V., Khokhlova A. V.</i> Dataset of tropopause characteristics based on radiosounding data in the Arctic region	178
<i>Kashina I. I., Kuznetsov A. A.</i> Design of the structure of documents drawn up by the Federal Service for Hydrometeorology and Environmental Monitoring	186
<i>Dementieva T. V., Korshunova N. N.</i> Empirical and statistical analysis of the amount of total and lower-level clouds cover on the territory of Russia	197
<i>Vorontsov A. A., Gruzinov V. M., Bulygin A. M.</i> Development of regime reference manuals on the marine environment for information support of marine activities ...	205

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

ОЦЕНКИ ДОЛГОВРЕМЕННЫХ ТЕНДЕНЦИЙ В ИЗМЕНЕНИИ СТОКА КРУПНЕЙШИХ РЕК АРКТИЧЕСКОГО БАССЕЙНА РОССИИ В СВЯЗИ С ПРОИЗОШЕДШИМИ И ОЖИДАЕМЫМИ ИЗМЕНЕНИЯМИ КЛИМАТА

Е. В. Гниломедов

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

Заблаговременная подготовка к изменениям гидрологического режима рек может иметь значительный экономический эффект. Созданные во ВНИИГМИ-МЦД методы расчёта прогностических оценок количества осадков на ближайшие десятилетия дают возможность определить направленность и интенсивность изменений водности рек, что, в свою очередь, позволяет предотвратить надвигающиеся риски. Выполнение поставленной задачи состоит из нескольких этапов: подготовка рядов многолетних данных стока крупнейших рек бассейна Северного Ледовитого океана и количества осадков в их водосборах; сравнительный анализ изменения стока и количества осадков и получение регрессионных зависимостей; вычисление на ближайшие десятилетия ожидаемых изменений стока указанных рек на основе регрессионных соотношений с прогностическими оценками количества осадков в их водосборах.

1. Подготовка рядов многолетних данных стока крупнейших рек бассейна Северного Ледовитого океана, анализ их полноты и качества

На данном этапе были подготовлены ряды многолетних данных годового стока 11 крупнейших рек бассейна Северного Ледовитого океана на территории России по нескольким ближайшим к их устьям постам. Характеристикой годового стока выступал средний годовой расход воды в метрах кубических в секунду. Анализ полноты и качества рядов показал возможность проведения дальнейших

работ по установлению взаимосвязей между стоком и количеством осадков в водосборе по шести из них. Это – река Енисей в пункте г. Игарка (697 км от устья) с продолжительностью ряда с 1936 года по настоящее время, р. Лена – с. Кюсюр (211 км от устья) с 1935 по 2011 год, р. Обь – г. Салехард (287 км от устья) с 1933 года по настоящее время, р. Печора – с. Усть-Цильма (425 км от устья) с 1913 года по настоящее время, р. Колыма – г. Среднеколымск (641 км от устья) с 1927 года по настоящее время, р. Северная Двина – с. Усть-Пинега (137 км от устья) с 1877 по 2005 год. Гидрологический пост на реке выбирался, по возможности, ближе к её устью, чтобы охватить расчётами максимальную часть водосбора.

Ряды годового стока по остальным крупным рекам бассейна Северного Ледовитого океана (Яна, Оленёк, Индигирка, Хатанга, Таз) не обладают достаточной полнотой для дальнейших исследований.

По оставшимся в работе шести гидрологическим постам средствами ГИС (географическая информационная система) были построены их водосборы (рис. 1) [1].

Полученные очертания водосборов замыкаются именно на гидрологический пост, а не на устье реки. Это необходимо для получения в дальнейшем наиболее точных регрессионных зависимостей расходов воды от осадков.

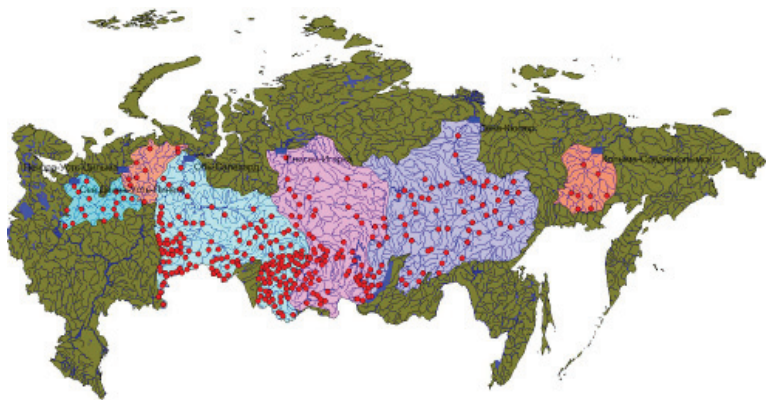


Рис. 1. Водосборы шести исследуемых рек с расположением гидрологических постов (синие прямоугольники с флажком) и метеостанций (красные кружки)

2. Подготовка рядов многолетних данных по осадкам в водосборах крупнейших рек бассейна Северного Ледовитого океана, анализ их полноты и качества

Ряды многолетних ежемесячных данных по осадкам были подготовлены по метеорологическим станциям всей территории России (более 1 800 станций). Анализ их полноты и качества при помощи специально разработанных (здесь и в дальнейшем на языке Pascal [2]) программ позволил отобрать 782 станции с рядами наблюдений, подходящими для дальнейшего прогноза осадков. Из полученного списка метеостанций в дальнейшем были оставлены те, которые характеризуют поступление осадков в пределах водосборов шести отобранных на предыдущем этапе гидрологических постов на реках бассейна Северного Ледовитого океана (рис. 1).

В процессе дальнейшей обработки рядов ежемесячных данных по осадкам также при помощи специально созданной для этих целей программы «PravkaRmes» были забракованы явно ошибочные данные. Отбраковка производилась путём установки метки 9999 вместо фактического значения. Непродолжительные пропуски (не более трёх месяцев в году) в наблюдениях были заполнены нормой осадков по каждому месяцу отдельно.

В конечном итоге многолетние ряды ежемесячных данных по осадкам по каждой отобранной станции были просуммированы в ежегодные данные (программа «PerevodRmesRgod»). Суммирование проводилось для каждого года с ноября предыдущего по октябрь текущего, что в большей степени соответствует условиям формирования стока воды в текущем году на исследуемых реках. Годы, в которых пропусков было четыре и более, обозначались меткой 9999, тем самым в дальнейшем исключаясь из расчётов как недостаточно достоверные.

Также на данном этапе с помощью тех же программных средств был создан файл с данными о метеостанциях, участвующих в расчётах в формате, подходящем для использования в ГИС. Далее, при помощи ГИС метеостанции были распределены по шести водосборам и занесены в соответствующие файлы для последующих расчётов. Данные осадков по метеостанциям, не попавшим в эти файлы, были выведены из расчётов программой «Otbor».

3. Сравнительный анализ изменения стока крупнейших рек бассейна Северного Ледовитого океана и количества осадков в их водосборах

Зависимость стока от осадков весьма сложна и подвержена влиянию многих факторов. Поэтому был выбран метод, основанный на построении линейных эмпирических зависимостей [3, 4].

Как уже отмечалось ранее, расчёты проводились по шести крупнейшим рекам бассейна Северного Ледовитого океана: р. Енисей в пункте г. Игарка, р. Лена – с. Кюсюр, р. Обь – г. Салехард, р. Печора – с. Усть-Цильма, р. Колыма – г. Среднеколымск, р. Северная Двина – с. Усть-Пинега. В процессе работ водосборы этих рек были разделены на участки. Для бассейнов Оби, Енисея и Лены из-за больших площадей водосбора и значительного количества метеостанций на них был применён метод квадратов [5]. По этому методу бассейн реки разбивается на сеть равновеликих квадратов, для каждого из которых вычисляется средний слой осадков как средний арифметический по данным метеостанций, попавших в квадрат (рис. 2). Для Северной Двины, Печоры и Колымы был выбран метод взвешивания [5], который более подходит для ограниченного числа метеостанций. Здесь участок строится вокруг каждой отдельной метеостанции, а его площадь определяет тот вес, с которым должны быть приняты осадки по данным этой станции в дальнейших расчётах среднего слоя осадков в бассейне (рис. 3, 4).

После того, как водосборы были разбиты на участки тем или иным способом, были рассчитаны годовые (с ноября предыдущего года по октябрь текущего) слои осадков в каждом из участков по данным метеостанций, находящихся в пределах участка, с помощью программы «SpedneeR» как среднее арифметическое. На практике в северных районах Оби, Енисея и Лены оказались квадраты, не имеющие на своей территории ни одной метеостанции (рис. 2). В этих случаях слой осадков в квадрате определялся по ближайшим к нему станциям. Для определения среднего значения по водосбору слои осадков каждого участка умножались на площадь этого участка, суммировались и делились на площадь всего водосбора. Это позволило определить

величину R , характеризующую средний годовой слой осадков (в миллиметрах), выпавших в пределах водосбора.

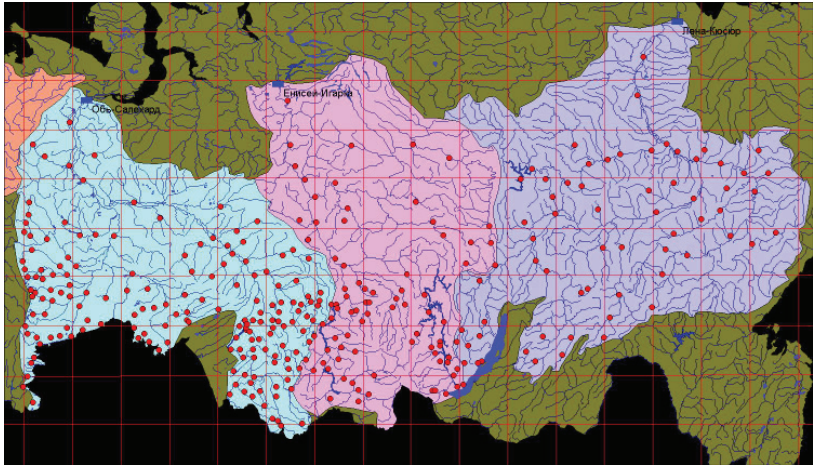


Рис. 2. Разделение водосборов Оби, Енисея и Лены на участки методом квадратов (красным кружками показано расположение метеостанций)

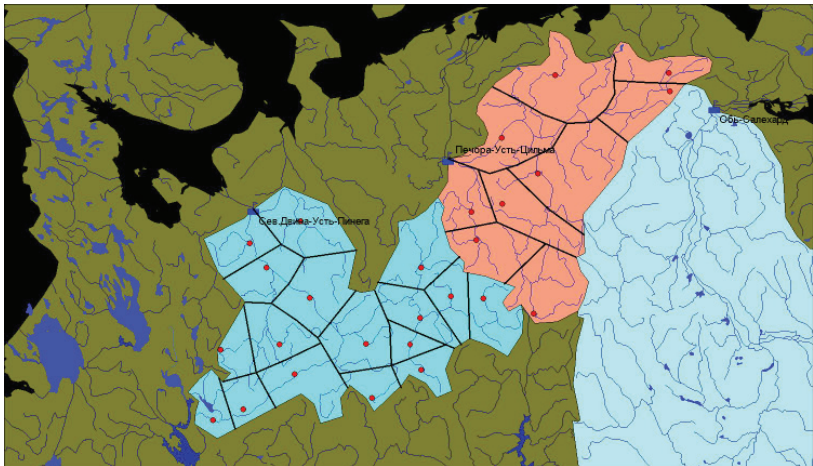


Рис. 3. Разделение водосборов Северной Двины и Печоры на участки методом взвешивания (красным кружками показано расположение метеостанций)

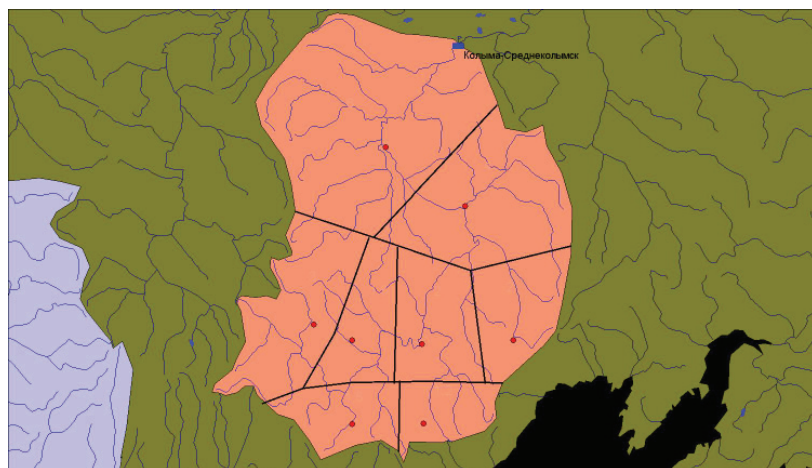


Рис. 4. Разделение водосбора Колымы на участки методом взвешивания (красным кругами показано расположение метеостанций)

Таким образом, стало возможным сопоставить характеристику R со средним годовым расходом воды Q в замыкающем водосбор створе. Однако не весь объём воды, поступившей в пределы водосбора в виде осадков, участвует в формировании стока воды в текущем году. Значительная часть испаряется или аккумулируется в естественных и искусственных водоёмах, подземных водах, ледниках и поступает в речное русло в периоды, следующие за расчётным [4] (год с января по декабрь). Тем самым влияние количества осадков на сток воды усложняется, что снижает корреляцию рядов многолетних значений R и Q . Но для получения в дальнейшем наиболее точных прогностических оценок годового стока воды по прогнозным данным осадков необходимо иметь, по возможности, максимальные значения корреляции между этими величинами. Для этого нужно исключить из расчётов те участки водосбора, где связь между количеством осадков и количеством воды, поступившей в речную сеть в текущем расчётном периоде, искусственно нарушена вследствие сооружения водохранилищ и водозаборных сооружений либо является сложной по естественным причинам.

Для выявления таких участков водосбора был создан алгоритм и написана программа *KorrQiR*. Суть расчётов состоит в том, чтобы последовательно исключать из расчётов различные количества и комбинации участков водосбора и то количество осадков, которое поступило на них в течение расчётного периода. По оставшимся в расчётах участкам суммируются годовые количества осадков, образуя значение R . Далее, находится коэффициент корреляции между рядами величины R , полученной по участкам водосбора в данной комбинации, и годовым стоком воды Q . В итоге максимальный коэффициент корреляции определяет тот состав участков водосбора, который характеризует максимально тесную зависимость Q от R . Кроме того, заданный алгоритм автоматически исключает участки водосбора с недостоверными данными по осадкам, которые могут возникнуть по причине редкой сети метеостанций.

Таким образом, при помощи программы *KorrQiR* из расчётов были исключены участки водосборов с нарушенной связью между количеством осадков и естественным речным стоком или недостаточным количеством метеостанций по шести бассейнам крупнейших рек России, впадающих в Северный Ледовитый океан. Как видно из табл. 1, полученные коэффициенты корреляции между Q и R колеблются в диапазоне от 0,71 до 0,85, что говорит о достижении устойчивой связи между значениями.

В третьем столбце табл. 1 указано количество участков, оставленных в расчётах из общего количества участков в водосборе. В четвёртом столбце указаны длины рядов Q и R , по которым проводились расчёты коэффициентов корреляции между этими величинами и в дальнейшем уравнений регрессии $Q = f(R)$. Совмещённые графики Q и R представлены на рис. 5.

Специалистами ФГБУ «Арктический и Антарктический научно-исследовательский институт» также была исследована связь между климатическими условиями в областях водосборов Оби, Енисея и Лены и их стоком в Северный Ледовитый океан [6]. Ими проведена оценка влияния среднегодовых осадков в областях водосбора на годовой сток рек. Так, максимально тесная связь (коэффициент корреляции 0,77) была получена между осадками и стоком реки Лены.

Таблица 1

Характеристики сравнительного анализа стока крупнейших рек бассейна Северного Ледовитого океана и количества осадков в их водосборах

Река – пост	Количество метеостанций в водосборе	Количество участков в расчётах из общего количества	Длина рядов Q и R, гг	Коэффициент корреляции между R и Q
Енисей – г. Игарка	79	25 из 31	1962–2016	0,77
Лена – с. Кюсюр	65	38 из 44	1965–2011	0,85
Обь – г. Салехард	169	30 из 35	1962–2016	0,81
Печора – с. Усть-Цильма	9	7 из 9	1965–2016	0,78
Северная Двина – с. Усть-Пинега	17	13 из 17	1965–2005	0,79
Колыма – г. Среднеколымск	8	8 из 8	1952–2016	0,71

В расчётах, проведённых автором данной статьи, максимальный коэффициент корреляции между осадками и стоком также был получен по реке Лене и равнялся 0,85 (табл. 1). Добиться более высокой корреляционной связи стало возможным, во-первых, благодаря применению в расчётах не среднегодовых значений осадков, а с ноября предыдущего по октябрь текущего годов, что в большей степени соответствует условиям формирования стока воды в текущем году на исследуемых реках. Во-вторых, при помощи созданной автором программы «KorrQiR» из расчётов были исключены участки водосбора с нарушенной связью между количеством осадков и количеством воды, поступившей в речную сеть. Выше этот процесс описан подробнее.

Некоторые специалисты [7] утверждают, что суммарный сток рек Сибири во второй половине XX века вырос за счёт увеличения зимнего стока. Предполагается, что зимний и годовой стоки растут за счёт деградации островной мерзлоты в среднем и верхнем течении сибирских рек.

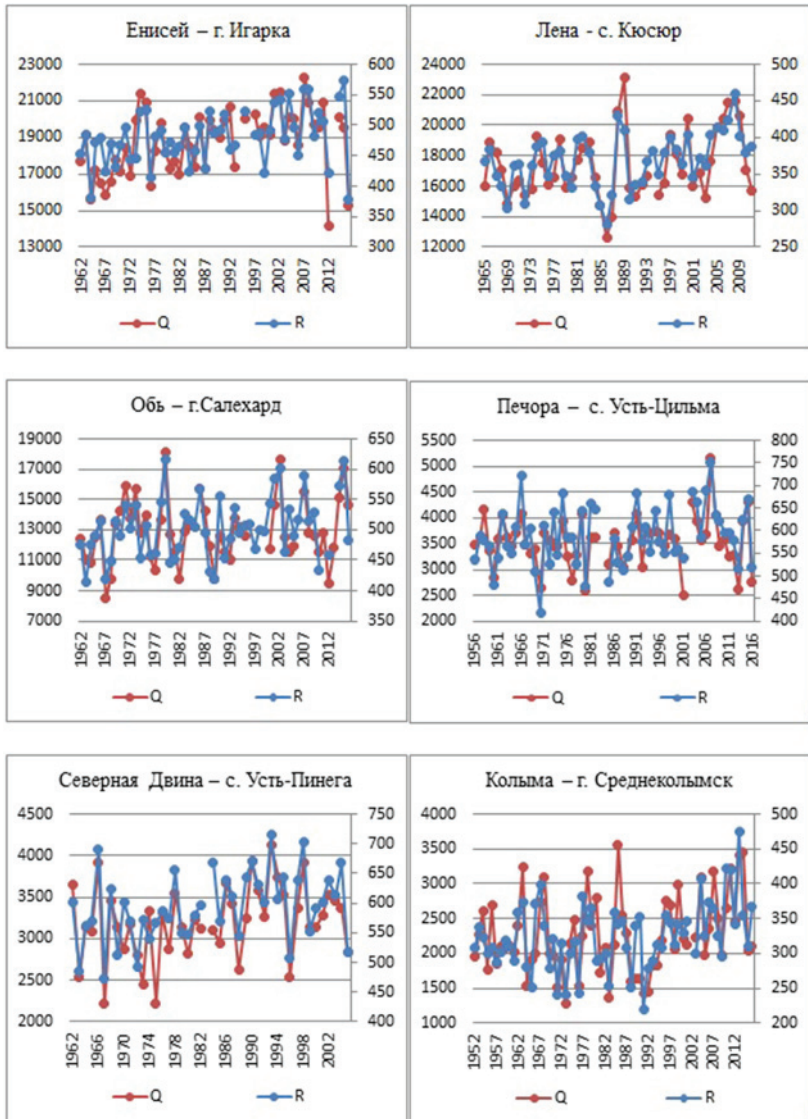


Рис. 5. Среднегодовые расходы воды Q (м³/с) и слой осадков R (мм) с ноября предыдущего года по октябрь текущего, выпавшие на расчётных участках водосбора

Однако проведённые автором в настоящей работе расчёты показывают, что таяние мерзлоты вносит не главный вклад в увеличение годового стока рек, а именно количество осадков является определяющим фактором роста. К такому же выводу пришли и другие исследователи данной проблемы [8, 9]. Утверждается, что с 1970–1980-х годов началось долговременное повышение годового стока, что сопряжено во времени с началом современного повышения температуры воздуха. Показано, что долговременные фазы изменений стока синхронны с соответствующими фазами изменений температуры воздуха и макромасштабной атмосферной циркуляции.

4. Вычисление на ближайшие десятилетия ожидаемых изменений стока крупнейших рек бассейна Северного Ледовитого океана на основе регрессионных соотношений с прогностическими оценками количества осадков в их водосборах

После того, как была установлена та часть водосбора, где формируется максимально тесная связь между величинами Q и R , стало возможным получить уравнения регрессии $Q = f(R)$, где Q – среднегодовой расход воды в $\text{м}^3/\text{с}$, R – средневзвешенный слой осадков в миллиметрах с ноября предыдущего года по октябрь текущего, выпавших на расчётных участках водосбора (табл. 2). Также приведены коэффициенты детерминации, показывающие долю тех изменений величины расхода Q , которая в данной зависимости определяется колебанием значений слоя осадков R .

Таблица 2

Уравнения регрессии $Q=f(R)$ и коэффициенты детерминации

Река – пост	Уравнение регрессии	Коэффициент детерминации
Енисей – г. Игарка	$Q = 30,9R + 3920$	0,60
Лена – с. Кюсюр	$Q = 50,4R - 1180$	0,72
Обь – г. Салехард	$Q = 33R - 3680$	0,66
Печора – с. Усть-Цильма	$Q = 5,61R + 230$	0,61
Северная Двина – с. Усть-Пинега	$Q = 5,6R - 126$	0,62
Колыма – г. Среднеколымск	$Q = 8,26R - 418$	0,50

Сотрудниками Лаборатории исследования последствий изменения климата ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД» были рассчитаны прогнозные значения количества осадков по годам с ноября предыдущего по октябрь текущего до 2052 года включительно по тем же 782 метеостанциям, данные с которых использовались для получения уравнений регрессии в табл. 2. Прогнозные данные были рассчитаны исходя из рабочей гипотезы о том, что динамика погоды и климата главным образом является следствием колебаний климатической системы на её собственных частотах [10]. По полученным уравнениям регрессии были рассчитаны прогностические оценки среднегодового стока воды на шести выбранных гидрологических постах с 2019 до 2052 года включительно (рис. 6), так как 2052 год является последним, для которого вычислены прогнозные значения осадков.

Вычисление ежегодных прогнозных колебаний водности рек, отражённых на рис. 6, не является целью данной работы. Исходя из гипотезы о динамике погоды и климата [10] наиболее достоверными являются многолетние прогнозные колебания водности.

Как видно из рис. 6, по линейным трендам среднегодовые расходы воды Q имеют тенденцию к росту по всем шести гидрологическим постам. Для оценки интенсивности этого роста были рассчитаны изменения величины Q (в процентах) по линейному тренду за весь период прогностических оценок и приведены к десятилетнему периоду (табл. 3).

Таблица 3

Интенсивность увеличения годового стока воды по линейному тренду за период с 2019 по 2052 год (значения приведены к средним за десятилетний срок)

Река – пост	Средние значения линейного тренда за десятилетний срок, %
Енисей – г. Игарка	2,4
Лена – с. Кюсюр	3,7
Обь – г. Салехард	2,5
Печора – с. Усть-Цильма	1,5
Северная Двина – с. Усть-Пинега	1,8
Колыма – г. Среднеколымск	3,5

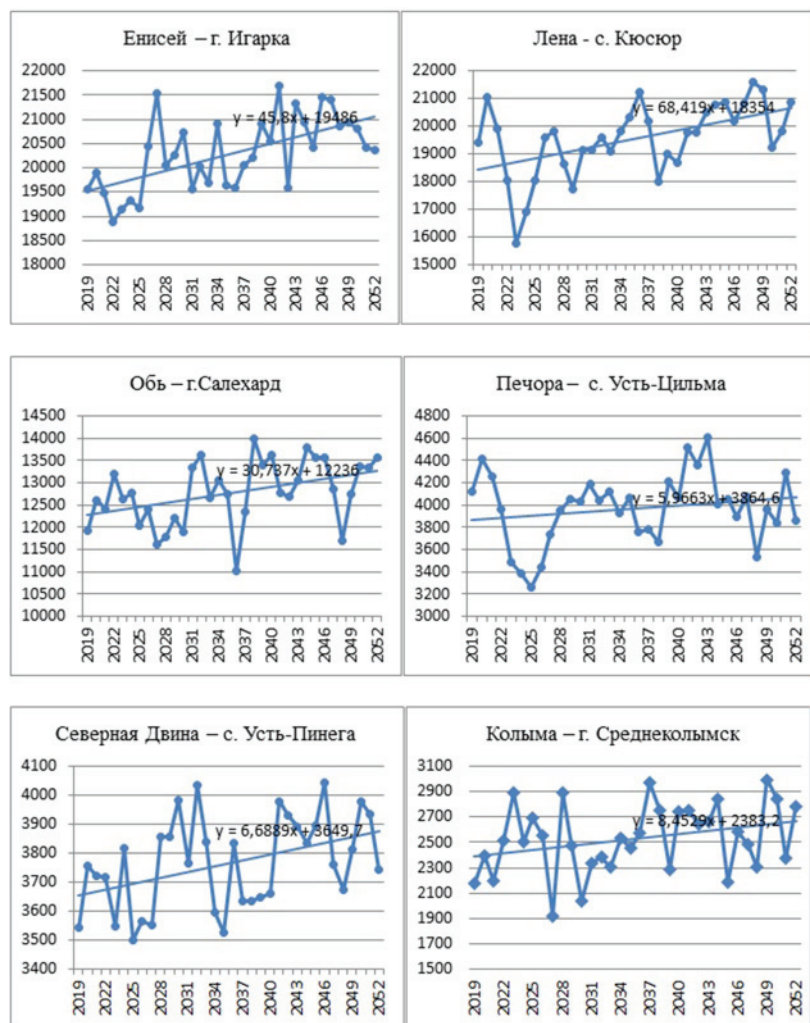


Рис. 6. Прогностические оценки среднегодовых расходов воды Q (m^3/s)

Из полученных результатов следует, что минимальный рост водности (1,5–1,8% за 10 лет) ожидается на реках Печора и Северная Двина (табл. 3), чьи водосборы расположены в европейской части России. Сток воды в Оби и Енисее будет иметь среднюю

интенсивность роста (около 2,5 % за 10 лет), а максимально вырастет сток Лены и Колымы (3,7 и 3,5 % за 10 лет соответственно). Таким образом, прослеживается тенденция более интенсивного увеличения водности крупнейших рек бассейна Северного Ледовитого океана по направлению с запада на восток в пределах Российской Федерации.

По прогнозам других авторов [11] к середине XXI века относительное увеличение водных ресурсов арктических рек может составить от 4 до 14 % и больше. Прогноз составлен из предположения о продолжении глобального и регионального потепления. Наибольшее относительное увеличение к середине XXI века прогнозируется для Лены, и особенно Колымы, что полностью соответствует результатам настоящей работы (табл. 3).

Заключение

Разработка автоматизированных методов расчёта долгосрочных тенденций изменения характеристик стока рек на основе регрессионных соотношений с прогностическими оценками количества осадков в их водосборах позволит в дальнейшем проводить необходимые исследования на зависимых от водных ресурсов хозяйственно- и социально значимых объектах Российской Федерации в сравнительно небольшие сроки. Применение результатов работы на практике может иметь значительный экономический эффект в плане заблаговременной подготовки к изменениям гидрологического режима рек. Предлагается распространить отработанную методику исследования на получение прогностических оценок стока рек в половодье, результаты чего могут быть применены для информационного обеспечения прогнозов стока воды. Уже проведённые вычисления на ближайшие десятилетия ожидаемых изменений стока крупнейших рек бассейна Северного Ледовитого океана показали, что среднегодовые расходы воды имеют тенденцию к росту на всех исследуемых реках.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лурье И. К. Геоинформационное картографирование. Методы геоинформатики и цифровой обработки космических снимков. М.: КДУ, 2008. 424 с.
2. Марченко А. И., Марченко Л. А. Программирование в среде Turbo Pascal 7.0 / Под ред. В. П. Тарасенко. 5-е изд., доп. и перераб. Киев: ВЕК+, 1999. 464 с.
3. Виссмен У., Харбаф Т. И., Кнэпп Д. У. Введение в гидрологию. Ленинград: Гидрометеиздат, 1979. 470 с.
4. Евстигнеев В. М., Магрицкий Д. В. Речной сток. Методические основы современной практики гидрологических расчётов. М.: Изд-во Триумф, 2016. 224 с.
5. Клибашев К. П., Горошков И. Ф. Гидрологические расчёты. Ленинград: Гидрометеиздат, 1970. 460 с.
6. Алексеев Г. В., Вязилова А. Е., Харланенкова Н. Е., Глок Н. И. Влияние глобального потепления на условия формирования стока сибирских рек // Тезисы докладов всероссийской конференции Изменения климата: причины, риски, последствия, проблемы, адаптации и регулирования, г. Москва, 26–28 ноября 2019 года. Сборник тезисов докладов. М.: Физматкнига, 2019.
7. Savelieva N. I., Semiletov I. P., Weller G. E., Vasilevskaya L. N. Climate change in the northern Asia in the second half of the 20th century // Pacific Oceanography. 2004. Vol. 2. № 1–2. P. 74–84.
8. Георгиади А. Г., Кашутина Е. А., Милюкова И. П. Долговременные фазы многолетних изменений стока воды и тепла крупнейших арктических рек России // Тезисы докладов Всероссийской конференции Междисциплинарные научные исследования в целях освоения горных и арктических территорий: г. Сочи 24–29 сентября 2018 года. М.: Институт географии Российской академии наук, Гляциологическая ассоциация, 2018. С. 53–53.
9. Георгиади А. Г., Кашутина Е. А. Долговременные изменения стока крупнейших сибирских рек // Известия Российской академии наук. Серия географическая. 2016;(5):70-81.
10. Шерстюков Б. Г. Метод прогноза климата на предстоящие два десятилетия на основе экстраполяции ритмов // Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2007. Вып. 173. С. 221–235.
11. Водные ресурсы и режим рек арктической зоны Сибири: современное состояние, прогнозируемое изменение, масштабы и структура хозяйственного использования / Д. В. Магрицкий, Н. Л. Фролова, В. М. Евстигнеев и др. // Водные и экологические проблемы Сибири и Центральной Азии. Институт водных и экологических проблем СО РАН. Барнаул, 2017. С. 121–131.

УДК 551.501.771

ОСОБЕННОСТИ ИЗМЕНЧИВОСТИ ОТНОСИТЕЛЬНОЙ ВЛАЖНОСТИ ВОЗДУХА НА ТЕРРИТОРИИ РОССИИ ЗА ПОСЛЕДНИЕ ДЕСЯТИЛЕТИЯ

В. Н. Кузнецова¹, Н. В. Швець²

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

Введение

Начиная с середины прошлого века произошли существенные изменения в состоянии климатической системы: увеличение концентрации парниковых газов, особенно углекислого газа, изменение сумм осадков, сокращение запасов снега и льда, повышение уровня Мирового океана, увеличение частоты и изменение параметров некоторых экстремальных климатических явлений и, главное, потепление атмосферы и океана [1–4].

Изучению же влажности воздуха уделялось мало внимания. Между тем водяной пар, являясь главным парниковым газом в атмосфере и основным поглотителем как солнечной, так и земной радиации, оказывает существенное влияние на тепловой режим земной поверхности и атмосферы, играя большую роль в формировании климата и водного режима суши. Фазовые переходы водяного пара формируют облака, туманы, осадки, приводят к образованию росы, инея, влияя на погоду и климат в целом [5].

Поэтому для получения всесторонней картины изменчивости современного климата нужна количественная оценка изменения влажности в условиях глобального потепления.

Для оценки содержания водяного пара в атмосфере используются несколько гигрометрических характеристик, наиболее часто используемые из них – это упругость водяного пара, относительная влажность, точка росы, дефицит насыщения и ряд других.

Предметом данного исследования является относительная влажность воздуха (f) как наиболее распространённая и

информативная, но недостаточно изученная характеристика насыщения воздуха водяным паром. Напомним, что относительная влажность воздуха представляет собой отношение фактической упругости водяного пара к максимальной упругости водяного пара (насыщающей упругости) при той же температуре воздуха, выраженное в процентах (%). Может принимать значения от 0 до 100 %.

Данные об относительной влажности воздуха широко используются в промышленности, строительстве, транспорте. Они нужны также для исследования среды обитания биологических объектов (человека, растений, животных и птиц).

Однако известно крайне мало работ, посвящённых исследованию режиму относительной влажности и её изменчивости: работы [6, 7] посвящены исследованию режима влажности в тропосфере, в [8] проведён анализ статистических характеристик на территории СССР за период 1936–1965 годов.

Целью настоящей работы является восполнить в некоторой степени этот пробел и впервые провести анализ изменчивости относительной влажности воздуха на территории России с учётом последних лет за период с 1966 по 2019 год.

Оценка изменчивости влажности воздуха получена на основе анализа линейных трендов, характеризующих среднюю скорость изменения исследуемой величины. Дополнительно в качестве меры интенсивности происходящих изменений за последние десятилетия были использованы разности аномалий относительной влажности воздуха за одинаковые промежутки времени: 1966 – 1992 и 1993 – 2019 годы.

Данные

Для исследования изменчивости режима влажности исходным материалом послужил базовый массив относительной влажности воздуха (f), представляющий собой постанционные ряды среднемесячных значений относительной влажности воздуха 518 станций России, имеющих ряды наблюдений с 1966 по 2019 год. В базовый массив включены данные однородных длиннорядных станций, равномерно расположенных на территории России. Вся информация проконтролирована [9] и соответствует требованиям,

предъявляемым к данным в задачах исследования изменения климата.

Исследование изменчивости влажности проводилось путём эмпирико-статистического анализа временных рядов среднемесячной относительной влажности воздуха. Расчёт статистических характеристик и коэффициентов линейного тренда проводился на основе специально разработанного авторского пакета программ. Тренды рассчитывались по уравнению линейной регрессии [10]: значимость коэффициентов линейного тренда оценивалась по критерию Стьюдента [10]. Для исключения влияния годового хода в исследованиях изменчивости влажности использовались не сами среднемесячные значения, а их аномалии (Δf). Для расчёта аномалий (отклонений наблюждённых значений от «нормы») в качестве «нормы» использовались обновлённые нормы за период 1981–2010 гг., поскольку, как отмечено в [11], нормы за три последних тридцатилетия изменились и больше подходят для оперативной оценки аномальности текущей погоды и целей мониторинга климата последних десятилетий.

Для выявления сезонных и региональных особенностей расчёт и анализ проводились по осреднённым сезонам года и за год в целом. Поскольку условия увлажнения на территории России различны, чтобы избежать сглаживания оценок при осреднении в целом по территории с различными режимами влажности, исследования проведены отдельно для квазиоднородных районов России. Районирование проведено с учётом климатогеографических особенностей территории в сочетании с административно-территориальным делением на основании классификации Алисова (рис. 1).

Известно [8, 12], что отличительной особенностью относительной влажности воздуха является её сильная зависимость от близости водоёмов и от вида подстилающей поверхности: определённый характер ландшафтов, растительности, почв и прочих элементов физико-географической среды создают своеобразные условия для распределения внутригодового хода относительной влажности по территории. На огромной территории России с её разнообразием климатических зон и ландшафтов выделяются три

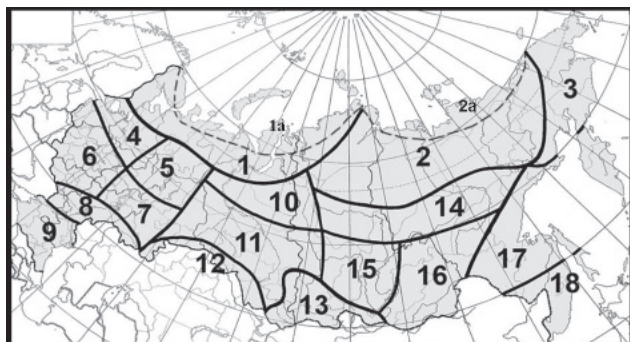


Рис. 1. Карта-схема квазиоднородных районов России

основных типа внутригодового хода f , отличающихся друг от друга количеством и временем наступления максимумов и минимумов. Первый тип – материковый – разделяется на три подтипа: лесной; лесостепной и степной. Второй тип годового хода относительной влажности схож с первым типом, он наблюдается на внутриконтинентальных станциях арктического и субарктического поясов. Третий тип – муссонный – характерен для дальневосточных территорий, частично для Чукотки, Камчатки и арктических островных и прибрежных станций.

Для графического представления различных типов годового хода среднемесячной относительной влажности воздуха из квазиоднородных районов были выбраны репрезентативные станции, находящиеся в основных природно-климатических зонах России (рис. 1): Тотьма (район 4) – лесная атлантико-континентальная; Якутск (район 14) – лесная континентальная; Воронеж (район 6) – лесостепная атлантико-континентальная, Иркутск (район 15) – лесостепная континентальная; Каменная степь (район 8) – степная атлантико-континентальная, Оренбург (район 11) – степная континентальная; Владивосток (район 18) – муссонная тихоокеанская; им. Е.К. Федорова (район 1а) – муссонная атлантическая; Джалинда (район 2) – субарктическая.

На рис. 2 представлен годовой ход среднемесячной относительной влажности воздуха за период 1966–2019 гг. для станций основных природно-климатических зон России.

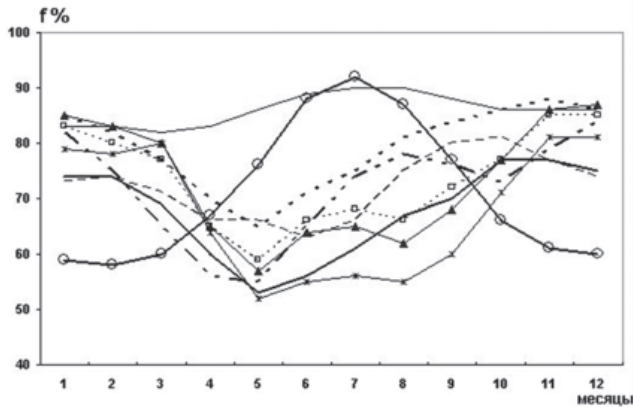


Рис. 2. Годовой ход среднемесячной относительной влажности воздуха на станциях основных природно-климатических зон России:

·····Тотьма; — Якутск; ---□--- Воронеж;
 —...— Иркутск; —Δ— Каменная степь; —х—Оренбург;
 —○— Владивосток; — им Е. К. Федорова; ---Джалинда

Как видно из рис. 2, годовой ход относительной влажности воздуха меняется по территории России в зависимости от природно-климатических факторов. Кривые годового хода станций, расположенные в различных природно-климатических зонах, сильно отличаются между собой не только значениями, но и временем наступления и количеством максимумов и минимумов в годовом ходе. Подтверждается тот факт, что на пространственное распределение относительной влажности воздуха влияет тип подстилающей поверхности и особенно близость водоёмов: морей, океанов, озёр и рек [8].

Для исключения влияния нерепрезентативных станций на осреднённые результаты по данным всех станций каждого квазиоднородного района был проведён анализ годового хода относительной влажности воздуха.

Станции внутри квазиоднородных районов, имеющие не типичный для данного климатического пояса и природной зоны годовой ход относительной влажности из-за каких-либо местных особенностей (обычно это прибрежные станции, горные или внутриконтинентальные станции для муссонных районов (районы 3,

17, 18)) в анализ не включались или выделены в отдельные подрайоны (районы 1а, 2а – прибрежные и островные станции севера европейской территории России (ЕТР) и севера азиатской территории России (АТР) соответственно).

Результаты

По временным рядам пространственно осреднённых аномалий относительной влажности воздуха (Δf) были рассчитаны сезонные и годовые тренды относительной влажности воздуха (%/10 лет) за период с 1966 по 2019 г., которые представлены в табл. 1.

Таблица 1

Коэффициенты линейных трендов средних годовых и сезонных аномалий среднемесячной относительной влажности воздуха (Δf), осреднённых по квазиоднородным климатическим районам России за период 1966–2019 гг. (% /10 лет)

Район	Зима	Весна	Лето	Осень	Год
1	0,4 *	-0,2	0,3 *	0,4 *	0,2
1(а)	-0,0	0,1	-0,2	0,2	-0,0
2	0,2 *	-0,2	0,5 *	0,5 *	0,2
2(а)	-0,2 *	-0,1	-0,2	0,3 *	-0,0
3	-0,3 *	0,0	-0,2	0,0	-0,1
4	0,5 *	-0,6 *	0,3 *	0,1	0,1
5	0,5 *	-0,4 *	0,4 *	0,2	0,1
6	0,5 *	-1,0 *	-0,3 *	-0,1	-0,2
7	0,2	-0,6 *	-0,2	-0,1	-0,2
8	0,3 *	-0,2	-0,7 *	-0,4 *	-0,2
9	0,0	-0,3 *	-0,8 *	-0,3 *	-0,4 *
10	0,2	-0,3 *	-0,1	0,1	-0,0
11	0,3 *	-0,3 *	0,1	0,2	0,0
12	0,1	-0,6 *	-0,1	-0,1	-0,2
13	0,3 *	0,1	0,0	0,3 *	0,2
14	0,4 *	0,2	0,7 *	0,5 *	0,5 *
15	0,3 *	-0,2	-0,1	0,2	0,1
16	0,2	0,2	-0,1	0,1	0,1
17	0,1	0,3 *	0,2	0,3 *	0,2
18	0,0	0,1	-0,1	-0,1	-0,1

Примечания. Красным шрифтом выделены положительные значения коэффициента линейного тренда. Тренды, значимые при заданном 5 %-ном уровне, помечены звёздочкой.

При оценке тренда важно также получить оценку его значимости, т. е. установить, насколько существен его вклад в изменчивость случайного процесса. В данной работе рассчитанный

критерий Стьюдента сравнивался с его критическим значением на 5 %-ном уровне значимости.

На рис. 3–6 представлены распределения линейных трендов (прямая чёрная линия) и временные ряды осреднённых аномалий относительной влажности воздуха (синяя линия) для сезонов года по квазиоднородным климатическим районам (выборочно) для основных природно-климатических зон России.

Рассмотрим пространственные особенности распределения трендов и аномалий влажности воздуха по сезонам.

Зимой почти на всей территории России прослеживается чёткая закономерность увеличения аномалий среднемесячных значений относительной влажности воздуха (табл. 1, рис. 3).

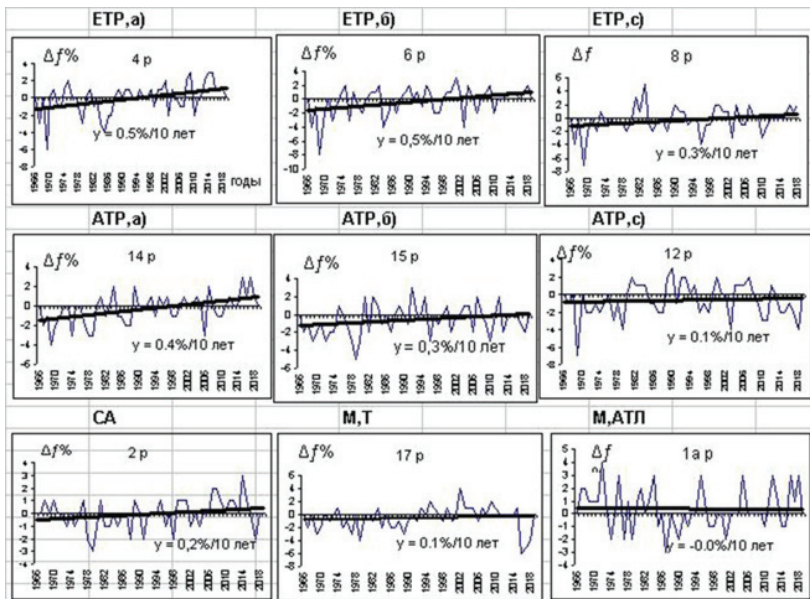


Рис. 3. Тренды (% /10 лет) и временные ряды аномалий осреднённой по территории квазиоднородных климатических районов средней за зиму (декабрь–февраль) относительной влажности воздуха за период с 1966 по 2019 год:

- а) – лесная зона, б) – лесостепная зона;
 в) – степная зона; СА – субарктическая; М,Т – муссонная тихоокеанская; М,АТЛ – муссонная атлантическая

Наибольшие положительные тренды аномалий отмечены на всей европейской территории России (районы 1, 4, 5, 6, 7, 8): здесь коэффициент линейного тренда доходит до 0,4–0,5 %/10 лет; чуть меньше тренды на азиатской территории России – до 0,4 %/10 лет (район 14), причём почти везде они статистически значимы. Возможно, это связано с повышением зимней температуры [2, 4] и увеличением количества оттепелей [13], а для ЕТР – с влиянием влажного атлантического воздуха. Все эти факторы приводят к увеличению концентрации водяного пара в воздухе. Незначительное уменьшение влажности отмечается лишь в районах с муссонным характером погоды: на арктических прибрежных территориях АТР (район 2а), на Колыме и Чукотке (район 3).

Весной (см. табл. 1 и рис. 4) наблюдается противоположная картина: на всей территории ЕТР, западной Сибири, на севере (район 2) и юго-западной части Восточной Сибири (район 15)

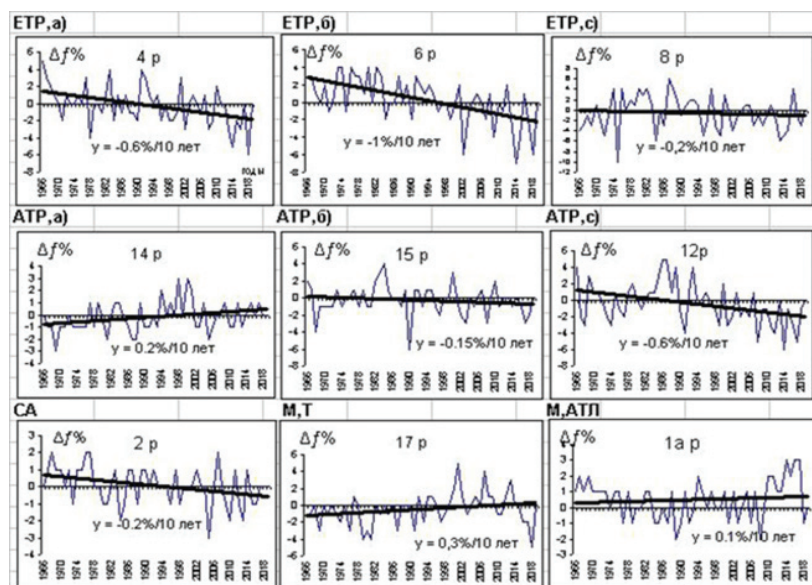


Рис. 4. Тренды (%/10 лет) и временные ряды аномалий осреднённой по территории квазиоднородных климатических районов средней за весну (март – май) относительной влажности воздуха за период с 1966 по 2019 год. Обозначения те же, что на рис. 3.

наблюдается уменьшение относительной влажности воздуха. Здесь статистически значимый коэффициент линейного тренда составляет от $-0,2\%/10$ лет на севере ЕТР и АТР (районы 1, 2) до $-1\%/10$ лет в лесных, лесостепных и степных районах ЕТР и АТР (районы 4–12), что, возможно, связано с резким повышением температуры воздуха и малым содержанием водяного пара после зимнего вымораживания [8].

Небольшие положительные тренды $0,1–0,2\%/10$ лет отмечаются лишь в центре Восточной Сибири (район 14), на Алтае, в Забайкалье, Хабаровском крае и Приморье. Незначительное повышение влажности весной наблюдается и на крайнем севере ЕТР, находящемся под влиянием Северной Атлантики, но коэффициенты линейного тренда почти везде статистически не значимы.

Летом (см. табл. 1 и рис. 5) распределение (Δf) по территории России ведёт себя разнонаправленно: на севере и в центре ЕТР, на

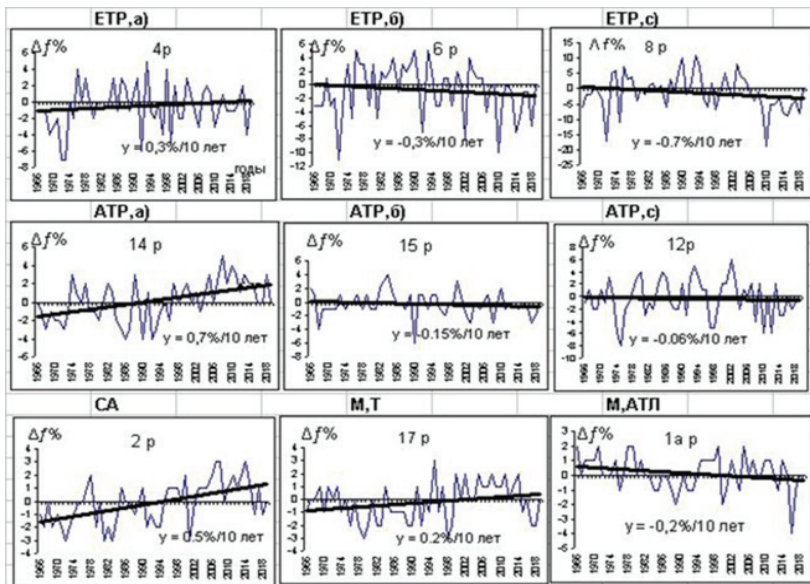


Рис. 5. Тренды ($\%/10$ лет) и временные ряды аномалий осреднённой по территории квазигодородных климатических районов средней за лето (июнь – август) относительной влажности воздуха за период с 1966 по 2019 год. Обозначения те же, что на рис. 3

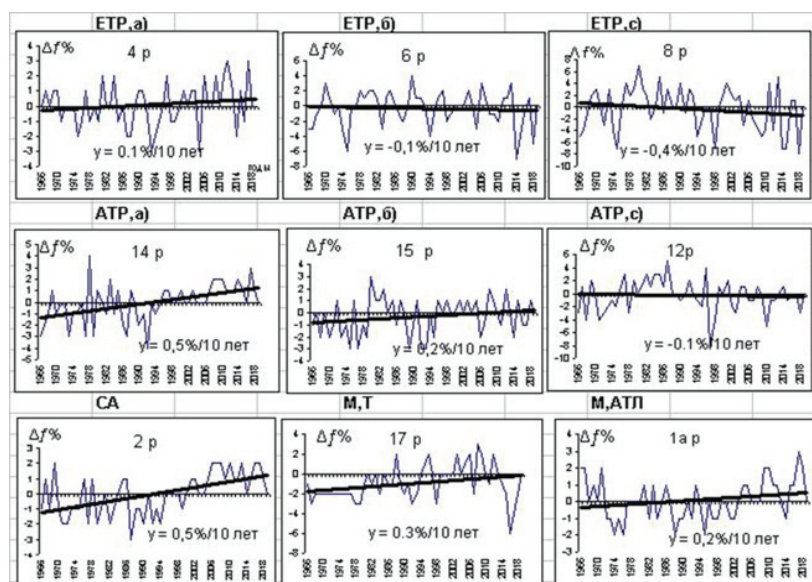


Рис. 6. Тренды (%/10 лет) и временные ряды аномалий осреднённой по территории квазиоднородных климатических районов средней за осень (сентябрь – ноябрь) относительной влажности воздуха за период с 1966 по 2019 год. Обозначения те же, что на рис. 3

северных территориях Западной и Восточной Сибири, в Якутии, Хабаровском крае, где преобладает тундра и хвойные леса, наблюдается увеличение влажности (районы 1, 2, 4, 5, 11, 14, 17) (статистически значимые тренды 0,3–0,7 почти во всех районах), а в лесостепных и степных районах ЕТР (6–10), Предбайкалье, Забайкалье, в муссонных районах (1а, 2а, 3, 18) наблюдается уменьшение влажности, но тренды на этих территориях, кроме центра и юга ЕТР, статистически не значимы. Причина такого поведения влажности связана с характером подстилающей поверхности: в районах с избыточным увлажнением повышение температуры увеличивает испарение и транспирацию с растительности, а в степных районах с недостаточным увлажнением повышение температуры уменьшает влажность.

Похожая неравномерная пёстрая картина распределения (Δf) по территории наблюдается осенью. Осенью по сравнению с

летом увеличение относительной влажности наблюдается на большей части территории России: наибольшие положительные тренды 0,5 % / 10 лет отмечены во всей Восточной Сибири (районы 2, 14); на остальной территории они тоже положительные, но не везде значимые.

Небольшое осеннее уменьшение относительной влажности отмечается лишь в лесостепных и степных районах центра и юга ЕТР, в степных районах Западной Сибири (районы 6–9, 12) и в Приморье, но значимы они лишь на юге ЕТР.

В отличие от более ярко выраженных сезонных особенностей распределения аномалий и трендов по территории годовые распределения трендов по России имеют более сглаженный вид.

В целом за год (см. табл. 1) распределение трендов аномалий относительной влажности по районам на территории России разнонаправлены, тенденции малы и незначительны: коэффициенты линейного тренда Δf в основном в пределах $\pm (0,1–0,2)$ % за 10 лет, но они везде статистически не значимы. Исключения составляют территория центра Восточной Сибири (район 14), где рост влажности наблюдается во все сезоны, а статистически значимый годовой тренд составляет +0,5 % / 10 лет и территория Предкавказья (район 9), где отмечается понижение влажности почти за все сезоны и за год в целом: коэффициент линейного тренда Δf за год здесь составляет -0,4 % / 10 лет. В остальных районах годовые изменения влажности незначительные, сами значения близки к климатическим нормам.

Помимо анализа трендов за период 1966–2019 гг., представляет интерес исследование изменения влажности за последние десятилетия по другим критериям.

В качестве меры интенсивности происходящих изменений относительной влажности воздуха последних десятилетий использовались разности средних аномалий по районам за два одинаковых сравниваемых периода: 1966–1992 и 1993–2019 гг. (табл. 2).

Анализ изменений разностей аномалий относительной влажности воздуха (Δ , %) по месяцам (см. табл. 2) между приведёнными выше периодами показывает, что зимой влажность сильнее растёт за последний период (1993–2019 гг.): во всех районах

разности аномалий положительные; весной в большинстве районах наблюдается понижение влажности: разности аномалий, как и тренды, отрицательные: в остальные сезоны разности по районам разнонаправлены. Таким образом, тенденции изменения влажности, выявленные с помощью тренд-анализа (табл. 1) и с использованием временных интервалов (табл. 2), совпадают и отражают одинаковую картину изменения влажности. Однако разности аномалий между периодами (табл. 2) показывают, что последний период вносит более существенный вклад в тенденции изменения влажности.

Таблица 2

Разности аномалий относительной влажности воздуха (Δ , %) между вторым (II) (1993–2019 гг.) и первым (I) периодами (1966–1992 гг.) для основных природно-климатических зон России по сезонам и за год

Сезон Район	Зима			Весна			Лето			Осень			Год		
	I	II	Δ	I	II	Δ	I	II	Δ	I	II	Δ	I	II	Δ
2	-0,4	0,3	0,7	0,4	-0,3	-0,7	-0,9	0,8	1,7	-0,8	0,8	1,6	-0,6	0,3	0,9
4	-0,7	0,6	1,3	0,6	-1,0	-1,6	-0,7	-0,4	0,3	0	0,2	0,2	-0,3	-0,2	0,1
6	-0,8	0,3	1,1	1,6	-1,1	-2,7	-0,3	-1,3	-1,0	0	-0,7	-0,7	0,1	-0,8	-0,7
8	-0,4	0,0	0,4	0	-1,2	-1,2	-0,4	-2,3	-1,9	0,6	-1,2	-0,6	-0,2	-1,1	-0,9
14	-0,8	0,3	1,1	-0,6	0,3	0,9	-0,9	1,2	2,1	-0,8	0,8	1,6	-0,8	0,5	1,3
15	-0,9	-0,3	0,6	0	-0,5	-0,5	-0,3	-0,7	-0,4	-0,5	0	0,5	-0,4	-0,2	0,2
12	-0,7	-0,6	0,1	0,6	-1,3	-0,7	-0,4	-0,3	0,1	0,2	-0,8	-1,0	0	-0,8	-0,8
17	-1,1	0,0	1,1	-1,1	0,2	1,3	-0,8	0,3	1,1	-1,5	-0,3	1,2	-1,0	0,1	1,1
1a	0,3	0,5	0,2	0,3	0,7	0,4	0,2	0,1	-0,1	-0,1	0,3	0,4	0,2	0,3	0,1

Примечание. Жирным шрифтом выделены отрицательные аномалии.

Оценка изменений относительной влажности воздуха на территории России как с помощью линейного тренда (1966–2019 гг.), так и методом разности за сравниваемые периоды (1966–1992 и 1993–2019 гг.) выявила некоторые региональные и сезонные особенности. Годовые изменения влажности в целом на территории России незначительные – тренд-анализ не показал чётких закономерностей годовых изменений влажности в целом по территории

России, отмечены незначительные как положительные, так и отрицательные тенденции, свидетельствующие о том, что годовые значения относительной влажности воздуха близки к норме. Что касается сезонов, то можно отметить зиму и весну, где чётко наблюдаются определённые закономерности в изменениях относительной влажности воздуха. Зимой отмечается увеличение влажности почти на всей территории России, кроме побережья Арктики, весной – уменьшение. Линейный тренд за летний и осенний сезоны показал неодинаковый характер изменения этого параметра по районам.

Поскольку территория России неоднородна по климатическим условиям, то выделить общие черты в пространственном распределении аномалий относительной влажности воздуха довольно трудно. Лишь на территории ЕТР, которую условно можно разбить на части: северную (районы 1, 4, 5), центральную и южную (районы 6, 7, 8, 9), видны общие особенности сезонных изменений в аномалиях относительной влажности. Здесь, по-видимому, помимо климатического пояса, радиационного фактора и характера растительного покрова, который определяет температурно-влажностный режим данной территории, существенным фактором являются циркуляционные особенности региона, а именно влияние Атлантики. На АТР такие территории выделить не представляется возможным, сезонные аномалии по районам распределяются разнонаправлено. В отличие от проведённых нами ранее исследований изменчивости парциального давления водяного пара по территории России [14, 15], где показана прямая зависимость изменения этого параметра от температуры, сказать о зависимости относительной влажности воздуха только от температуры нельзя. Здесь, помимо радиационного фактора, существенную роль оказывает близость водоёмов, характер подстилающей поверхности, скорость ветра, количество осадков и циркуляционные факторы. Поэтому выявленную значительную пространственно-временную неоднородность в тенденциях поля относительной влажности воздуха можно объяснить, лишь приступив к более детальному анализу каждого района в отдельности. В задачу данного исследования это не входило.

Таким образом, обобщая все вышеизложенные материалы, можно сделать следующие выводы.

1. Установлена зависимость распределения годового хода среднемесячной относительной влажности на территории России от природно-климатических зон.

2. Годовые изменения влажности в целом на территории России незначительные, отмечены небольшие, как положительные, так и отрицательные, тенденции в зависимости от района.

3. Что касается сезонов, то здесь можно отметить зиму и весну, где чётко наблюдается определённая закономерность в изменениях относительной влажности воздуха: зимой отмечается увеличение влажности на всей территории России, кроме арктических побережий, весной – уменьшение. Линейный тренд за летний и осенний сезоны свидетельствует о неодинаковом характере изменений этого параметра по районам.

4. Общие особенности сезонных изменений относительной влажности воздуха прослеживаются лишь для районов на ЕТР.

5. Сравнительный анализ показал, что тенденции изменения влажности в наибольшей степени проявились в последнее тридцатилетие.

6. Выявленная в результате проведённого анализа пространственно-временная неоднородность в тенденциях поля влажности предположительно обусловлена такими факторами, как природно-климатическая зональность, циркуляция атмосферы [16], близость водоёмов, рельеф местности, скорость ветра, облачность. Какие из этих факторов являются доминирующими, можно будет установить путём дальнейшего детального анализа исследуемой характеристики в каждом районе в отдельности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Семенов С. М., Гладильщиков А. А. Оценочные доклады межправительственной группы экспертов по изменению климата (МГЭИК): исходная информация и технология оценки // Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2015. Вып. 179. С. 5–13.

2. Шерстюков Б. Г., Салугашвили Р. С. Новые тенденции в изменениях климата северного полушария в последнее десятилетие // Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2010. Вып. 175. С. 43–51.

3. *Шерстюков Б. Г.* Парниковый эффект и изменение теплообмена между океаном и атмосферой как факторы современных изменений климата // Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2007. Вып. 173. С. 3–36.
4. *Шерстюков Б. Г.* Сезонные особенности изменения климата за 1976–2001 гг. // Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2012. Вып. 176. С. 3–12.
5. *Матвеев Л. Т.* Курс общей метеорологии. Физика атмосферы // Ленинград: Гидрометеиздат, 1984. С. 751.
6. *Алдухов О. А., Черных И. В.* Методы анализа и интерпретации данных радиозондирования атмосферы. Т. 3. Влажность и температура в атмосфере: статистические характеристики. Обнинск: ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД», 2015. 494 с.
7. *Черных И. В., Алдухов О. А.* Тренды температуры и влажности в нижнем двухкилометровом слое атмосферы над Российской Арктикой по данным радиозондирования // Метеорология и гидрология. 2020. № 9. С. 17–26.
8. *Мамонтов Н. В.* Статистические характеристики относительной влажности воздуха в различные часы суток на территории СССР. М.: Гидрометеиздат. 1982. С. 225.
9. *Трофименко Л. Т., Шевченко Н. Н.* Анализ полей асимметрии и эксцессов как средство контроля качества архивных данных // Труды ВНИИГМИ-МЦД. 1985. Вып. 116. С. 67–77.
10. *Пановский Г. А., Брайер Г. В.* Статистические методы в метеорологии. Л.: Гидрометеиздат, 1972. С. 125–135.
11. *Коршунова Н. Н., Швець Н. В.* Изменение норм основных климатических параметров на территории России за последние десятилетия // Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2014. Вып. 178. С. 11–24.
12. *Дроздов О. А. и другие.* Климатология. Л.: Гидрометеиздат, 1989. С. 568.
13. *Коршунова Н. Н., Булыгина О. Н., Разуваев В. Н., Давлетшин С. Г.* Оценка экстремальности температурного режима и режима осадков для территории РФ и её регионов // Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2018. Вып. 183. С. 20–30.
14. *Кузнецова В. Н., Швець Н. В.* Анализ изменения режима влажности на территории России // Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2010. Вып. 175. С. 65–74.
15. *Кузнецова В. Н., Швець Н. В.* Анализ изменчивости режима влажности на территории России за последние десятилетия // Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2018. Вып. 182. С. 129–141.
16. *Клещенко Л. К.* О связи среднесезонной температуры воздуха на территории России с колебаниями крупномасштабной циркуляции атмосферы во второй половины XX века // Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2012. Вып. 176. С. 194–213.

УДК 551.576.1:551.58

ДОЛГОПЕРИОДНЫЕ ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ЧИСЛА ВОССТАНОВЛЕННЫХ ПО РАДИОЗОНДОВЫМ ПРОФИЛЯМ ОБЛАЧНЫХ СЛОЁВ ДЛЯ РОССИЙСКИХ СТАНЦИЙ

И. В. Черных¹, О. А. Алдухов²

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

Введение

Информация о вертикальной макроструктуре облачности важна для исследований климата атмосферы и его изменений, климатических исследований облаков, при решении задач по прохождению электромагнитных волн, для нужд авиации [1–17].

Причинами долгопериодных изменений параметров облачных слоёв, восстановленных по радиозондовым вертикальным профилям температуры и влажности, могут являться зафиксированные по данным наблюдений климатические изменения температуры и влажности на уровне земли и в атмосфере [18–27], количества облачности и повторяемости её различных форм [28–31]. Проблема возможного влияния долгопериодных изменений характеристик радиозондирования в исторических аэрологических массивах на тренды параметров облачных слоёв (ОС), восстановленных по профилям температуры и влажности с использованием СЕ-метода [1, 10, 32–34] определения границ и количества облачности по результатам радиозондовых наблюдений в связи с происходящими изменениями климата является крайне важной [1, 8–10, 32–37].

Согласно [1, 8, 10, 20, 32–41], основными причинами неоднородности результатов измерений значений температуры и влажности в глобальных исторических аэрологических массивах являются следующие: во-первых, увеличение числа передаваемых уровней в аэрологической телеграмме, обусловленное развитием

системы радиозондовых наблюдений; во-вторых, смена датчиков температуры и влажности.

В [1, 18, 42–47] обсуждался вопрос о трендах границ, толщины и повторяемости облачных слоёв с различным количеством облаков для атмосферного слоя 0–10 км над уровнем земли как для отдельных станций, так и в глобальном и региональном масштабе.

Предметом исследования в данной работе является вертикальная макроструктура облачных слоёв в слое атмосферы 0–10 км над уровнем земли. Рассмотрена задача о долгопериодных пространственно-временных изменениях числа облачных слоёв (NI) и числа уровней зондирования (Nz). Получены оценки диапазонов изменений средних значений и максимального числа ОС, трендов аномалий числа ОС и характеристик радиозондирования; проведён анализ расчётов срочных данных о числе ОС и изменения числа уровней зондирования в исторических аэрологических массивах. Выполнено сравнение полученных результатов для российских и зарубежных станций из соседних с РФ регионов. Были использованы данные радиозондирования за период 1964–2019 гг.

1. Данные и методы

Информационной базой для исследования служили данные 56 аэрологических российских и зарубежных станций в Северном полушарии, расположенных в широтах 39,95–73,50° с.ш. и долготах 19,18–203,24° в.д. и двух антарктических российских станций из глобального аэрологического массива КАРДС [34], пополненного текущими данными из массивов АЭРОСТАБ [48] и АЭРОСТАС [49]. Данные прошли процедуру комплексного контроля качества [34, 50, 51]. Зарубежные станции были выбраны в соседних с территорией Российской Федерации районах. За период наблюдений 1964–2019 гг. было использовано 1 717 639 зондирований, из них 1 331 674 зондирования на 44 российских станциях и 385 965 зондирований – на 14 зарубежных станциях. Для возможности сопоставления полученных результатов с результатами, полученными ранее для отдельных категорий станций [1, 18, 52, 53], в данном исследовании все станции разделены на несколько категорий (табл. 1).

Таблица 1

**Диапазон изменения широты и долготы для использованных
в исследовании аэрологических станций глобальной сети наблюдений
за климатом (ГСНК)**

Категория аэрологических станций	Широта, ° с.ш./° ю.ш.	Долгота, ° в.д.
12 станций ГСНК территории Российской Федерации	51,70 – 73,50° с.ш.	40,50 – 158,58° в.д.
9 арктических станций Российской Федерации, не являющихся станциями ГСНК	66,46 – 71,35° с.ш.	33,07 – 123,21° в.д.
21 дополнительная станция Российской Федерации	44,13 – 58,65° с.ш.	20,33 – 132,05° в.д.
2 антарктические Российские станции	66,65 – 70,75° ю.ш.	11,83 – 19,71° в.д.
14 зарубежных станций из соседних с Российской Федерацией районов	39,95 – 71,28° с.ш.	19,18 – 203,24° в.д.

Также были использованы данные специализированной базы «Срочные данные о границах облачных слоёв, восстановленных по результатам радиозондовых наблюдений температуры и влажности на 58 станциях территории Российской Федерации и соседних регионов за период наблюдений 1964–2018 гг.» [54], пополненной на основе текущих радиозондовых данных за 2019 год.

Для восстановления по вертикальным профилям температуры и влажности параметров облачных слоёв использовался СЕ-метод определения границ и количества облачности по результатам радиозондовых наблюдений, разработанный специально для климатических исследований [1, 8–10, 32–34]. Определение облачных слоёв по СЕ-методу проводится в два этапа.

На первом этапе 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 облачных слоёв. За критерий существования облачного слоя приняты условия:

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

при требовании изменения знака второй производной на противоположный в граничных точках h_1 и h_2 . Это означает: h_1 и h_2

являются точками перегиба профилей T и R и 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, 8, 9, 32, 33, 54]. Для получения непрерывных вторых производных по всему вертикальному профилю используется аппроксимация наблюдаемых значений температуры и влажности кубическими сплайнами Акимы с нулевыми граничными условиями для вторых производных [55, 56].

На втором этапе для каждого из выделенных облачных слоёв по значениям температуры и дефицита точки росы на уровне максимальной относительной влажности внутри такого слоя по кусочно-линейной аппроксимации диаграммы Арабей – Мошникова [1, 33] определяется количество облачности по градациям 0–20, 20–60, 60–80, 80–100 % поверхности небосвода.

Анализ долгопериодных тенденций изменения изучаемых параметров облачных слоёв и характеристик радиозондирования проведён с использованием метода наименьших квадратов расчёта трендов. Значимость трендов проверялась по критерию Стьюдента. При вычислении аномалий за базовый период (период осреднения при расчёте среднего значения метеовеличины, относительно которого рассчитываются аномалии) был выбран полный период наблюдений.

Для анализа пространственно-временных особенностей трендов аномалий средних (месячных/сезонных/годовых) изучаемых величин расчёты выполнены для месяцев, сезонов и за год в целом.

Для анализа межгодовых изменений были получены временные ряды годовых аномалий изучаемых величин, построены соответствующие линейные тренды. Для наглядного представления межгодовых изменений величин были также рассчитаны сглаженные временные ряды, которые были получены в результате 10-кратного сглаживания по трём точкам.

Исследования числа облачных слоёв проведены для атмосферных слоёв 0–2, 2–6, 6–10 и 0–10 км над уровнем земли.

Согласно принятой в метеорологии классификации облаков [57, 58], первые три из них соответствуют нижнему, среднему и верхнему ярусу облаков. При расчётах учитывались ОС толщиной не менее 50 м, что обусловлено точностью передаваемых значений температуры и влажности в аэрологической телеграмме [1, 10, 32].

2. Результаты

2.1. Диапазоны изменений средних значений числа облачных слоёв в разных слоях атмосферы

В табл. 2 для исследуемых категорий аэрологических станций приведены диапазоны изменений средних значений и среднеквадратических отклонений числа ОС с количеством облачности 0–100 % поверхности небосвода, определённых с помощью СЕ-метода в разных атмосферных слоях за период наблюдения 1964–2018 гг.

Таблица 2

Диапазоны изменений средних значений (NI) и среднеквадратических отклонений (σ) числа ОС с количеством облачности 0–100 % поверхности небосвода в атмосферных слоях 0–2, 2–6, 6–10, 0–10 км над уровнем земли для разных категорий станций. 1964–2018 гг.

Категория аэрологических станций	0–2 км		2–6 км		6–10 км		0–10 км	
	NI	σ	NI	σ	NI	σ	NI	σ
12 станций ГСНК территории РФ	1,6–2,0	0,7–0,9	1,9–2,4	0,9–1,2	2,0–2,3	0,9–1,0	4,7–6,1	1,7–2,4
9 арктических станций РФ, не являющихся станциями ГСНК	1,8–2,1	0,8–1,0	2,0–2,3	0,8–1,3	2,0–2,3	0,9–1,0	5,2–5,9	1,7–2,4
21 дополнительная станция РФ	1,6–2,2	0,7–1,0	1,9–2,5	0,8–1,3	1,7–2,3	0,7–1,0	4,5–6,4	1,5–2,6
2 антарктические станции РФ	1,8–1,9	0,8	2,3–2,5	1,1	2,6	1,1	6,3	2,1
14 зарубежных станций	1,5–2,4	0,7–1,1	1,7–3,0	0,8–1,7	1,8–2,3	0,7–1,2	4,3–7,2	1,5–3,7
Все изучаемые станции	1,5–2,4	0,7–1,1	1,7–3,0	0,8–1,7	1,7–2,6	0,7–1,2	4,3–7,2	1,5–3,7

Анализ данных табл. 2 показал, что диапазон изменений средних значений числа ОС в слоях 0–2, 2–6, 6–10 и 0–10 км над уровнем земли составляет для российских станций 1,6–2,2;

1,9–2,5; 1,7–2,6 и 4,5–6,4, а для зарубежных станций 1,5–2,4; 1,7–3,0; 1,8–2,3 и 4,3–7,2 соответственно. Для российских станций в нижнем и среднем ярусе и в слое 0–10 км амплитуда изменения средних значений числа ОС меньше, чем для зарубежных: для российских станций она составляет 0,6; 0,6 и 1,9, а для зарубежных 0,9; 1,3 и 2,9 соответственно. Это можно объяснить большими значениями верхних пределов и меньшими значениями нижних пределов диапазонов изменения средних значений числа ОС для зарубежных станций. В верхнем ярусе, наоборот, амплитуда изменения средних значений числа ОС для российских станций (0,9) больше, чем для зарубежных (0,5). Основной вклад в различие амплитуд средних значений числа ОС в верхнем ярусе вносит большее среднее значение числа ОС для российских антарктических станций. Заметим, что в верхнем ярусе для российских станций, расположенных в Северном полушарии, диапазон изменения и его амплитуда составляет 1,7–2,3 и 0,6 соответственно.

Амплитуда изменения среднеквадратических отклонений числа ОС во всех слоях для российских станций меньше, чем для зарубежных станций.

2.2. Диапазоны изменений максимального числа ОС в разных атмосферных слоях и годы их наблюдений

С целью выяснить, является ли увеличение максимального числа ОС ($NI_{\max}$) монотонным во времени, был проведён постановочный анализ максимального числа ОС и даты его определения. В табл. 3 приведены диапазоны изменения максимального числа ОС с количеством облачности 0–100 % поверхности небосвода, определённых с помощью СЕ-метода, в разных атмосферных слоях и годы / интервалы их определения для разных категорий исследуемых аэрологических станций за 1964–2018 гг.

Анализ данных табл. 3 показал, что диапазоны изменений $NI_{\max}$ для атмосферных слоёв 0–2, 2–6, 6–10, 0–10 км составляют для российских станций 5–8, 6–11, 5–9 и 12–20 слоёв и для зарубежных станций 6–8, 8–12, 6–11 и 13–20 слоёв. Видно, что для зарубежных станций в среднем и верхнем ярусах верхний предел диапазона изменения $NI_{\max}$ больше, чем для российских станций. Однако, во всём слое 0–10 км для всех изучаемых станций число

восстановленных слоёв не превышает 20. Постанционный анализ дат определения $NI_{\max}$ показал, что они были определены для нижнего, среднего и верхнего ярусов на российских станциях, начиная с 1968, 1968 и 1989 г., и на зарубежных станциях, начиная с 1968, 1980 и 1982 г., соответственно. В слое 0–10 км – начиная с 1981 и 1984 г. соответственно на российских и зарубежных станциях.

Таблица 3

Диапазоны изменений максимального числа облачных слоёв ($NI_{\max}$) с количеством облачности 0–100 % поверхности небосвода в разных атмосферных слоях, $G_{\max}$ – годы определения $NI_{\max}$ для исследуемых станций. 1964–2018 гг.

Категория аэрологических станций	0–2 км		2–6 км		6–10 км		0–10 км	
	$NI_{\max}$	$G_{\max}$	$NI_{\max}$	$G_{\max}$	$NI_{\max}$	$G_{\max}$	$NI_{\max}$	$G_{\max}$
12 станций ГСНК территории РФ	6–7	2005–2018	8–11	2005–2018	7–9	2004–2018	12–18	1981–2018
9 арктических станций РФ, не являющихся станциями ГСНК	6–7	1972–2018	6–10	1988–2018	6–8	2003–2018	13–19	2004–2018
21 дополнительная станция РФ	5–8	1968–2018	6–11	1968–2018	5–9	1989–2018	12–20	1983–2018
2 антарктические станции РФ	6	2013, 2016	8–9	2007–2015	8	2004–2017	15	2012–2017
14 зарубежных станций	6–8	1968–2018	8–12	1980–2017	6–11	1982–2018	13–20	1984–2018
Все изучаемые станции	5–8	1968–2018	6–12	1968–2018	5–11	1982–2018	12–20	1981–2018

2.3. Диапазоны изменений максимального числа ОС и числа переданных уровней в аэрологической телеграмме

Для уточнения характера влияния развития системы радиозондирования на число восстановленных облачных слоёв был проведён постанционный анализ максимального числа ОС и переданных при этом уровней (N_z) в аэрологической телеграмме. В табл. 4 приведены диапазоны изменений максимальных значений числа ОС с количеством облачности 0–100 % поверхности небосвода, определённых в атмосферном слое 0–10 км, и числа переданных уровней в соответствующей аэрологической телеграмме для исследуемых станций за 1964–2018 гг. и 2019 г.

Таблица 4

Диапазоны изменений максимальных значений числа облачных слоёв ($Nl_{\max}$) с количеством облачности 0–100 % поверхности небосвода в атмосферном слое 0–10 км и соответствующего числа переданных уровней (Nz) в аэрологической телеграмме для исследуемых станций за 1964–2018 гг. и 2019 г.

Категория аэрологических станций	1964–2018 гг.		2019 г.	
	$Nl_{\max}$	Nz	$Nl_{\max}$	Nz
12 станций ГСНК территории РФ	12–18	34–83	12–17	28–71
9 арктических станций РФ, не являющиеся станциями ГСНК	13–19	32–94	13–18	40–80
21 дополнительная станция РФ	12–20	33–87	11–19	27–72
2 антарктические станции РФ	15	49–63	13	43–47
14 зарубежных станций	13–20	34–94	7–20	22–96
Для всех станций	12–20	32–94	7–20	22–96

Анализ расчётов показал, что максимальное число облачных слоёв в зависимости от станции изменялось за период наблюдений 1964–2018 гг. в диапазоне 12–20 слоёв, а в 2019 г. – в диапазоне 7–20; при этом число уровней в аэрологической телеграмме составляло 32–94 и 22–96. Соответственно, амплитуда изменения $Nl_{\max}$ в зависимости от станции за период 1964–2018 гг. составляет 8 облачных слоёв, а амплитуда изменения числа переданных уровней в аэрологической телеграмме составляет 62 уровня; в 2019 г. они составляют 13 облачных слоёв и 74 уровня.

2.4. Диапазоны изменений минимальных значений числа облачных слоёв и числа переданных уровней

При постанционном исследовании была рассмотрена и обратная задача: сколько облачных слоёв было определено при максимальном числе переданных уровней, а также сколько уровней было передано при минимальном числе определённых ОС. В табл. 5 приведены диапазоны изменений минимальных ($Nl_{\min}$) значений числа ОС с количеством облачности 0–100 % поверхности небосвода в атмосферном слое 0–10 км и числа переданных уровней в соответствующих аэрологических телеграммах, а также диапазоны изменений максимальных значений ($Nz_{\max}$) числа

переданных уровней и соответствующего числа определённых ОС для исследуемых аэрологических станций в 2019 году.

Таблица 5

Диапазоны изменений минимальных ($NI_{\min}$) значений числа облачных слоёв с количеством облачности 0–100 % поверхности небосвода в атмосферном слое 0–10 км и соответствующего числа переданных уровней (Nz) в аэрологической телеграмме и диапазоны изменений максимальных значений $Nz_{\max}$ и соответствующего числа облачных слоёв (NI) для исследуемых станций в 2019 году

Категория аэрологических станций	$NI_{\min}$	Nz	NI	$Nz_{\max}$
12 станций ГСНК территории РФ	1–3	10–51	8–14	46–83
9 арктических станций РФ, не являющихся станциями ГСНК	1–2	10–34	10–15	52–85
21 дополнительная станция РФ	1–3	10–52	8–16	40–82
1 антарктическая станция РФ	2	32	9	51
14 зарубежных станций	1–3	11–37	3–20	28–98
Для всех станций	1–3	10–52	3–20	28–98

Анализ данных табл. 5 показал, что минимальное число определённых ОС для всех станций составляет 1–3, а число переданных уровней в соответствующих телеграммах изменяется от 10 до 52 уровней.

Максимальное число переданных уровней $Nz_{\max}$ для российских и зарубежных станций составляло 40–85 и 28–98, а число ОС, определённых по соответствующим зондированиям, – 8–16 и 3–20 соответственно.

2.5. Тренды аномалий средних значений числа облачных слоёв для Архангельска и Анкары

В данном разделе рассмотрены тренды аномалий средних (среднемесячных, среднесезонных, среднегодовых) значений числа облачных слоёв с различным количеством облаков в изучаемых атмосферных слоях, особенности их годового хода и временных рядов за период 1964–2017 гг. на примере российской станции Архангельск и зарубежной станции Анкара, расположенных в разных климатических зонах. Для них на рис. 1 представлены тренды аномалий числа ОС с количеством облачности: 0–20, 20–60, 60–80, 80–100 и 0–100 % поверхности небосвода для атмосферных слоёв

0–2, 2–6, 6–10 и 0–10 км для каждого месяца, сезона и года в целом. Квадратом отмечены тренды со значимостью более 99 %. При вычислении аномалий за базовый период был выбран полный период наблюдений 1964–2017 гг. В табл. 6 приведены соответствующие диапазоны изменения вертикальной шкалы.

Таблица 6

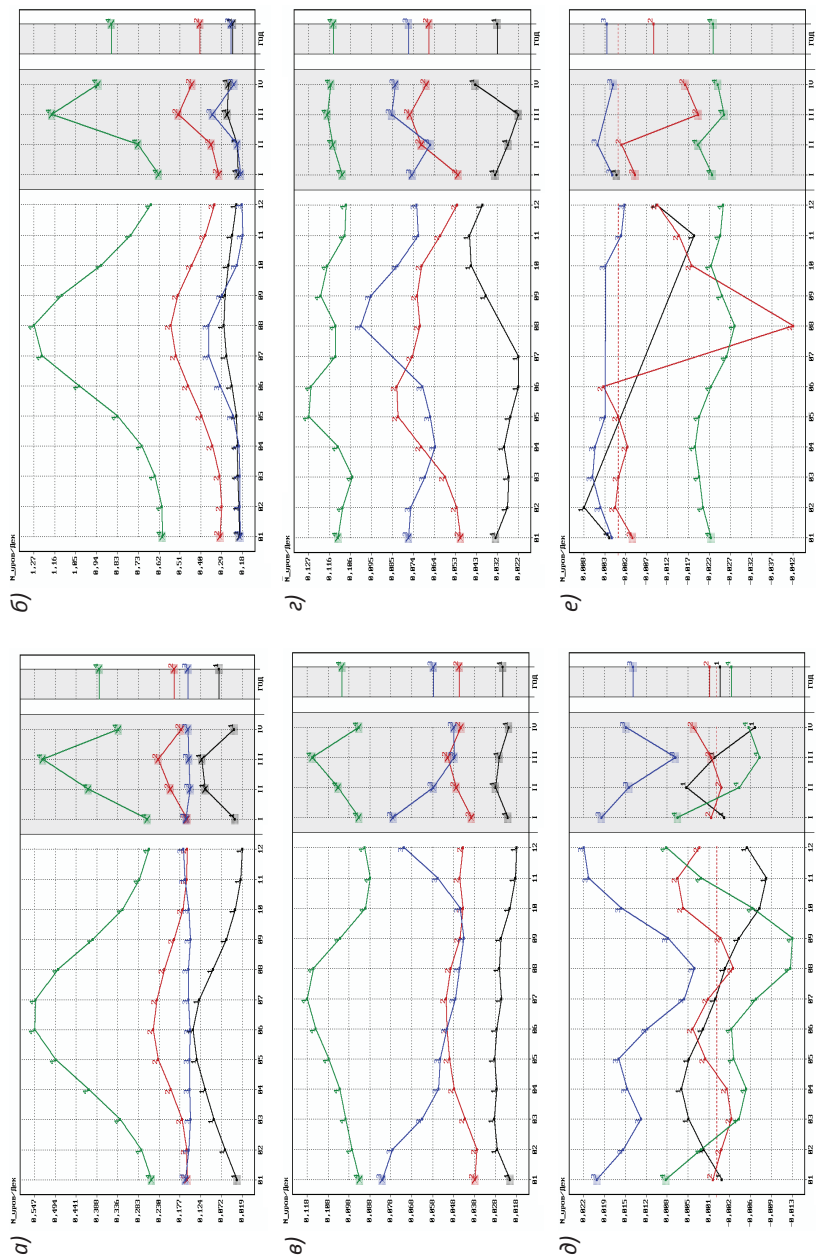
Диапазоны изменений вертикальной шкалы трендов для рис. 1 (ΔNI , n /десятилетие) аномалий числа облачных слоёв (NI) с количеством облачности 0–20, 20–60, 60–80, 80–100, 0–100 % поверхности небосвода, определённых в атмосферных слоях 0–2, 2–6, 6–10, 0–10 км для Архангельска и Анкары. 1964–2017 гг.

Количество облачности, % поверхности небосвода	Архангельск	Анкара
	ΔNI , n /десятилетие	ΔNI , n /десятилетие
0–20	0,019–0,547	0,18–1,27
20–60	0,018–0,118	0,022–0,127
60–80	-0,013–0,022	-0,042–0,008
80–100	0,090–0,646	0,032–0,505
0–100	0,20–1,09	0,27–1,51

В результате анализа рис. 1 и данных табл. 6 выявлены следующие особенности годового хода трендов аномалий числа облачных слоёв.

Наибольшее увеличение числа ОС определено для ОС с количеством облачности 0–20, 80–100 и 0–100 % поверхности небосвода. Заметим, что значимость трендов аномалий среднего сезонного числа ОС с количеством облачности 0–20, 20–60, 80–100 и 0–100 % поверхности небосвода для всех сезонов не ниже 99%. Поэтому ниже анализ проведён для таких слоёв.

Облачные слои с количеством облачности 0–20 % поверхности небосвода. Для облачных слоёв с количеством облачности 0–20 % для обеих станций летом видно увеличение трендов аномалий их среднего числа в слоях 0–2, 2–6, 0–10 км, а для Анкары – также в слое 6–10 км. Среди ОС всех ярусов максимальные тренды определены для ОС среднего яруса в течение всех месяцев/сезонов для Анкары, а для Архангельска – за исключением января, февраля, ноября и декабря; для Архангельска следует отметить стабильность трендов для числа слоёв верхнего



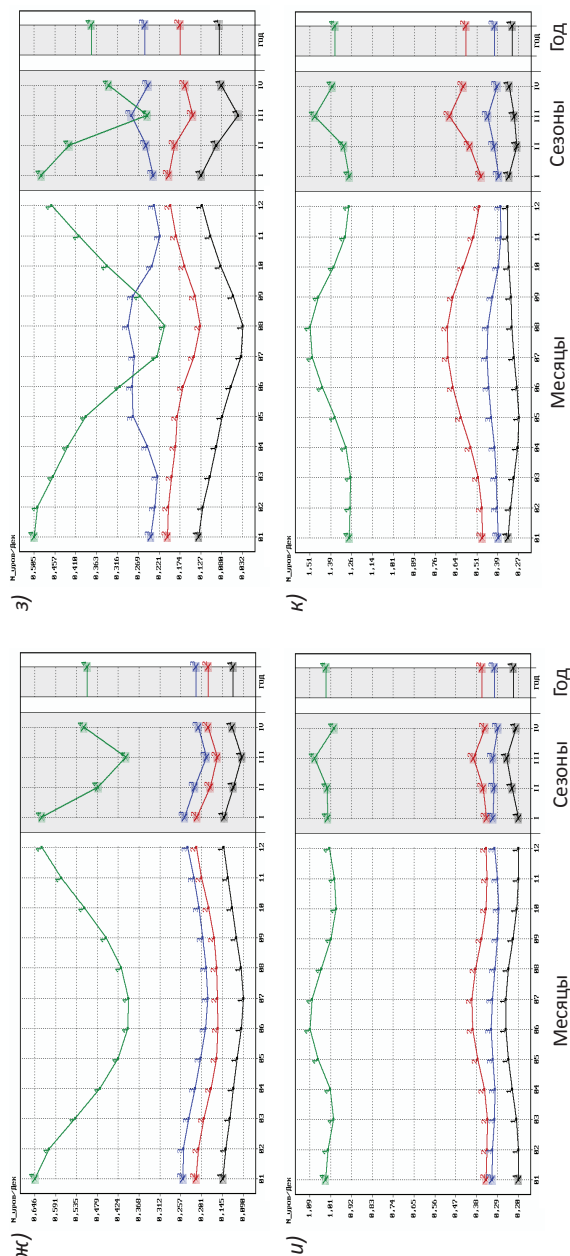


Рис. 1. Тренды аномалий числа облачных слоёв (n/десятилетие) с различным количеством облачности: (а, б) – 0–20 %, (в, г) – 20–60 %, (д, е) – 60–80 %, (ж, з) – 80–100 %, (и, к) – 0–100 % поверхности небосвода для слоёв атмосферы: чёрные линии – 0–2 км, красные линии – 2–6 км, голубые линии – 6–10 км, зелёные линии – 0–10 км для каждого месяца, сезона и года в целом для Архангельска (а, в, д, ж, и) и Анкары (б, г, е, з, к). 1964–2017 гг.

яруса в течение всего года. За год в целом для обеих станций максимальные тренды определены в слое 0–10 км, среди разных ярусов облаков – наибольшие тренды определены в слое 2–6 км; для Архангельска тренды для верхней облачности больше чем для нижней, а для Анкары – их значения совпадают. В слое 0–10 км максимальное увеличение числа ОС для Архангельска (0,55 п/десятилетие) отмечено в июне и июле, для Анкары (1,27 п/десятилетие) – в августе, а минимальное – для обеих станций определено в январе: для Архангельска и Анкары оно составляет 0,25 и 0,61 п/десятилетие соответственно; амплитуда годового хода трендов составляет для Архангельска и Анкары приблизительно 0,3 и 0,7 п/десятилетие.

Облачные слои с количеством облачности 20–60 % поверхности небосвода. Для ОС с количеством облачности 20–60 % следует отметить, что для обеих станций за год в целом и для каждого месяца/сезона максимальные тренды аномалий соответствующего среднего числа облачных слоёв определены в слое 0–10 км, а минимальные – в слое 0–2 км; за год в целом значения трендов для отдельных ярусов убывают с понижением высоты; в течение года соотношение трендов для ОС верхнего и среднего ярусов меняется. Для рассматриваемых станций в годовом ходе трендов видны следующие различия: для Архангельска в слоях 2–6 и 0–10 км чётко виден максимум трендов летом, в слое 0–2 км – весной, а в слое 6–10 км – зимой; для Анкары – в слое 0–10 км годовой ход трендов с максимумом летом выражен существенно слабее, а в слое 2–6 км – более чётко, чем в Архангельске, в слое 0–2 км их максимум виден осенью, а в слое 6–10 км – летом.

Облачные слои с количеством облачности 80–100 % поверхности небосвода. Для ОС с количеством облачности 80–100 % для обеих станций в течение всего года тренды убывают с высотой: они максимальны для ОС верхнего яруса и минимальны – для ОС нижнего яруса; минимальные тренды для ОС нижнего и среднего ярусов и в слое 0–10 км видны летом, а максимальные – зимой. Различие характера годового хода трендов аномалий среднемесячных значений числа ОС для этих двух станций выражается в следующем: во-первых, различие величины трендов для ярусов

более существенно для Анкары, чем для Архангельска; во-вторых, для ОС верхнего яруса летом видны минимальные тренды для Архангельска и максимальные – для Анкары. Для ОС в слое 0–10 км максимальные значения трендов составляют для Архангельска и Анкары 0,65 и 0,51 н/десятилетие, а минимальные – 0,38 и 0,21 н/десятилетие соответственно, амплитуда годового хода трендов для обеих станций составляет около 0,3 н/десятилетие.

Облачные слои с количеством облачности 0–100 % поверхности небосвода. Для ОС с количеством облачности 0–100 % следует отметить, что для обеих станций за год в целом и для каждого месяца/сезона тренды для аномалий соответствующих средних числа ОС в слое 2–6 км максимальны, а ОС в слое 0–2 км – минимальны; максимальные тренды отмечены летом для ОС в слоях 2–6 и 0–10 км. Летом также видны максимумы трендов для Архангельска в слое 0–2 км, а для Анкары – в слое 6–10 км, зимой отмечены максимумы трендов для Архангельска в слое 6–10 км, а для Анкары – в слое 0–2 км. В слое 0–10 км для Архангельска максимальное значение трендов аномалий среднего месячного числа ОС 1,09 н/десятилетие отмечено в июне, а для Анкары 1,51 н/десятилетие – в августе, минимальные значения для первой станции 0,98 н/десятилетие отмечено в октябре и для второй 1,26 н/десятилетие – в марте, амплитуда годового хода трендов составляет соответственно 0,11 и 0,25 н/десятилетие.

Временные ряды аномалий среднегодовых значений числа облачных слоёв. Были построены временные ряды аномалий среднегодовых значений числа облачных слоёв (NI) с количеством облачности 0–100, 0–20, 20–60, 60–80, 80–100 % поверхности небосвода в слоях атмосферы 0–2, 2–6, 6–10, 0–10 км для Архангельска и Анкары, соответствующие линейные тренды и сглаженные временные ряды за период 1964–2017 гг. При вычислении аномалий за базовый период использован полный период наблюдений. Значения линейных трендов и их значимость приведены в табл. 7. В качестве примера на рис. 2–4 временные ряды и тренды представлены для облачных слоёв с количеством облачности 0–100, 0–20, 80–100 % поверхности небосвода для изучаемых слоёв атмосферы.

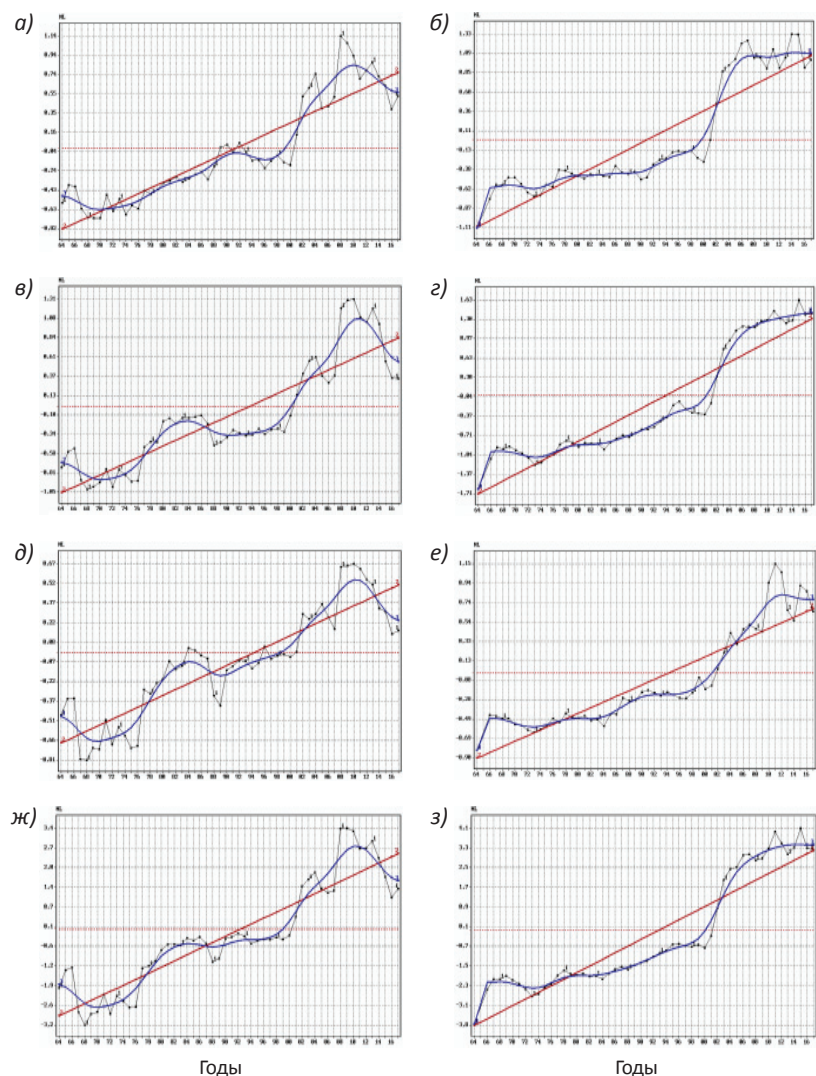


Рис. 2. Временные ряды аномалий среднегодовых значений и соответствующие сглаженные временные ряды числа облачных слоёв (NI) с количеством облачности 0–100 % поверхности небосвода в слоях атмосферы (а, б) – 0–2 км, (в, г) – 2–6 км, (д, е) – 6–10 км, (ж, з) – 0–10 км для Архангельска (а, в, д, ж) и Анкары (б, г, е, з). 1964–2017 гг.

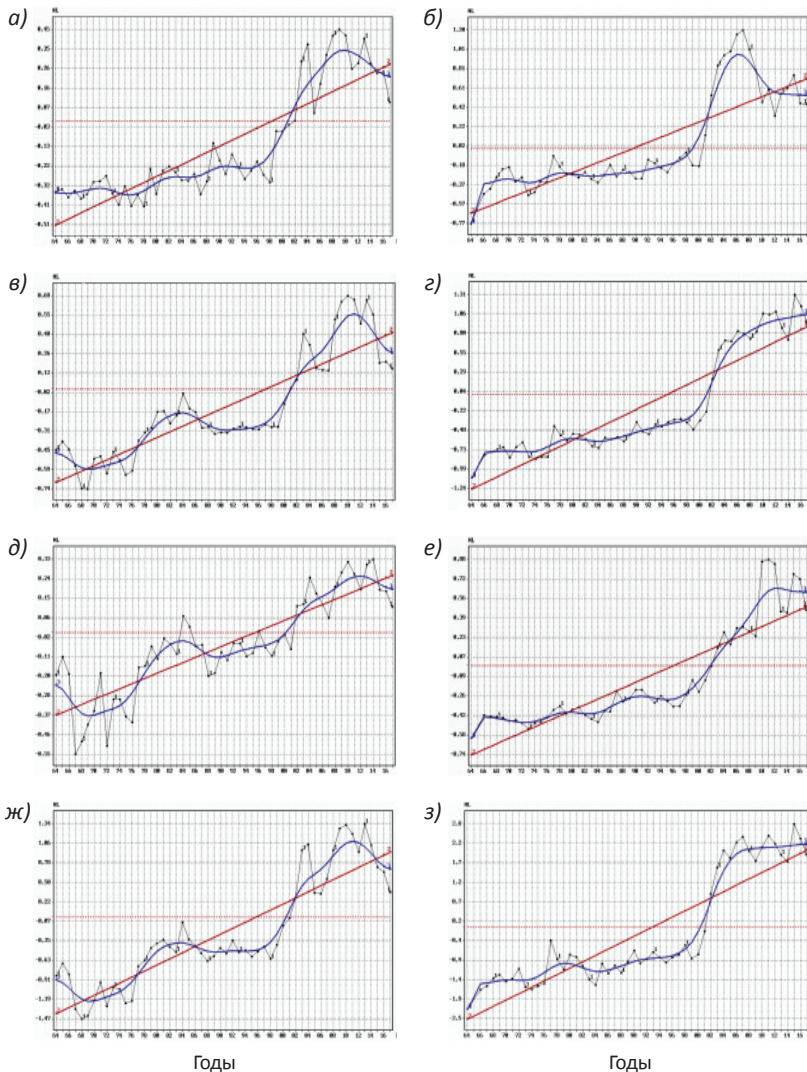


Рис. 3. Временные ряды аномалий среднегодовых значений и соответствующие smoothed временные ряды числа облачных слоёв (NI) с количеством облачности 0–20 % поверхности небосвода в слоях атмосферы (а, б) – 0–2 км, (в, г) – 2–6 км, (д, е) – 6–10 км, (ж, з) – 0–10 км для Архангельска (а, в, д, ж) и Анкары (б, г, е, з). 1964–2017 гг.

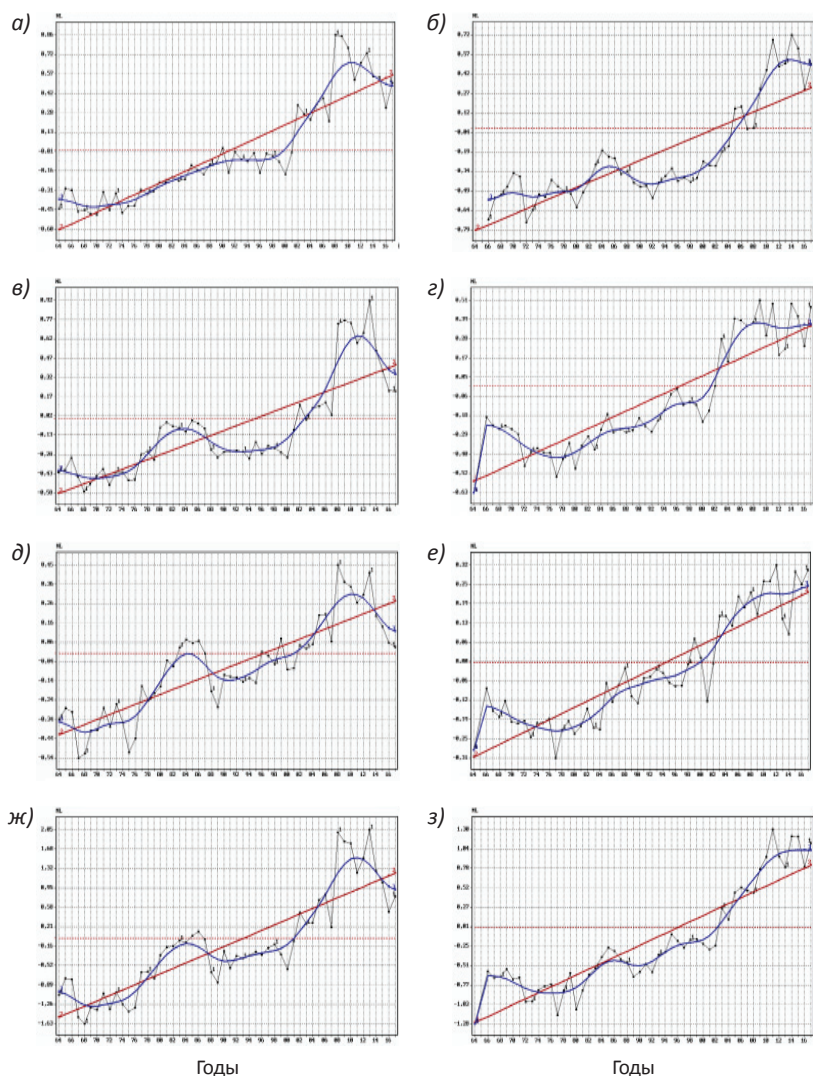


Рис. 4. Временные ряды аномалий среднегодовых значений и соответствующие сглаженные временные ряды числа облачных слоёв (NI) с количеством облачности 80–100 % поверхности небосвода в слоях атмосферы (а, б) – 0–2 км, (в, г) – 2–6 км, (д, е) – 6–10 км, (ж, з) – 0–10 км для Архангельска (а, в, д, ж) и Анкары (б, г, е, з). 1964–2017 гг.

Таблица 7

Тренды (ΔNI , п/десятилетие) и их значимость ($Зн$) аномалий числа облачных слоёв (NI) с количеством облачности 0–20, 20–60, 60–80, 80–100, 0–100 % поверхности небосвода, определённых в слоях атмосферы 0–2, 2–6, 6–10, 0–10 км для Архангельска и Анкары. 1964–2017 гг.

Название станции	0–2 км		2–6 км		6–10 км		0–10 км	
	ΔNI , п/дес.	$Зн$, %	ΔNI , п/дес.	$Зн$, %	ΔNI , п/дес.	$Зн$, %	ΔNI , п/дес.	$Зн$, %
0–100 %								
Архангельск	0,22	99	0,36	99	0,30	99	1,02	99
Анкара	0,30	99	0,57	99	0,41	99	1,34	99
0–20 %								
Архангельск	0,12	99	0,21	99	0,15	99	0,44	99
Анкара	0,23	99	0,40	99	0,26	99	0,86	99
20–60 %								
Архангельск	0,03	99	0,05	99	0,05	99	0,11	99
Анкара	0,03	99	0,06	99	0,07	99	0,10	99
60–80 %								
Архангельск	0,00	97	0,00	08	0,01	99	0,00	23
Анкара	-0,01	95	-0,01	99	0,00	58	-0,01	99
80–100 %								
Архангельск	0,13	99	0,19	99	0,22	99	0,51	99
Анкара	0,10	99	0,17	99	0,21	99	0,39	99

Анализ данных табл. 7 для облачных слоёв с разным количеством облаков для нижнего, среднего и верхнего ярусов показал, что наибольшие тренды аномалий среднегодового числа ОС для ОС с количеством облачности 0–20 и 0–100 % поверхности небосвода определены в слое 2–6 км, а для ОС с количеством облачности 20–60, 60–80 и 80–100 % они зафиксированы в слое 6–10 км. Значимость трендов не менее 99 %.

При рассмотрении трендов с учётом градации количества облачности видно, что во всех изучаемых слоях атмосферы наибольшие тренды определены для ОС с количеством 0–20, 80–100 и 0–100 % поверхности небосвода. Значимость трендов не менее 99 %.

Во всех изучаемых слоях атмосферы для ОС с количеством облачности 0–100, 0–20 % поверхности небосвода число ОС увеличивается для Анкары быстрее, чем для Архангельска. Например, в слое 0–10 км тренды составляют для Анкары и Архангельска 1,34 и 1,02 п/десятилетие, т. е. приблизительно на 30 % они для Анкары больше, чем для Архангельска. Для ОС с количеством облачности 80–100 % поверхности небосвода число ОС во всех изучаемых слоях атмосферы увеличивается, наоборот, для Анкары – несколько медленнее, чем для Архангельска (табл. 7).

На рис. 2–4 для облачных слоёв во всех изучаемых слоях атмосферы с разным количеством облачности тренды аномалий среднегодовых значений числа ОС положительные, однако для аномалий видны периоды как возрастания, так и убывания.

2.6. Тренды аномалий средних значений характеристик зондирования

На рис. 5 приведены тренды аномалий характеристик зондирования и их средних квадратических отклонений для российской и зарубежной станций, Архангельска и Анкары, для каждого месяца, сезона и за год в целом за период 1964–2017 гг. В качестве характеристик зондирования выбраны следующие: число передаваемых уровней в аэрологической телеграмме и расстояние между уровнями зондирования в слоях атмосферы 0–3 и 0–33 км. Диапазоны внутригодовых изменений приведены в табл. 8. Заметим, что согласно расчётам, для Архангельска и Анкары средняя многолетняя высота подъёма зонда составляет 29 724 и 31 034 м, число передаваемых уровней в слое 0–3 км – 7,8 и 6,7, число передаваемых уровней в слое 0–33 км – 33 и 49, расстояние между уровнями зондирования в слое 0–3 км – 450 и 535 м, а в слое 0–33 км – 1 112 и 928 м соответственно.

На рис. 6 показаны временные ряды аномалий средних годовых значений характеристик зондирования и соответствующие линейные тренды, а также соответствующие сглаженные временные ряды для Архангельска и Анкары за период 1964–2017 гг. Значимость приведённых трендов не менее 99 %. Рис. 6 демонстрирует характер изменения параметров зондирования. Для

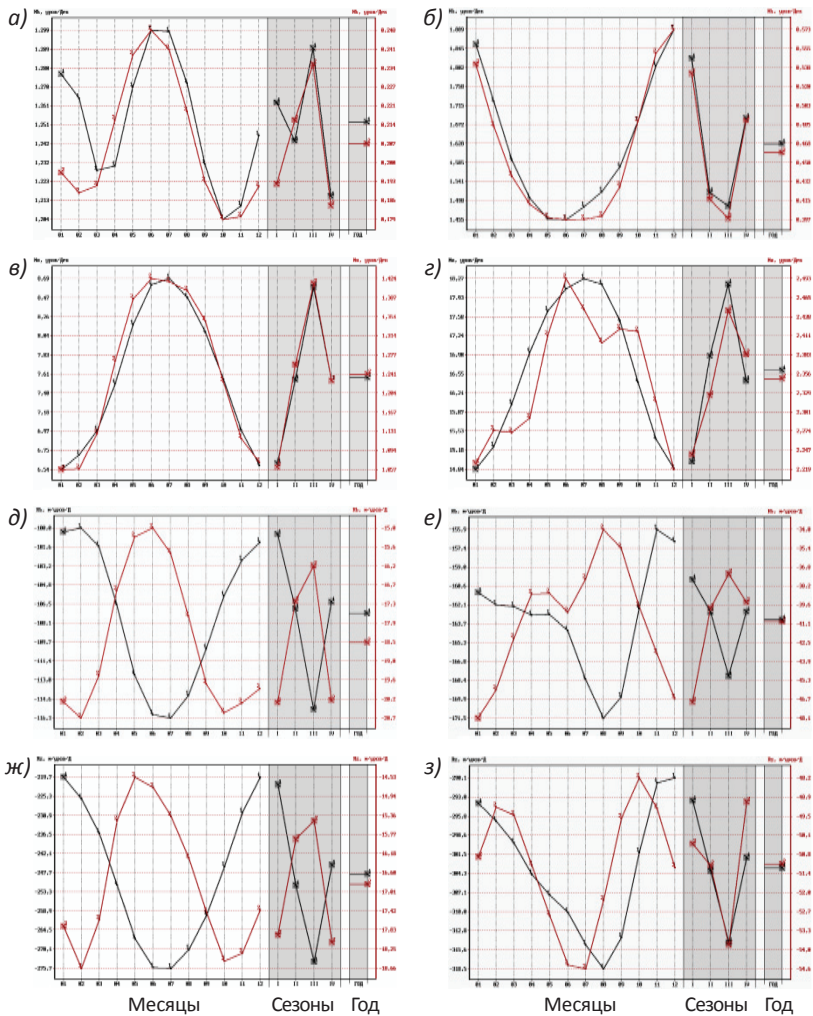


Рис. 5. Тренды аномалий средних значений характеристик зондирования (чёрные линии) и их средних квадратических отклонений (красные линии) для Архангельска (а, в, д, ж) и Анкары (б, г, е, з) для месяцев, сезонов и за год в целом за 1964–2017 гг.

а, б, в, г – число передаваемых уровней в аэрологической телеграмме; д, е, ж, з – расстояние между уровнями зондирования в разных слоях атмосферы: а, б, д, е – слой 0–3 км; в, г, ж, з – слой 0–33 км. Квадратом отмечены тренды со значимостью более 99%.

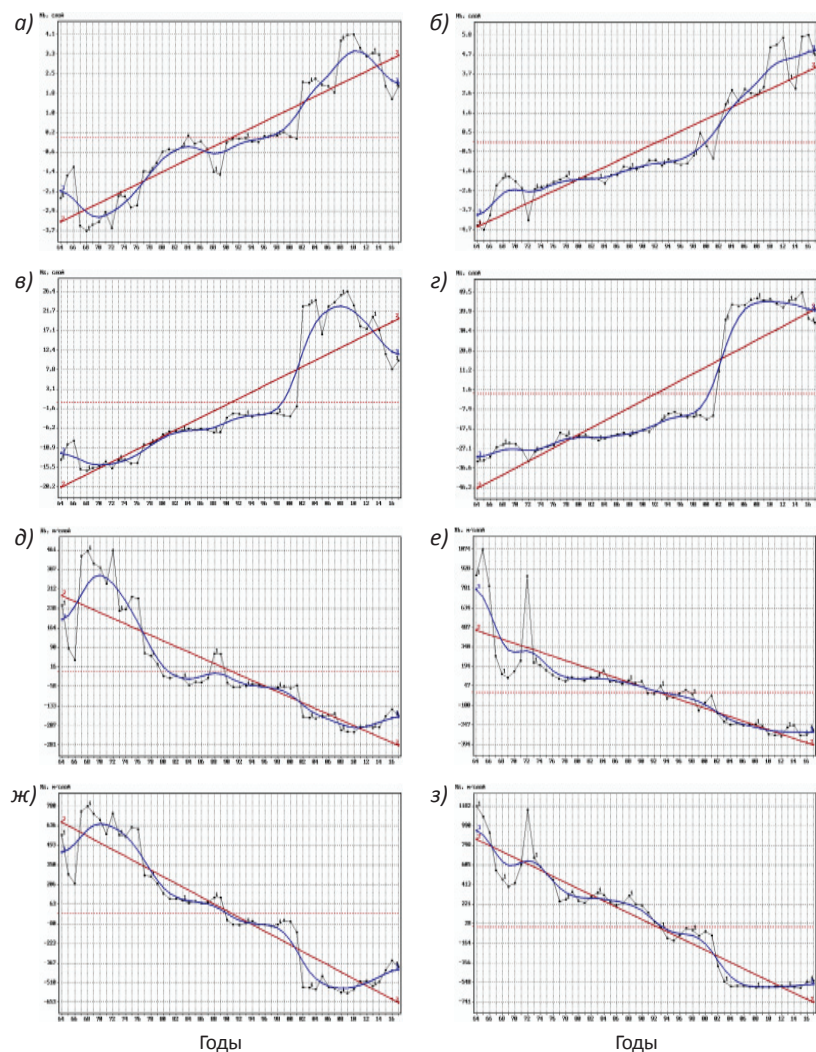


Рис. 6. Временные ряды и линейные тренды, сглаженные временные ряды аномалий средних годовых значений характеристик зондирования для Архангельска (а, в, д, ж) и Анкары (б, г, е, з) за 1964–2017 гг. Значимость трендов не менее 99 %.

а, б, в, г – число передаваемых уровней в аэрологической телеграмме,
д, е, ж, з – расстояние между уровнями зондирования в разных слоях атмосферы: а, б, д, е – слой 0–3 км; в, г, ж, з – слой 0–33 км.

Архангельска и Анкары тренд аномалий средних годовых значений числа передаваемых уровней в аэрологической телеграмме составляет 0,117 и 0,130 н/десятилетие, а для расстояния между уровнями зондирования -0,117 и -0,130 м/уровень/десятилетие.

Сравнение сглаженных временных рядов на рис. 2 (а, б, ж, з) и на рис. 6 (а, б, в, г) показывает их согласованность.

Таблица 8

Диапазоны внутригодовых изменений трендов аномалий среднемесячных значений характеристик зондирования (Tr_a) и трендов их средних квадратических отклонений (Tr_σ) для Архангельска и Анкары. 1964–2017 гг. Nz – число передаваемых уровней, Rz – расстояние между уровнями зондирования

Характеристика зондирования	Архангельск		Анкара	
	Tr_a	Tr_σ	Tr_a	Tr_σ
Слой атмосферы 0–3 км				
Nz , н/дес.	1,2–1,3	0,2–0,3	1,5–1,9	0,4–0,6
Rz , м/уровень/дес.	-116,3...-100,0	-20,7...-15,0	-171,5...-155,9	-48,1...-34,0
Слой атмосферы 0–33 км				
Nz , н/дес.	6,5–8,7	1,06–1,42	14,0–18,3	2,2–2,5
Rz , м/уровень/дес.	-275,7...-219,7	-18,66...-14,53	-318,5...-290,1	-54,6...-48,2

Заключение

На основе данных за 1964–2019 гг. для 58 отобранных российских и зарубежных, расположенных в соседних с РФ районах, аэрологических станций в результате анализа расчётов получены новые знания о вертикальной макроструктуре облачных слоёв, восстановленных по данным радиозондирования с помощью СЕ-метода, в частности о диапазонах изменений средних значений и максимального числа облачных слоёв в разных слоях атмосферы. Проведён совместный анализ максимального числа облачных слоёв и числа переданных уровней в аэрологической телеграмме. Установлено:

- увеличение числа передаваемых уровней в аэрологической телеграмме, сопровождающееся уменьшением расстояния между уровнями зондирования является необходимым, но не достаточным условием увеличения числа восстановленных облачных слоёв;

- максимальное число облачных слоёв в слое 1–10 км – 20 слоёв – было зафиксировано как на российских, так и зарубежных станциях.

На примере Архангельска и Анкары при рассмотрении ОС с учётом яруса и количества облачности показано, что наибольшие тренды аномалий среднегодового числа ОС для ОС с количеством облачности 0–20 и 0–100 % поверхности небосвода определены в слое 2–6 км, а для ОС с количеством облачности 20–60, 60–80 и 80–100 % поверхности небосвода они зафиксированы в слое 6–10 км.

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. 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.
3. Баранов А. М. Облака и безопасность полётов. Л.: Гидрометеиздат, 1983. 231 с.
4. Гречко Г. М., Гурвич А. С., Романенко Ю. В., Соколовский С. В., Татарская М. С. Слоистая структура температурного поля в атмосфере по измерениям рефракции с орбитальной станции «Салют-6» // Известия АН СССР. Физика атмосферы и океана. 1981. Т. 17, № 2. С. 115–122.
5. Дубровина Л. С. Облака и осадки по данным самолётного зондирования. Л.: Гидрометеиздат, 1982. 216 с.
6. Кондратьев К. Я., Биненко В. И. Влияние облачности на радиацию и климат. Л.: Гидрометеиздат, 1984. 240 с.
7. Фридзон М. Б. Методология радиозондирования атмосферы и достоверность измерений вертикальных профилей температуры и влажности до высот 35–40 км: автореф. дис. на соискание учёной степени доктора техн. наук. М., 2004.
8. Черных И. В., Алдухов О. А. Долгопериодные оценки характеристик вертикального распределения облачных слоёв по данным радиозондирования атмосферы // Метеорология и гидрология. 2016. № 4. С. 5–17.
9. Черных И. В., Алдухов О. А. Оценки числа облачных слоёв по данным радиозондирования атмосферы за 1964–2014 гг. на российских станциях // Метеорология и гидрология. 2018. № 3. С. 29–39.

10. Черных И. В., Алдухов О. А. Долгопериодные оценки числа облачных слоёв по данным радиозондирования атмосферы за 1964–2017 гг. в разных в широтных зонах // Метеорология и гидрология. 2020. № 4. С. 18–32.
11. Curry J. A., Hobbs P. V., King M. D. et al. FIRE Arctic Clouds Experiment // Bull. Amer. Meteorol. Soc. 2000. Vol. 81. P. 5–29.
12. Uttal T., Curry J. A., McPhee M. G. et al. Surface heat budget of the Arctic Ocean // Bull. Amer. Meteorol. Soc. 2002. Vol. 83. P. 255–275.
13. Ferlay N., Thieuleux F., Cornet C. et al. Toward new inferences about cloud structures from multidirectional measurements in the Oxygen A Band: Middle-of-cloud pressure and cloud geometrical thickness from POLDER-3/PARASOL // J. Appl. Meteorol. Climatol. 2010. Vol. 49. P. 2492–2507.
14. Naud C. M., Muller J. P., Clothiaux E. E. Comparison between active sensor and radiosonde cloud boundaries over the ARM Southern Great Plains site // J. Geophys. Res. 2003. Vol. 108. N D4. P. 3-1–3-12.
15. Poore K. D., Wang J., Rossow W. Cloud layer thickness from a combination of surface and upper-air observations // J. Climate. 1995. Vol. 8. P. 550–568.
16. Rossow W. B., Zhang Y., Wang J. A statistical model of cloud vertical structure based on reconciling cloud layer amounts inferred from satellites and radiosonde humidity profiles // J. Climate. 2005. Vol. 18. P. 3587–3605.
17. Stephens G., Winker D., Pelon J. et al. CLOUDSAT and CALIPSO within the A-TRAIN ten years of actively observing the earth system // Bull. Amer. Meteorol. Soc. 2018. Vol. 99. P. 569–581.
18. 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.
19. Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2016 год. М., Росгидромет, 2017. 70 с.
20. Стерин А. М. О чувствительности оценок трендов температуры тропосферы и нижней стратосферы по данным радиозондирования. 1: Выбор массива данных, длины ряда и методов анализа // Метеорология и гидрология. 2004. № 5. С. 21–36.
21. Черных И. В., Алдухов О. А. Тренды температуры и влажности в нижнем двухкилометровом слое атмосферы над Российской Арктикой по данным радиозондирования // Метеорология и гидрология. 2020. № 9. С. 17–26.
22. Черных И. В., Алдухов О. А. Совместный анализ климатических изменений вертикальной макроструктуры облачности и параметров свободной атмосферы в Антарктике. Тезисы докладов Всемирной конференции по изменению климата. 29 сентября – 3 октября 2003. Москва. Россия. С. 384.

23. Alduchov O. A., Chernykh I. V. About Warming in Troposphere over North-West of Russia // Research Activities in Atmospheric and Oceanic Modelling (WGNE Blue Book), <http://wgne.meteoinfo.ru/>. Geneva: WMO, Switzerland. 2009. P. 2.3–2.4.

24. Aldukhov O. A., Chernykh I. V. First and second-order trends of air temperature at the surface level from global radiosonde data // Research activities in Earth system modelling. Working Group on Numerical Experimentation. Report No. 50. WCRP Report No. 12/2020. Ed. E. Astakhova, July 2020, WMO, Geneva. Research Activities in Earth System Modelling (WGNE Blue Book 2020), <http://bluebook.meteoinfo.ru/>. Geneva: WMO, Switzerland. 2020. P. 2-03–2-04.

25. Chernykh I. V., Alduchov O. A. About climatic changes of cloud layers vertical structure and some upper-air parameters in Arctic region. ACSYS final science conference. Abstracts. Arctic and Antarctic Research Institute of Roshydromet. St. Petersburg. Russia. 11–14 November 2003. St. Petersburg: Arctic and Antarctic Research Institute of Roshydromet. 2003. P. 31.

26. Chernykh I. V., Aldukhov O. A. Spatiotemporal distributions of global trends of humidity and temperature in the low troposphere // Research activities in Earth system modelling. Working Group on Numerical Experimentation. Report No. 50. WCRP Report No. 12/2020. Ed. E. Astakhova, July 2020, WMO, Geneva. Research Activities in Earth System Modelling (WGNE Blue Book 2020), <http://bluebook.meteoinfo.ru/>. 2020. P. 2-07–2-08.

27. *Climate Change 2007: The physical science basis* / Eds. S. Solomon, D. Qin, M. Manning et al. Cambridge/N.Y.: Cambridge Univ. Press, 2007. 996 p.

28. Хлебникова Е. И., Салль И. А. Особенности климатических изменений облачного покрова над территорией России // Метеорология и гидрология. 2009. № 7. С. 5–13.

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

30. Sun B., Groisman P. Y., Mokhov I. I. Recent changes in cloud-type frequency and inferred increases in convection over the United States and the former USSR // J. Climate. 2001. V. 14. P. 1864–1880.

31. 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. Vol. 20. P. 717–738.

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

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

34. Eskridge R. E., Alduchov O. A., Chernykh I. V. et al. A comprehensive aerological reference dataset (CARDS): rough and systematic errors // Bull. Amer. Meteorol. Soc. 1995. Vol. 76. P. 1759–1775.

35. *Alduchov O. A., Chernykh I. V.* Geographical distribution of the instrumental changes and changes in some cloud parameters reconstructed from CARDS of 1964–1998. 25 Annual Climate Diagnostics and Prediction Workshop. November, 2000. Palisades, New York, October 23–27. Palisades, NY, U.S. Department of Commerce, NOAA/NWS, 2001. P. 121–124.
36. *Chernykh I. V., Alduchov O. A., Eskridge R. E.* Reply to comments of Seidel D. J. and Durre I. on «Trends in low and high cloud boundaries and errors in height determination of cloud boundaries» // *Bull. Amer. Meteorol. Soc.* 2003. Vol. 84. P. 241–247.
37. *Chernykh I. V., Alduchov O. A.* Detection of cloudiness from temperature and humidity profiles for different resolution of radiosonde sounding by various methods // *Res. Activ. Atmos. and Ocean. Model. (WGNE Blue Book).* Geneva: WMO, Switzerland. 2002. N 32. P. 2.5–2.6.
38. *Зайцева Н. А.* Аэрология. Л.: Гидрометеиздат, 1990. 325 с.
39. *Alduchov O. A., Eskridge R. E.* Improved Magnus form approximation of saturation vapor pressure // *J. Appl. Meteorol.* 1996. Vol. 35. P. 601–609.
40. *Gaffen D. J., Ross R. J.* Climatology and trends of U.S. surface humidity and temperature // *J. Climate.* 1999. Vol. 12. P. 811–827.
41. *Garand L., Grassotti C., Halle J. et al.* On differences in radiosonde humidity-reporting practices and their implications for numerical weather prediction and remotes sensing // *Bull. Amer. Meteorol. Soc.* 1992. Vol. 73. P. 1417–1423.
42. *Черных И. В., Алдухов О. А.* О трендах нижней границы облачности над Калужским регионом: Сборник докладов Всероссийской научно-практической конференции «Региональные аспекты глобальных изменений климата и их последствий». 9–10 октября 2008 г., г. Калуга. Калуга: Изд-во КГПУ. 2008. С. 36–37.
43. *Chernykh I. V., Aldukhov O. A.* Trends in Frequency of Overcast Clouds over Arctic Region of Russia // *Res. Activ. Atmos. and Ocean. Model. (WGNE Blue Book 2018)*, <http://bluebook.meteoinfo.ru/>. Geneva: WMO, Switzerland. 2018. P. 2-09–2-10.
44. *Chernykh I. V., Alduchov O. A.* Trends in Low Boundary of Overcast Clouds over North-West of Russia // *Res. Activ. Atmos. and Ocean. Model. (WGNE Blue Book).* WMO. <http://wgne.meteoinfo.ru/>. Geneva: WMO, Switzerland. 2009. P. 2.9–2.10.
45. *Chernykh I. V., Alduchov O. A.* Trends in Low Cloud Boundary for Antarctic Region // *Res. Activ. Atmos. and Ocean. Model. (WGNE Blue Book)*, <http://wgne.meteoinfo.ru/>. Geneva: WMO, Switzerland. 2007. P. 02-09–02-10.
46. *Chernykh I. V., Alduchov O. A., Eskridge R. E.* Trends in low and high cloud boundaries and Errors in height determination of cloud boundaries // *Bull. Amer. Meteorol. Soc.* 2001. Vol. 82. P. 1941–1947.

47. *Chernykh I. V.* Changes in Thickness of Low Cloud Layers Reconstructed from CARDS of 1964–1998. 25 Annual Climate Diagnostics and Prediction Workshop. November, 2000. Palisades, New York, October 23–27. Palisades, NY, U.S. Department of Commerce, NOAA/ NWS. 2001. P. 125–128.

48. *Алдухов О. А., Оржеховская В. А., Садовникова Т. О. и др.* Архив текущей аэрологической информации АЭРОСТАБ. Описание архива. Обнинск: ВНИИГМИ-МЦД, 1990. 28 с.

49. *Руденкова Т. В.* Формат архивации текущих аэрологических данных, поступающих по каналам связи для ПЭВМ // Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2010. Вып. 174. С. 41–63.

50. *Алдухов О. А., Черных И. В.* Принципы контроля качества массивов результатов радиозондирования атмосферы // Метеорология и гидрология. 2016. № 3. С. 92–101.

51. *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.

52. *Черных И. В., Алдухов О. А.* Оценки параметров вертикальной макроструктуры облачных слоёв по данным радиозондирования атмосферы на аэрологических станциях ГСНК территории РФ за 1964–2017 гг. // Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2018. Вып. 183. С. 5–19.

53. *Черных И. В., Алдухов О. А.* Годовой ход параметров сплошных облачных слоёв над Арктикой на фоне их глобальных оценок по многолетним радиозондовым данным // Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2019. Вып. 185. С. 115–135.

54. *Черных И. В., Алдухов О. А.* Описание базы данных «Срочные данные о границах облачных слоёв, восстановленных по результатам радиозондовых наблюдений температуры и влажности на 58 станциях территории Российской Федерации и соседних регионов за период наблюдений 1964–2018 гг.» // Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2019. Вып. 186. С. 21–34.

55. *Стечкин С. Б., Субботин Ю. Н.* Сплайны в вычислительной математике. М.: Наука. 1976. 248 с.

56. *Bartels R. H., Beatty J. C., Barsky B. A.* An Introduction to Splines for use in Computer Graphics and Geometric Modeling. Los Altos: Morgan Kaufman Publishers. 1987. 476 p.

57. *Беспалов Д. П., Девяткин А. М., Довгалюк Ю. А. и др.* Атлас облаков. СПб.: Д'АРТ, 2011. 248 с.

58. *World Meteorological Organization.* International Cloud Atlas. Geneva: WMO, 1956. 72 plates. 62 p.

УДК 551.583.13

ЦИКЛИЧНОСТЬ ИЗМЕНЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА В ЕВРОПЕ ПО ДАННЫМ МНОГОЛЕТНИХ НАБЛЮДЕНИЙ В ЦЕНТРАЛЬНОЙ АНГЛИИ

Б. Г. Шерстюков¹, Р. С. Салугашвили

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

Введение

Современное глобальное потепление климата происходило в два этапа в виде двух волн потепления. Первая волна потепления достигла максимума в 1930–1940-е годы XX века. Её особенностью было более выраженное потепление в высоких полярных широтах Северного полушария. После 1940-х годов стала проявляться тенденция к похолоданию. Первое в XX веке потепление сменилось непродолжительным и несильным похолоданием. Вторая волна потепления началось во второй половине 1970-х годов, она более стремительно развивалась до конца XX века, после чего на 15–17 лет потепление замедлилось, установилась так называемая пауза в потеплении. Далее температура опять повысилась. Стремительному потеплению в последней четверти XX века приписали антропогенное происхождение, связанное с увеличением выбросов человечеством углекислого газа в атмосферу и последовавшим усилением парникового эффекта атмосферы [1]. Первую волну потепления сочли природным явлением, разделив таким образом по происхождению две волны неразрывного процесса. До сих пор никто не доказал количественно того, что известной антропогенной прибавки парниковых газов в атмосфере достаточно для наблюдаемого потепления глобального климата.

Выделение некоторой причины рассматриваемого следствия всегда условно и должно тщательно обосновываться и многократно перепроверяться. Поэтому для установления истинной

причины необходимо в широких пределах варьировать поиск всех возможных причин, способных приводить к анализируемому следствию. Существующие физико-математические модели климата не могут служить инструментом доказательства парниковой гипотезы, так как на самом деле сами являются полуэмпирическими, заведомо настроенными с помощью эмпирических коэффициентов на описание наблюдаемого потепления за счёт усиления концентрации парниковых газов в атмосфере.

По мнению самих авторов моделей климата, все существующие физико-математические модели не совершенны. В [2] получена оценка ожидаемой величины глобального потепления реальной климатической системы при увеличении содержания CO_2 , свидетельствующая о том, что чувствительность многих современных моделей климата существенно завышена.

Возникает парадокс: вторая волна потепления признана в материалах IPCC следствием человеческой деятельности, тогда получается, что первая волна, признанная там же природной, почему-то не получила продолжения в последующие годы. В природе так не бывает. Более естественно предположить природную связь между двумя волнами потепления XX века, не привлекая дополнительные гипотезы. «Не должно принимать в природе иных причин, сверх тех, которые необходимы и достаточны для объяснения явлений. Ибо природа проста и не роскошествует излишними причинами» [3].

Исходными данными для анализа послужили многолетние наблюдения за температурой воздуха в Центральной Англии [4].

Анализ и результаты

На примере многолетнего ряда наблюдений за температурой в Центральной Англии проследим колебания климата, начиная с 1800 года. Значения температуры, восстановленные за более ранние годы, не совсем надёжны, и поэтому не рассматриваются.

Анализ будем проводить так, чтобы не потерять антропогенное усиление парникового эффекта, если оно существовало. Теоретически парниковый эффект наиболее явно должен проявляться в зимние месяцы, поэтому анализировать будем ряд зимней

температуры в Центральной Англии (декабрь – февраль). Нас не интересует короткопериодная межгодовая изменчивость, поэтому методом скользящих средних по 11-летиям исключим короткопериодные вариации температуры, не связанные с предполагаемым ростом концентрации CO_2 в атмосфере. Рис. 1 показывает, что повышение температуры началось задолго до индустриальной эры, поэтому исключим линейный тренд потепления, не связанный с антропогенной деятельностью.

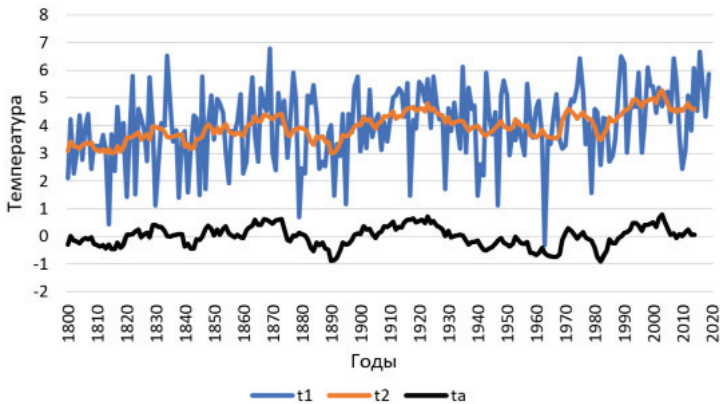


Рис. 1. Температура в Центральной Англии за 1800–2019 гг. (t_1), её сглаженные значения (t_2) по 11 лет, линейный тренд температуры и отклонения (ta) температуры от линейного тренда

Тренд описывает 62 % общей изменчивости ряда. График остатков значений температуры после исключения тренда демонстрирует долгопериодные колебания на всём интервале лет с 1800 по 2019 год. Спектральный анализ ряда ta показал наличие в нём статистически значимых (с вероятностью 95 %) составляющих колебаний с периодами 73,33; 44,00 и 24,44 года.

Выявленные циклические изменения позволяют построить модель колебаний на основе суммы трёх синусоид с периодами 73,33; 44,00 и 24,44 года:

$$T_i = b_1 \cos\left(\frac{2\pi}{t_1}(i + f_1)\right) + b_2 \cos\left(\frac{2\pi}{t_2}(i + f_2)\right) + b_3 \cos\left(\frac{2\pi}{t_3}(i + f_3)\right) + t_{r.} \quad (1)$$

Начальные фазы f_1 , f_2 и f_3 для каждой синусоиды найдены методом итераций, а коэффициенты, характеризующие амплитуды каждой синусоиды b_1 , b_2 и b_3 , определены методом множественной регрессии. t_r – трендовая составляющая потепления, полученная по данным наблюдений. Наилучшее подобие модели реальным данным ряда ta получено при начальных фазах f и коэффициентах амплитуд b , показанных в таблице для трёх членов уравнения (1).

Таблица

Характеристики модели (1)

Номер гармоники	Период t (годы)	Начальная фаза f	Коэффициент b	Вклад %
1	73,33	23	0,5053	31
2	44,00	18	0,5044	19
3	24,44	22	0,438	7

Наибольший вклад 31 % в описание общей изменчивости температуры в Центральной Англии даёт синусоида с периодом 73,44 года (рис. 2).

Рис. 2 показывает, что потепление в Центральной Англии в последней четверти XX века являлось восходящей ветвью природных

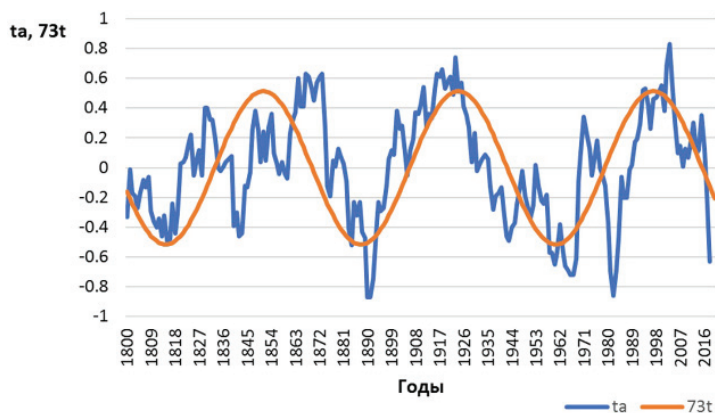


Рис. 2. Сглаженная температура в Центральной Англии без линейного тренда и модельная синусоида с периодом 73,44 года

колебаний с периодом 73 года. За более чем двухсотлетнюю историю наблюдений аналогичные потепления происходили трижды и каждый раз сменялись фазами похолодания. Трудно ожидать, что после восходящей фазы конца XX века не наступит фаза понижения температуры.

Квази-60–70-летняя цикличность хорошо известна для Северной Атлантики, прилегающих регионов и даже вдали от Атлантики. В [5] утверждается, что 60–70-летняя цикличность присуща всем регионам Земли.

Далее к модели колебаний был добавлен линейный тренд, извлечённый ранее из исходных данных. На рис. 3 показан график изменения температуры в Центральной Англии (слажено по 11 годам) и модель этих изменений, построенная на основе трёх синусоид и известного линейного тренда.

Модель описывает 57 % изменчивости отклонений от тренда. От исходного ряда это составляет 35 % общей изменчивости. Линейный тренд описывает 62 % изменчивости. Вместе с трендом модель описывает $62 + 35 = 97\%$.

График на рис. 3 демонстрирует единый колебательный процесс на всём интервале лет, который накладывается на линейный

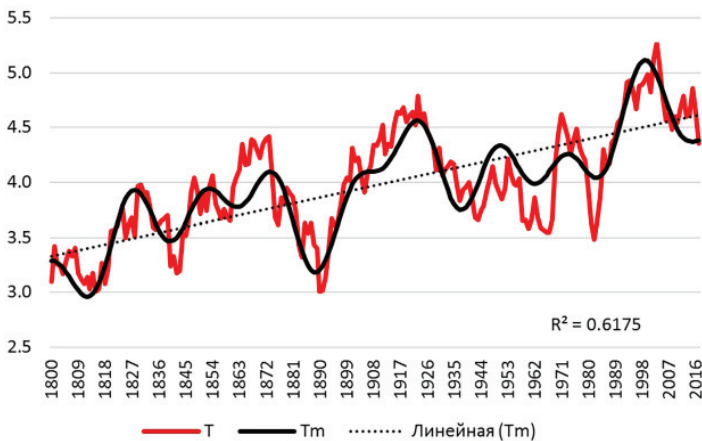


Рис. 3. Температура в Центральной Англии по наблюдениям и по модели

тренд потепления, начавшийся раньше индустриализации общества и никак не может быть связан с антропогенным усилением парникового эффекта. Столь длительный тренд потепления может быть связан с фундаментальными основами климата, а именно с изменением наклона земной оси, описанного в работах В. М. Федорова [6, 7].

Вторая волна потепления, наблюдаемая в последней четверти XX века, является продолжением колебаний предшествующих лет. Для объяснения современного потепления не потребовалось привлекать гипотезу об антропогенном влиянии. Антропогенная гипотеза избыточна, в ней нет необходимости.

Обсуждение результатов

Можно ли считать, что только в Центральной Англии изменения климата являются следствием природных свойств самой климатической системы без вмешательства человека, а в других регионах происходят процессы, виновником которых является человек? В каждом регионе Земли сформировалась своя система внутренней изменчивости с набором присущих региону собственных частот колебаний [8].

Региональные различия в собственных частотах колебаний климата определяются физико-географическими условиями места, удалённостью от океанов и другими природными условиями, но закономерности формирования колебаний климата на всей Земле описываются одними и теми же физическими законами и имеют общие причины [9]. Их проявление описано на примере одного региона в настоящей статье.

Методической ошибкой всех сторонников парниковой гипотезы потепления является главный довод их утверждения о том, что без добавления в математические модели фактора увеличения концентрации CO_2 в атмосфере не удаётся описать потепление климата XX века. Результаты выполненного анализа показали, что это не так. Если современные модели не могут объяснить глобальное потепление без введения антропогенного фактора, количественно ничем не обоснованного, то это проблема самих моделей. Это означает, что недостатки моделей в описании

природных колебаний климата нельзя покрывать введением не доказанного антропогенного фактора, усиливая ошибки моделей в интерпретации происходящих изменений.

Технической ошибкой математических моделей являлось исследование потепления климата без признания и учёта циклических изменений климата. В результате все модели настраивались на реальных данных в период восходящей фазы 60–70-летнего цикла, ошибочно относя все потепление на счёт антропогенного фактора. Затем последовал вывод о том, что это потепление является следствием антропогенного фактора. Без научного обоснования получили то, что заложили в модель.

Совершенно очевидно, что третьей методической ошибкой физико-математических моделей является принятие за доказательство парниковой гипотезы того результата, который заведомо был заложен в модель при её настройке. Специалисты в области работы с данными наблюдений таких ошибок не пропускают и не считают модели инструментом, дающим новые знания о климатической системе. Правильнее считать модели упрощённым математическим описанием знаний, накопленных ранее из анализа результатов наблюдений. Модель показывает только то, что в неё заложили авторы в результате настройки под реальные изменения климата. Априорно заданная в моделях связь потепления с увеличением концентрации CO_2 не может служить доказательством наличия этой связи.

Заключение

На примере одной длиннорядной станции показано, что наблюдаемые изменения климата в Центральной Англии являются следствием суперпозиции природных колебаний в климатической системе и линейного тренда потепления, который не связан с человеческой деятельностью. Колебания являются следствием долгопериодной внутренней изменчивости климатической системы на её собственных частотах, разных в каждом регионе Земли.

Выявлено три основных цикла с периодами 73,3; 44,0 и 24,4 лет, в совокупности описывающих 57 % общей изменчивости долгопериодных колебаний отклонений от тренда значений

температуры в Центральной Англии. Вместе с трендом модель описывает 97 % изменчивости долговременных природных изменений температуры.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. МГЭИК, 2014: Изменение климата: Обобщающий доклад. Вклад Рабочих групп I, II и III в Пятый оценочный доклад Межправительственной группы экспертов по изменению климата; [основная группа авторов – Р. К. Пачаури и Л. А. Мейер (ред.)]. Женева: МГЭИК, 2014. 163 с.
2. Дымников В. П., Володин Е. М., Галин В. Я., Глазунов А. В., Грицун А. С., Дианский Н. А., Лыкозов В. Н. Чувствительность климатической системы к малым внешним воздействиям // Метеорология и гидрология. 2004. № 4. С. 77–91.
3. Ньютон И. Сборник статей. М.-Л.: Изд-во АН СССР, 1943. Исаак Ньютон «Математические Начала Натуральной Философии» / перевод с латинского и комментарии А. Н. Крылова, М: Наука, 1989. 687 с.
4. Parker D. E., Legg T. P. and Folland C. K. A new daily Central England Temperature Series, 1772–1991 // Int. J. Clim., 1992. Vol. 12. P. 317–342 <https://www.metoffice.gov.uk/hadobs/hadcet/cetml1659on.dat>.
5. Монин А. С., Сонечкин Д. М. Колебания климата по данным наблюдений: тройной солнечный цикл / Отв. ред. О. Г. Сорохтин; Институт океанологии им. П. П. Ширшова РАН. М.: Наука, 2005. 191 с.
6. Федоров В. М. Периодические возмущения и малые вариации солнечного климата Земли // Доклады Академии наук. М.: Наука. Том 457, № 2. С. 222–225.
7. Федоров В. М. Контрастность годовых инсоляционных температур и тенденции многолетних изменений приповерхностной температуры воздуха // Труды Карадагской научной станции им. Т. И. Вяземского – Природного заповедника РАН. 2020, № 1 (13). С. 64–76.
8. Шерстюков Б. Г. Асинхронные дальние связи температуры воздуха в Центральном регионе России с температурой поверхности Мирового океана // Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2019. Вып. 184. С. 67–79.
9. Шерстюков Б. Г. О возможном резонансном механизме колебаний климата // Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2018. Вып. 181. С. 52–70.

УДК 504.423

О СВЯЗИ ВАРИАЦИЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ПОВЕРХНОСТИ ОКЕАНА С ЦИКЛИЧЕСКИМИ ИЗМЕНЕНИЯМИ ПРИТОКА СОЛНЕЧНОЙ РАДИАЦИИ

Б. Г. Шерстюков^{1*}, В. М. Федоров², А. Б. Шерстюков¹

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

² Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова

Введение

Солнечная радиация является основным источником энергии для всех процессов в климатической системе, определяющих погоду и климат. Количество солнечной радиации, поступающей на верхнюю границу атмосферы, определяется светимостью Солнца и астрономическими параметрами Земли. Ставилась задача исследования возможных изменений температуры поверхности океана (ТПО) при существующих вариациях инсоляции Земли, связанных с небесно-механическими процессами и циклическими изменениями наклона оси вращения Земли. Светимость Солнца принималась постоянной. Рассматривались проявления изменений солярного климата Земли в многолетних изменениях температуры поверхности Мирового океана.

Исходные данные и методы анализа

В работе использовались среднегодовые значения температуры поверхности Мирового океана (ТПО) в узлах географической сетки через два градуса по широте и долготе за 1950–2019 гг., вычисленные по месячным значениям из массива ERSST v5 [1]. Исходный массив данных ERSST v5 содержит глобальные месячные данные о температуре поверхности Мирового океана в узлах географической сетки $2^\circ \times 2^\circ$. Источником для него послужил Международный глобальный набор данных об океане и атмосфере ICOADS [2]. В новейшей версии ERSST, версия 5,

используются новые наборы данных из SST ICOADS Release 3.0 [3], данные буйковых изменений температуры в верхнем 5-метровом слое океана (проект Argo) [4] и сведения о концентрации льда по данным Hadley Center Ice-SST версии 2 [5]. По сравнению с предыдущими версиями, в массиве ERSST v5 улучшена пространственная и временная изменчивость ТПО за счёт привлечения новых данных, уменьшения пространственной фильтрации при обучении функций восстановления эмпирических ортогональных функций и добавления дополнительных ортогональных функций в Арктике. Улучшена коррекция температуры, полученной разными способами (на буюх и судах). Авторы массива предупреждают, что из-за редких данных в первые годы значения ТПО в эти годы менее надёжны. После 1880 г. данные стали лучше, надёжными данные стали после 1940-х годов. Массив данных ERSST больше подходит для исследования крупномасштабных долгопериодных изменений ТПО, так как мелкомасштабные и короткопериодные вариации в массиве сглажены [1, 2]. Для большей надёжности результатов в наших исследованиях использовались данные ТПО, начиная с 1950 по 2019 год.

Выполнены расчёты инсоляции по данным высокоточных астрономических эфемерид [6] для всей поверхности Земли (без учёта атмосферы). Исходными астрономическими данными для расчётов инсоляции были склонение и эклиптическая долгота Солнца, расстояние от Земли до Солнца, разность хода равномерно текущего (координатного времени) и всемирного корректируемого времени. Поверхность Земли аппроксимировалась эллипсоидом [7] с длинами полуосей, равными 6 378 137 м (большие) и 6 356 752 м (малая). В общем виде алгоритм расчётов можно представить выражением:

$$I_{nm}(\varphi_1, \varphi_2) = \int_{t_1}^{t_2} \left(\int_{\varphi_1}^{\varphi_2} \sigma(H, \varphi) \left(\int_{-\pi}^{\pi} \Lambda(H, t, \varphi, \alpha) d\alpha \right) d\varphi \right) dt,$$

где I – приходящая солнечная радиация за элементарный n -й фрагмент m -го тропического года (Дж); σ – площадной множитель (м^2), с помощью которого вычисляется площадной дифференциал

$\sigma(H, \varphi) d\alpha d\varphi$ – площадь бесконечно малой трапеции – ячейки эллипсоида; α – часовой угол, φ – географическая широта, выраженные в радианах; H – высота поверхности эллипсоида относительно поверхности Земли (м); $\Lambda(H, t, \varphi, \alpha)$ – инсоляция в заданный момент в заданном месте поверхности эллипсоида (Вт/м^2), t – время (с). Шаги при интегрировании составляли: по долготе 1° , по широте 1° , по времени $1/360$ часть продолжительности тропического года [8]. Значение солнечной постоянной (среднее многолетнее значение) принималось равным 1361 Вт/м^2 [9]. Изменение активности Солнца не учитывалось. Первоначально инсоляция рассчитывалась в Дж, затем делением на рассчитанные продолжительности тропических лет и далее на площадь Земли находились значения инсоляции в Вт/м^2 [10–12].

В работе использовались вычисленные среднегодовые суммарные по всей Земле значения инсоляции за 1800–2050 гг.

Привлекался ряд месячных данных индекса Nino4 за 1950–2019 г. [13]. По этим данным был вычислен ряд среднегодовых значений Nino4.

Временные ряды значений ТПО, индекса Nino4 и данных об инсоляции были сглажены методом скользящих средних по пятилетиям с целью выделения и дальнейшего анализа долгопериодных вариаций. Предполагалось, что изменение суммарной для всей Земли инсоляции может сопровождаться перестройкой крупномасштабной океанической циркуляции, обладающей большой инерционностью. А короткопериодные вариации ТПО на поверхности океана могут вызываться другими термодинамическими процессами независимо от вариаций глобальной инсоляции. От таких поверхностных короткопериодных вариаций ТПО необходимо было избавиться. Многолетние тренды также были удалены из рассматриваемых рядов с целью поиска связей между вариациями рассматриваемых характеристик.

Применялся метод асинхронного корреляционного анализа.

Анализ и результаты

Многолетний ход инсоляции после проведения скользящего сглаживания по пятилетиям показан на рис. 1.

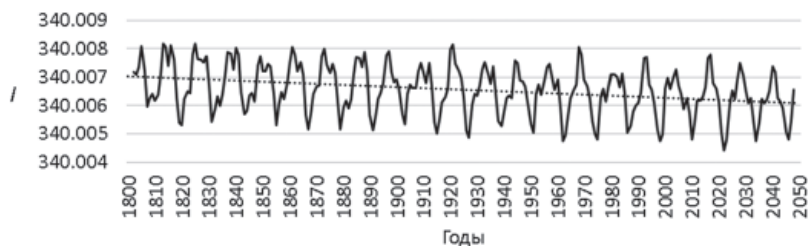


Рис. 1. Суммарная среднегодовая инсоляция Земли (I),
сглаженная по скользящим пятилетиям

Рис. 1 демонстрирует чёткие циклы инсоляции со средней длительностью 11,7 лет и слабый многолетний тренд уменьшения инсоляции.

Ставилась задача поиска регионов в Мировом океане с наиболее заметным влиянием межгодовых вариаций инсоляции. Многолетние линейные тренды инсоляции и ТПО были исключены на первом этапе, в дальнейшей работе использовались отклонения от тренда инсоляции и отклонения от тренда ТПО.

Далее вычислялись асинхронные коэффициенты корреляции между значениями инсоляции всей Земли и ТПО (без трендов) в узлах географической сетки. Определялись значения запаздывания (количество лет) отклика вариаций ТПО на вариации инсоляции. Запаздывания в каждом узле определялись по максимальным асинхронным коэффициентам корреляции, полученным в расчётах при разных сдвигах. О многолетней инерционности процессов в океане хорошо известно. По некоторым оценкам запаздывание изменений температуры в океане на внешнее воздействие может достигать 30–40 лет [14–16]. Однако время запаздывания при разных внешних воздействиях может сильно отличаться. Оно зависит от глубин океана, от массы воды, которая участвует в анализируемых процессах и явлениях, а также от региона.

Асинхронные коэффициенты корреляции вычислялись при сдвигах (запаздывание вариаций ТПО) от 0 до 40 лет. Ряды ТПО использовались за 1950–2019 гг., а ряд инсоляции привлекался

за 1800 – 2050 гг. При сдвигах не уменьшалось количество парных членов рядов, по которым выполнялись вычисления, так как ряд инсоляции начинался заведомо много раньше 1950 г. (с 1800 г.).

Подсчитывалось количество полученных по всем узлам сетки при разных сдвигах значимых наилучших асинхронных коэффициентов корреляции отдельно положительных ($R > +0,45$) и отрицательных ($R < -0,45$). Оказалось, что количество узлов с тесной отрицательной асинхронной корреляцией примерно в 100 раз больше количества узлов с положительной корреляцией и встречаются значения $R < -0,45$ чаще всего при сдвигах 6 и 18 лет (рис. 2).

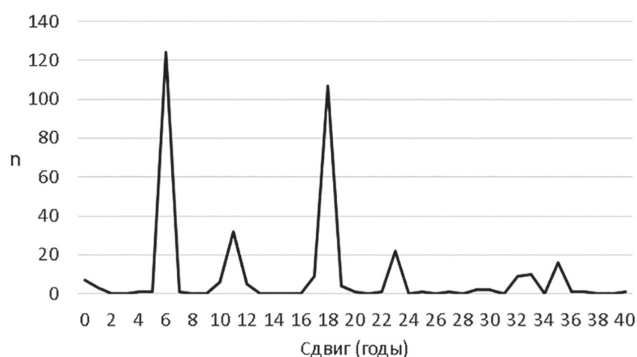


Рис. 2. Количество узлов (n) географической сетки Мирового океана со значениями асинхронных коэффициентов корреляции $R < -0,45$ между ТПО и инсоляцией при разных сдвигах

Это означает, что запаздывание реакции ТПО на изменения инсоляции составляет преимущественно 6 лет, а сдвиг 18 лет является статистическим эффектом от наличия 11,7-летней цикличности в инсоляции. Осталось узнать локализацию наилучшего отклика вариаций ТПО на вариации инсоляции. Для этого была построена карта асинхронных коэффициентов корреляции между инсоляцией и ТПО при запаздывании вариаций ТПО на 6 лет (рис. 3).

На карте (рис. 3) видно, что вариации инсоляции сопровождаются (с запаздыванием на 6 лет) вариациями температуры противоположного знака в области Северного пассатного течения и на Межпассатном экваториальном противотечении Тихого

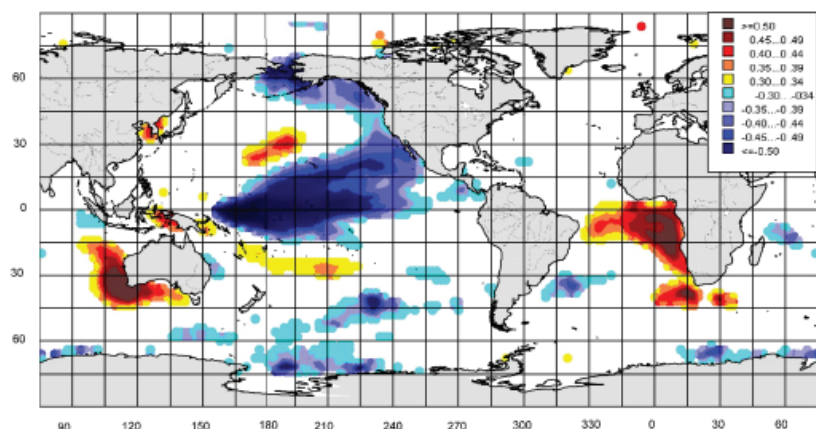


Рис. 3. Коэффициенты корреляции между вариациями суммарной инсоляции Земли и ТПО с запаздыванием вариаций ТПО на 6 лет

океана, а также в северо-восточной части Тихого океана у берегов Аляски. Район экваториального противотечения известен как место появления Эль-Ниньо и Ла-Нинья. В западной части океана выделяют район Nino4: 5° с.ш. $\div$ 5° ю.ш., $160 \div 210^{\circ}$ в.д. [17, 18]. Явление Эль-Ниньо с аномалиями ТПО в западной и центральной частей Тихого океана, в отличие от канонического Эль-Ниньо, развивающегося на востоке [19], получило название Эль-Ниньо Модоки [20]. Слово «модоки» означает, что это не совсем похожее на классическое явление Эль-Ниньо. На Межпассатном экваториальном противотечении в узле 2° ю.ш., 164° в.д. коэффициент корреляции оказался $R = -0,74$ при запаздывании изменений ТПО на 6 лет. Корреляция значима на 95 % уровне.

В Атлантическом океане в районе Южного пассатного течения (вблизи Африки) и в районе Межпассатного противотечения в Атлантике наблюдается область положительной корреляции ТПО с инсоляцией при запаздывании вариаций ТПО на 6 лет. В узле 14° ю.ш., 8° в.д. коэффициент корреляции $R = +0,65$. В Индийском океане в районе Западно-Австралийского течения (западнее Австралии) корреляция тоже положительная. В узле 36° ю.ш., 114° в.д. коэффициент корреляции оказался $R = +0,63$. Корреляция значима на 95 % уровне.

На рис. 4 показано изменение сглаженных по 5-летиям значений инсоляции (dl) и индекса Nino4 ($dNino4$). Вариации Nino4 запаздывают, поэтому на рисунке кривая инсоляции сдвинута на 6 лет. Годы на горизонтальной оси соответствуют значениям вариаций Nino4. Значение инсоляции 1944 г. на графике отнесены к 1950 г. и т. д. Коэффициент асинхронной корреляции между инсоляцией и индексом Nino4 составил $R = -0,64$. Оценка по уравнению регрессии показала, что вклад вариаций инсоляции в вариации среднегодового сглаженного индекса Nino4 составил 41 % от его изменчивости.

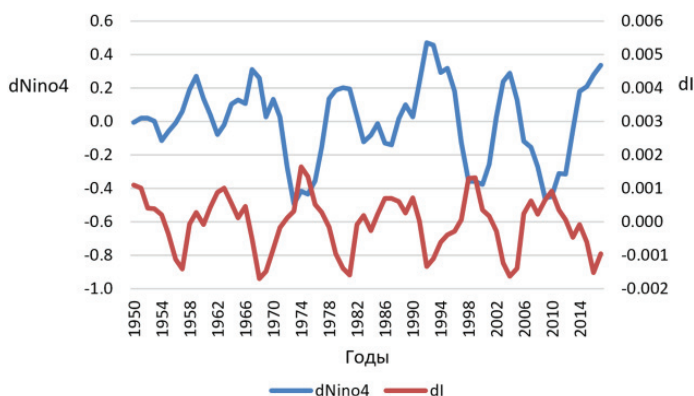


Рис. 4. Изменение отклонений от трендов инсоляции (dl) и индекса Nino4 ($dNino4$), сглаженных по 5-летиям. График инсоляции сдвинут на 6 лет

Другой расчёт коэффициента корреляции между вариациями среднегодовых значений инсоляции и индекса Nino4 без предварительного сглаживания этих рядов при том же запаздывании Nino4 на 6 лет дал коэффициент $R = -0,25$. Это подтверждает исходное предположение о том, что в формировании Эль-Ниньо и Ла-Нинья участвуют не только вариации инсоляции, но и другие факторы.

Заключение

Выполненные исследования показали, что вариации инсоляции, вызванные циклическими изменениями наклона оси

вращения Земли, сопровождаются с запаздыванием на 6 лет изменениями температуры поверхности Тихого океана в области Северного пассатного течения и на Межпассатном экваториальном противотечении, а также в Атлантическом океане в районе Южного пассатного течения и Межпассатного противотечения и в Индийском океане в районе Западно-Австралийского течения.

Наиболее масштабное проявление такой связи проявилось в Тихом океане на указанных течениях. Как известно, в этом районе квазициклически возникают явления Эль-Ниньо и Ла-Нинья. Сравнение вариаций индекса Nino4 с вариациями инсоляции подтвердило наличие связи между ними. При этом достоверная статистическая связь обнаружена только на долгопериодных вариациях (периоды вариаций более 5 лет), а с учётом короткопериодных вариаций связь между вариациями глобальной среднегодовой инсоляции и вариациями в среднегодовых данных Nino4 практически теряется.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Huang B., Angel W., Boyer T., Cheng L., Chepurin G., Freeman E., Liu C., Zhang H. Evaluating SST analyses with independent ocean profile observations // J. Climate. 2018. Vol. 31. P. 5015–5030. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-17-0824.1>.
2. Extended Reconstructed Sea Surface Temperature (ERSST) v5 <https://www.ncdc.noaa.gov/data-access/marineocean-data/extended-reconstructed-sea-surface-temperature-ersst-v5> (дата посещения 01.04.2020).
3. Freeman Eric, Scott D. Woodruff, Steven J. Worley, Sandra J. Lubker, Elizabeth C. Kent, William E. Angel, David I. Berry, Philip Brohan, Ryan Eastman, Lydia Gates, Wolfgang Gloeden, Zaihua Ji, Jay Lawrimore, Nick A. Rayner, Gudrun Rosenhagen, Shawn R. Smith. ICOADS Release 3.0: a major update to the historical marine climate record // International J. Climatology. 2017. Vol. 37, Is. 537. P. 2211–2232. <https://doi.org/10.1002/joc.4775> (дата посещения 01.04.2020).
4. Huang B., Liu C., Ren G., Zhang H.-M., Zhang L. The role of buoy and Argo observations in two SST analyses in the global and tropical Pacific oceans // J. Climate. 2018. Vol. 32. P. 2517–2535, doi:10.1175/JCLI-D-18-0368.1.
5. Hadley Centre Sea Ice and Sea Surface Temperature data set (HadISST.2). <https://www.metoffice.gov.uk/hadobs/hadisst2/> (дата посещения 01.04.2020).
6. Giorgini J. D., Yeomans D. K., Chamberlin A. B., Chodas P. W., Jacobson R. A., Keesey M. S., Lieske J. H., Ostro S. J., Standish E. M., Wimberly R. N. JPL's On-Line Solar System Data Service // Bull. Amer. Astronomical Society. 1996. Vol. 28(3). P. 1158.

7. *Moritz H.* Geodetic Reference System 1980 // *J. Geodesy*. 2000. Vol. 74. P. 128–133. <https://doi.org/10.1007/s001900050278>.
8. *Федоров В. М.* Межгодовые вариации продолжительности тропического года // Доклады РАН. 2013. Т. 451, № 1. С. 95–97. DOI: 10.7868/S086956521319016X.
9. *Kopp G., Lean J.* A new lower value of total solar irradiance: Evidence and climate significance // *Geophys. Res. Let.* 2011 Vol. 37. L01706. DOI: 10.1029/2010GL045777.
10. *Федоров В. М., Костин А. А.* Вычисление инсоляции Земли для периода от 3000 г. до н.э. до 2999 г. н.э. // Процессы в геосредах. 2019. № 2. С. 254–262.
11. *Федоров В. М.* Вариации инсоляции Земли и особенности их учёта в физико-математических моделях климата // *Успехи физических наук*. 2019. Т. 189, № 1. С. 33–46.
12. *Федоров В. М., Фролов Д. М.* Пространственная и временная изменчивость приходящей на верхнюю границу атмосферы солнечной радиации // *Космические исследования*. 2019. Т. 57, № 3. С. 177–184.
13. *Datasets Useful for Research. Time Series. Niño 4 SST Index.* <https://psl.noaa.gov/enso/data.html> (дата посещения 01.04.2020).
14. *Бялко А. В.* Релаксационная теория климата // *Успехи физических наук*. 2012. Т. 182, № 1. С. 111–116.
15. *Smith T. M., Reynolds R. W., Peterson T. C., Lawrimore J.* Improvements NOAA's Historical Merged Land – Ocean Temp Analysis (1880–2006) // *J. Climate*. 2008. Vol. 21. P. 2283–2296.
16. *Swingedouw D., Terray L., Cassou C., Voldoire A., Salas-Melia D., Servonnay J.* Natural forcing of climate during the last millennium: Fingerprint of solar variability. Low frequency solar forcing and NAO // *Climate Dynamics*. 2011. Issues – Springer. Vol. 36. P. 1349–1364.
17. *Гущина Д. Ю.* Концепция явления Эль-Ниньо – Южное колебание как аномалии планетарного масштаба. Географические школы Московского университета / под ред. Н. С. Касимова. М.: Городец. 2008. С. 591–601.
18. *Матвеева Т. А., Гущина Д. Ю., Наризная А. И.* Модификация двух типов Эль-Ниньо и Ла-Нинья в климатах прошлого по данным расчётов моделей CCSM4 и CNRM-CM5 // *Фундаментальная и прикладная климатология*. 2018. № 2. С. 86–104.
19. *Петросянц М. А., Гущина Д. Ю.* Об определении явлений Эль-Ниньо и Ла-Нинья // *Метеорология и гидрология*. 2002. № 8. С. 24–35.
20. *Ashok K., Behera S. K., Rao S. A., Weng H., Yamagata T.* El Niño Modoki and its possible teleconnection // *J. Geophys. Res.* 2007. V. 112. C11007. DOI:10.1029/2006JC003798.

УДК 551.506.7

КАТАЛОГ АЭРОЛОГИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ ПО АРХИВАМ ЕДИНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО ФОНДА ДАННЫХ

А. В. Хохлова¹, А. А. Тимофеев², Т. В. Руденкова³

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

Введение

В разделе Единого государственного фонда данных ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД» хранятся архивы аэрологических наблюдений, поступающих из глобальной аэрологической сети. К настоящему времени на электронных носителях имеется два основных массива – АЭРОСТАБ и АЭРОСТАС [1–3]. Они различаются форматом и охватываемым периодом времени. Массив АЭРОСТАБ имеет двоичный формат и содержит данные с 1978 по 2010 гг. Массив АЭРОСТАС является символьным, охватывает период с 2011 г. по текущее время. В настоящее время разработана и готова к внедрению технология формирования массива АЭРОБАФР, формируемого из сводок в таблично-ориентированных кодах [4–7]. Массивы принадлежат к семейству глобальных аэрологических архивов, создаваемых и хранящихся в различных климатических центрах. Это массивы IGRA (Integrated Global Radiosonde Archieve) [8, 9] и CARDS (Comprehensive Aerological Reference Dataset) [10, 11].

Многолетняя глобальная аэрологическая информация необходима для решения многочисленных научных и прикладных задач, в том числе для исследования климата и его изменчивости в свободной атмосфере и в пограничном слое [12, 13]. Прикладные задачи, решаемые на основе аэрологических наблюдений, связаны с проектированием строительных объектов, с задачами рассеяния примеси, созданием эмпирических моделей атмосферы, используемых для различных летательных аппаратов, и др. Для решения как научных, так и прикладных задач, связанных

с аэроклиматологией, необходимо иметь длинные ряды качественных данных. Наличие в заданном регионе длиннорядных аэрологических станций не всегда означает, что эти данные пригодны для решения конкретных задач. Это могут быть наблюдения только на стандартных изобарических поверхностях или только радиоветровое зондирование, в рядах наблюдений могут быть длительные пропуски. Аэрологическая сеть постоянно изменяется: станции открываются, закрываются, переносятся, происходит смена индекса, смена приборного оснащения и т.д. Для того чтобы иметь представление о наличии информации и иметь возможность осуществлять быстрый поиск, все глобальные исторические массивы сопровождаются каталогами и метаданными. При этом, поскольку состав аэрологической сети не является постоянным, необходима их регулярная актуализация.

Для того чтобы иметь представление о текущем и историческом состоянии аэрологических массивов ЕГФД, в отделе аэрологии создан специализированный комплекс, называемый «Каталог аэрологических станций» (далее «Каталог»). «Каталог» представляет собой базу метаданных по станциям и приложение, объединяющее разнородные метаданные. Приложение позволяет выполнять поиск требуемых станций по координатам или индексу/названию станции и предоставляет информацию о наличии и качестве данных аэрологических массивов ЕГФД. Набор метаданных включает в себя сведения о станциях, полученные из нескольких доступных каталогов и специально рассчитанные среднемесячные характеристики, позволяющие оценить качество зондирования на станциях. Эти сведения регулярно обновляются и пополняются, а также ведётся мониторинг новых поступлений данных в аэрологические массивы.

Ниже приведено описание состава базы метаданных, программной реализации «Каталога» и приведены иллюстрации работы приложения.

Сведения о станциях

Основу создаваемой базы метаданных аэрологических станций составляют сведения, полученные из ряда доступных

каталогов. В первую очередь это каталог, созданный при разработке технологии архивации аэрологических данных в ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД». Этот каталог основан на информации ВМО и дополнительных данных. Он используется при создании архивных файлов для включения в них сведений о географическом местонахождении станции, поскольку в кодах TEMP (KH-04) передача этих данных не предусмотрена. Помимо этого каталога для создания базы метаданных используется другая доступная информация: каталоги глобальных аэрологических массивов IGRA и CARDS, информация по отдельным станциям из системы OSCAR (Observing System Capability Analysis and Review Tool, wmo-sat.info/Oscar), заменившей том А ВМО [14], а также сведения, поступающие из других источников. В аэрологических массивах время от времени попадает некоторое количество данных с неизвестными координатами и высотой станции. В этих случаях приходится осуществлять поиск по всем возможным источникам. В частности, в массиве АЭРОСТАС имеются регулярные наблюдения со станции с синоптическим индексом 17516 начиная с 2013 года. Информацию об этой станции не удалось найти ни в одном из доступных каталогов, даже в системе OSCAR (на сентябрь 2020 г.). Метаданные по этой станции получены из сводок в коде BUFR. Эта станция расположена в Никосии (Кипр). В ряде случаев имеют место разовые зондирования или зондирования с мобильных платформ, функционирующих в течение какого-то времени и затем прекращающих работу. Получить о них информацию бывает затруднительно.

Каталоги из разных источников разнородны, имеют разный формат и содержат различные сведения. Минимальная необходимая информация для описания аэрологической станции включает в себя синоптический индекс, географические координаты и высоту станции над уровнем моря. Каталоги IGRA и OSCAR включают в себя историческую информацию о смене приборов, смене координат и индекса станции, сроках начала и окончания работы.

В состав каталога станций включены максимально возможные доступные сведения. Основная необходимая информация — это индекс станции, её географические координаты, высота над

уровнем моря, данные о смене индекса или координат. При наличии другой информации включены также сведения о сроках начала и окончания работы станции и о смене приборного оснащения. Указан также источник получения сведений. Ежегодно выполняется пополнение и актуализация каталога.

Сведения о качестве зондирования на станциях

Помимо сведений о местонахождении станций зачастую необходимо иметь более детальную информацию о качестве передаваемых ими данных. Примером может служить задача определения климатических характеристик атмосферы в пограничном слое атмосферы, в том числе температурных инверсий. Для её решения необходимы длинные ряды наблюдений температуры не только на стандартных изобарических поверхностях, но и в особых точках в слое до высот 1,5–2,0 км. Как показывает опыт, такие данные имеются далеко не всегда: предварительный просмотр показывает наличие наблюдений, а при детальном анализе выясняется, что эти данные не пригодны для решения конкретных задач. Например, значительное количество африканских и южно-азиатских станций ограничивается рассылкой в сеть наблюдений только на стандартных изобарических поверхностях либо выполняет только радиовеетровое зондирование.

Следует уделить особое внимание качеству данных в таблично-ориентированных кодах. В настоящее время аэрологическая сеть переходит на передачу данных в кодах BUFR. В институте практически завершена разработка технологии архивации такой аэрологической информации [5–7] и в ближайшее время будет начато формирование архива АЭРОБАФР из сводок, поступающих по каналам связи в таблично-ориентированных кодовых формах. Аэрологическая информация, поступающая в кодах BUFR, имеет очень разнородное качество. Часть станций глобальной сети с оборудованием, позволяющим выполнять зондирование с высоким вертикальным разрешением (BBP), передаёт сводки, содержащие измерения с интервалом 1–10 с. В то же время другая часть станций передаёт в сеть сводки, транскодированные в BUFR из традиционных кодов TEMP и PILOT. Данные различных станций

могут содержать от нескольких десятков уровней до нескольких тысяч. Значительное число станций Юго-Восточной Азии просто рассылают в сеть пустые сообщения с нулевым количеством уровней. В табл. 1 и 2 в качестве примера приведены характеристики радиозондовых и радиопилотных наблюдений из сводок в коде BUFR для нескольких станций за август 2020 года.

Таблица 1

**Данные о полноте и качестве радиозондовых наблюдений
по разным станциям за август 2020 года**

Индекс станции	Кол-во наблюдений за месяц	Дата	Время запуска	Кол-во уровней	Мин. давление, гПа	Макс. высота, м	Вид сводки BUFR*)
1	2	3	4	3	4	5	6
01001	53	01	23:19	819	315,80	8865	BBP
01004	31	01	10:47	7529	7,30	34182	BBP
04320	61	01	11:07	6198	06,60	34918	BBP
02963	123	01	05:30	93	15,30	28870	BBP
17130	61	08	23:40	93	6,50	34383	BBP
17130	61	09	12:00	1	905,00	892	TEMP
17130	61	10	00:00	1	907,00	892	TEMP
23955	61	04	11:30	15	938,30	710	BBP
23955	61	06	23:30	4	1005,70	100	BBP
23955	61	11	23:30	19	923,40	670	BBP
68816	58	01	11:00	14	100,00	16540	TEMP
96011	26	30	00:00	84	15,80	26430	TEMP

*) *Примечание.* BBP – сводка, содержащая данные высокого вертикального разрешения. TEMP, PILOT – транскодированная сводка из традиционных кодов TEMP и PILOT.

Таблица 2

**Данные о полноте и качестве радиопилотных наблюдений
по разным станциям за август 2020 года**

Индекс станции	Кол-во наблюдений за месяц	Дата	Время запуска	Кол-во уровней всего	Кол-во уровней по давлению	Мин. давление, гПа	Кол-во уровней по высоте	Макс. высота, м	Вид сводки BUFR*)
1	2	3	4	5	6	7	8	10	11
15420	61	01	11:04	141	69	20,00	72	26914	BBP
17600	103	05	11:01	4	-	-	4	524	PILOT

Окончание табл. 2

Индекс станции	Кол-во наблюдений за месяц	Дата	Время запуска	Кол-во уровней всего	Кол-во уровней по давлению	Мин. давление, гПа	Кол-во уровней по высоте	Макс. высота, м	Вид сводки BUFR ^{*)}
1	2	3	4	5	6	7	8	10	11
17600	103	11	16:28	21	-	-	21	3115	PILOT
40179	90	01	06:00	1	-	-	1	35	PILOT
40179	90	02	06:00	2	-	-	2	900	BVP
68816	58	01	11:00	24	12	100,00	12	8700	PILOT
68816	58	23	11:00	14	2	202,00	12	8700	PILOT
96011	52	30	06:00	06	-	-	06	1200	PILOT
96011	52	31	00:00	41	13	20,00	28	24900	PILOT
96015	51	01	06:00	12	2	700,00	10	3300	PILOT
96015	51	02	06:00	08	1	850,00	7	1500	PILOT

^{*)} *Примечание.* BVP – сводка, содержащая данные высокого вертикального разрешения. TEMP, PILOT – транскодированная сводка из традиционных кодов TEMP и PILOT.

Из таблиц видно, насколько существенны различия в качестве зондирований на разных станциях.

Всё это делает актуальной задачу мониторинга поступлений в аэрологические массивы и сопровождения аэрологических массивов информацией не только о наличии наблюдений по отдельным станциям, но и об их качестве. Для решения этой задачи за каждый месяц для каждой станции, имеющейся в массивах АЭРОСТАБ и АЭРОСТАС, рассчитаны характеристики, которые дают представление о качестве зондирования на станции. В их состав входят количество зондирований (отдельно для радиозондирования и радиовеетрового зондирования), среднемесячное количество уровней в профилях, среднемесячное минимальное давление в профилях и среднемесячная максимальная высота подъёма зонда. Пока не началась архивация сводок в кодах BUFR, опытные файлы массива АЭРОБАФР анализируются с помощью специально созданных программных средств. После введения в эксплуатацию технологии архивации аэрологических сводок в

таблично-ориентированных кодах BUFR «Каталог» планируется дополнить соответствующими сведениями по массиву АЭРОБАФР.

Таким образом, общий набор метаданных по аэрологическим массивам состоит из двух наборов файлов:

- каталоги станций, где отражены синоптический индекс и название станции, её географические координаты, высота над уровнем моря и другая информация при её наличии: сроки начала и закрытия станции, смена индекса, смена приборного оснащения, перенос станции, источник, из которого берётся информация;
- данные о качестве зондирования: количество зондирований, отдельно радиозондирований и радиоветровых зондирований за месяц, средняя за месяц максимальная высота подъёма зондов, среднее за месяц минимальное давление в профилях зондирования, среднее за месяц количество уровней в профилях для каждой станции за каждый месяц всего периода наблюдений, имеющегося в массиве.

Программная реализация приложения «Каталог»

Для того чтобы иметь возможность наглядно представлять сведения о станциях, наличии и качестве аэрологических данных, создано приложение «Каталог аэрологических станций». Для этого была разработана общая схема построения базы данных, объединяющая достаточно разнородную информацию из разных источников. Схема реализована в виде реляционной базы данных, в качестве СУБД которой используется MariaDB (mariadb.org). Интерфейс решения реализован в виде динамической html-страницы, доступной с использованием локальной реализации «LAMP» (Linux, Apache, MySQL (MariaDB), php). Таким образом, реализована возможность работы на персональных компьютерах, без доступа в Интернет. В основе клиентской части лежат решения с открытым исходным кодом, такие как AngularJS (angularjs.org) и Bootstrap (getbootstrap.com). Серверная часть технологии реализована на языках php и python. В качестве HTTP сервера используется Apache HTTP Server (httpd.apache.org).

Приложение позволяет:

- дополнять и редактировать метаданные;

- осуществлять поиск по индексу, названию или части названия и координатам станций;
- выводить дополнительную информацию при её наличии (сведения о начале и окончании функционирования, смене индекса и координат);
- выводить количество зондирований, среднюю максимальную высоту, среднее количество уровней в зондированиях, среднее минимальное давление в профилях.

В выборке указывается также источник информации, т.е., каталог, из которого были получены сведения. Реализованы различные виды сортировок результатов, а также возможность экспорта выборки в формат CSV.

Ниже приведены скриншоты экранов, иллюстрирующие работу приложения «Каталог аэрологических станций». После перехода с главной страницы к «Каталогу» пользователь получает возможность осуществить поиск требуемой станции (или станций) по заданному диапазону географических координат (рис. 1). В результате поиска по диапазону географических координат выводится список всех удовлетворяющих заданным условиям станций и общие метаданные, которые имеются в базе. Переход на ссылку в предпоследнем столбце таблицы ведёт к расширенным сведениям о станции (пункт «Подробнее»). Поиск станций можно также выполнять по заданному синоптическому индексу или по названию станции. На рис. 2 показан результат поиска станции по запрошенному названию станции.

При выборе пункта «Наличие во ВНИИГМИ-МЦД» выдаётся график с количеством зондирований по годам и таблица с количеством зондирований и их средними характеристиками. На рис. 3 и 4 показаны характеристики зондирований для станций Осло (индекс 01384, Норвегия) и Вадзима (индекс 47600, Япония). Количество радиозондирований обозначено зелёным цветом, радиовеетровых зондирований – синим. Количество зондирований и средние характеристики зондирований по годам приводятся также в таблице под графиком. Из рис. 3 ясно, что после 2001 г. данных по станции Осло в архивах нет. Согласно дополнительной информации из каталога массива IGRA, станция

прекратила функционирование. На станции 47600 (рис. 4) в течение 1998–2004 гг. параллельно с радиозондированием выполнялось радиоветровое зондирование.

Поиск

по названию станции

Введите индекс, или название станции, или их часть (мин. 3 символа)

Пожалуйста, используйте только буквы латинского алфавита

по заданным координатам

Широта от до Долгота от до

Результаты поиска:

Индекс	Название Станции	Широта	Долгота	высота над уровнем моря [м]	История	наличие во ВНИИГМИ-МЦД
1492	□ OSLO-BLINDERN	59.95	10.7167	97	Подробнее	Количество зондирований
2084	□ GÖTEBURG/TORSLANDA	57.7167	11.7833	5	Подробнее	---
2515	□ TORPABRON	58.183	12.15	20	Подробнее	---
2527	□ GÖTEBORG/LANDVETTER	57.65	12.2833	164	Подробнее	Количество зондирований
6180	□ KÖBENHAVN/KASTRUP	55.6333	12.6667	5	Подробнее	---
6181	COPENHAGEN/JÆGERS	55.77	12.53	40	Подробнее	Количество зондирований

Рис. 1. Поиск станций по географическим координатам и результат поиска

Поиск

по названию станции

Введите индекс, или название станции, или их часть (мин. 3 символа)

Пожалуйста, используйте только буквы латинского алфавита

по заданным координатам

Широта от до Долгота от до

Результаты поиска:

Индекс	Название Станции	Широта	Долгота	высота над уровнем моря [м]	История	наличие во ВНИИГМИ-МЦД
1384	□ OSLO/GARDERMOEN	60.2	11.083	201	Подробнее	Количество зондирований
1492	□ OSLO-BLINDERN	59.95	10.7167	97	Подробнее	Количество зондирований

Рис. 2. Поиск по названию станции и результат поиска

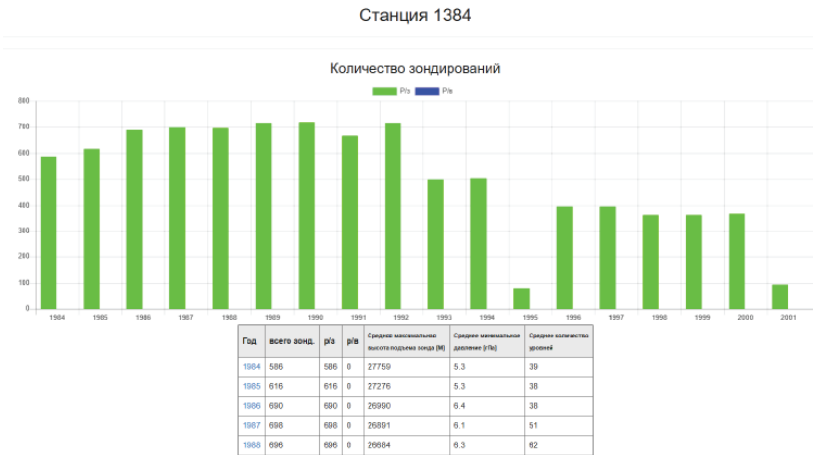


Рис. 3. Количество зондирований по годам за весь период, станция 01384 (Осло)

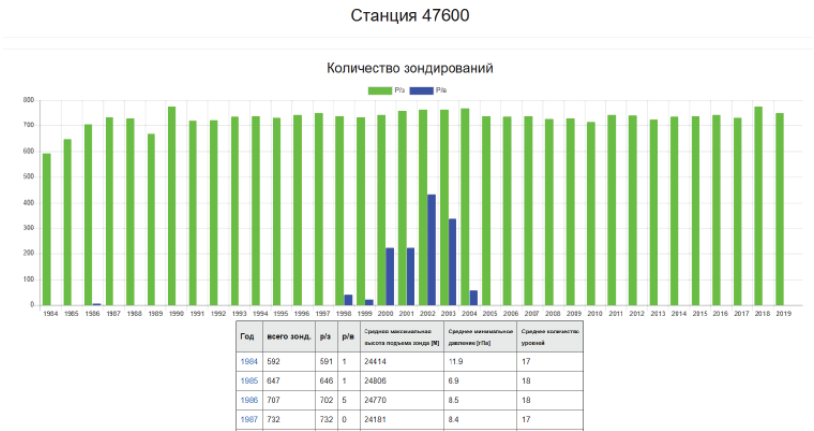


Рис. 4. Количество зондирований по годам за весь период, станция 47600 (Вадзима)

Количество зондирований по месяцам отдельного года можно увидеть при выборе этого года в левом столбце таблицы. Информация выводится также в табличном и графическом виде.

Средние характеристики зондирований позволяют судить о вертикальном разрешении данных и пригодности их для решения отдельных задач. Так, среднее количество уровней, не превышающее значений 15–17, говорит о том, что в данных присутствуют в основном наблюдения на стандартных изобарических поверхностях, что делает их малопригодными для определения характеристик пограничного слоя. Пример многолетнего временного хода годового количества зондирований и среднегодовой максимальной высоты подъёма зонда приведён на рис. 5 (это данные станции 08221 (Мадрид, Испания)). Как видно, со временем среднее количество уровней в зондированиях существенно увеличилось и превысило 100, средняя максимальная высота подъёма увеличилась до 28 км. В 2019 г. произошло уменьшение количества уровней и средней максимальной высоты подъёма.

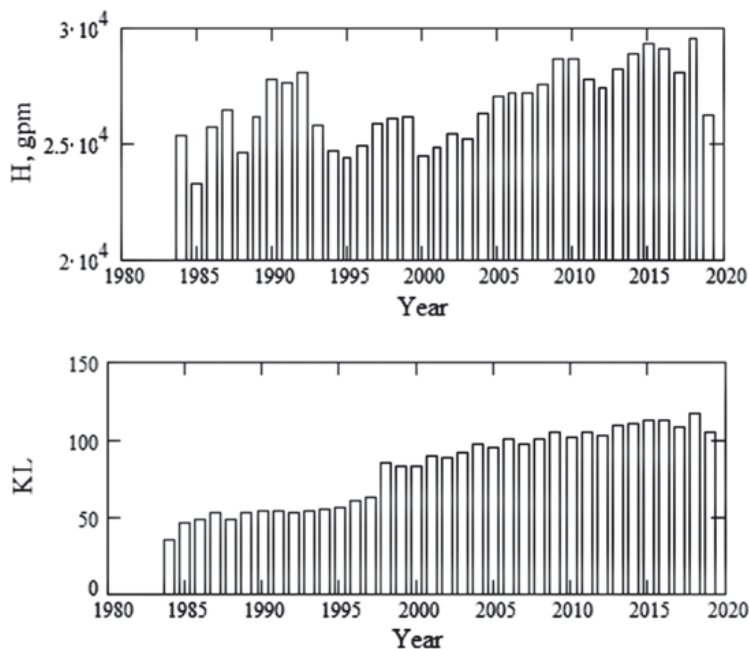


Рис. 5. Изменение качества данных: временной ход средних за год значений максимальной высоты подъёма H и количества уровней KL в зондированиях. Станция 08221 (Мадрид)

Заключение

Созданный комплекс «Каталог аэрологических станций» включает в себя разнородные сведения об аэрологических станциях, собранные из различных источников и дополненные информацией о качестве зондирования по станциям, имеющимся в массивах ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД». Специально разработанное приложение «Каталог аэрологических станций» объединяет разнородную информацию, даёт представление о составе массивов и позволяет находить требуемые данные, получая при этом оценку их качества. После введения в эксплуатацию технологии архивации аэрологических данных, поступающих из сети ГСТ в таблично-ориентированных кодах, планируется дополнить комплекс аналогичной информацией по новому массиву АЭРОБАФР.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Казначеева В.Д., Руденкова Т.В.* Организация текущих аэрологических данных на магнитных лентах ЕС // Труды ВНИИГМИ-МЦД. 1985. Вып. 115. С. 91–108.
2. *Руденкова Т.В.* Формат архивации текущих аэрологических данных, поступающих по каналам связи для ПЭВМ // Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2010. Вып. 174. С. 41–63.
3. *Алдухов О.А., Черных И.В.* Методы анализа и интерпретации данных радиозондирования атмосферы. Том. 1. Контроль качества и обработка данных. Обнинск: ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД». 2013. 306 с.
4. *Беспрозванных А.В., Сенова Л.Н., Ульянич Н.Л., Шерстюкова Р.А.* Система управления гидрометеорологической информацией и получения климатической продукции CliWare 2.1 – область применения // Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2018. Вып. 183. С. 164–181.
5. *Руденкова Т.В.* Структура и содержание нового массива текущих аэрологических данных, поступающих из сети ГСТ в кодовых формах BUFR // Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2018. Вып. 181. С. 102–119.
6. *Сенова Л.Н.* Обработка системой OMEGA данных, поступающих по каналам связи в коде BUFR // Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2019. Вып. 185. С. 136–145.
7. *Руденкова Т.В., Тимофеев А.А.* О проблемах архивации аэрологических данных, поступающих из сети ГСТ в кодах BUFR по глобальной сети станций // Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2019. Вып. 185. С. 136–145.

8. Durre I., Vose R. S., Wuertz D. B. Overview of the Integrated Global Radiosonde Archive // J. Climate. 2006. Vol. 19, N 1. P. 53–68.
9. Durre I., Yin X. Enhanced Radiosonde Data For Studies of Vertical Structure // Bull. Amer. Met. Soc. 2008. Vol. 89, N 9. P. 1257–1262.
10. Eskridge R. E., Alduchov O. A., Chernykh I. V., Panmao Z., Polansky A. C., Doty S. R. A Comprehensive Aerological Reference Data Set (CARDS): Rough and Systematic Errors // Bull. Amer. Meteor. Soc. 1995. Vol. 76, N 10. P. 1759–1775.
11. Wallis Trevor W. R. A Subset of Core Stations from the Comprehensive Aerological Reference Dataset (CARDS) // J. Climate. 1998. Vol. 11, N 2. P. 272–282.
12. Алдухов О. А., Черных И. В. Методы анализа и интерпретации данных радиозондирования атмосферы. Том. 3. Влажность и температура в атмосфере: статистические характеристики. Обнинск: ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД». 2015. 494 с.
13. Козлова Л. Ф., Лавров А. С., Руденкова Т. В., Тимофеев А. А., Хохлова А. В. Демонстрационный пакет справочных аэроклиматических характеристик на сайте ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД» // Труды ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД». 2018. Вып. 183. С. 59–73.
14. *Observing Stations* and WMO Catalogue of Radiosondes // WMO N 9. Vol. A. <https://www.wmo.int/pages/prog/www/ois/volume-a/vola-hist-home.htm>.

УДК 551.509.331

СЕЗОННЫЕ ПРОГНОЗЫ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА НА ТЕРРИТОРИИ РОССИИ ПО МЕТОДУ ЭКСТРАПОЛЯЦИИ РИТМОВ С ЗАБЛАГОВРЕМЕННОСТЬЮ ДЕВЯТЬ – ОДИННАДЦАТЬ МЕСЯЦЕВ

Б. Г. Шерстюков

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

Введение

С целью повышения качества обслуживания потребителей наукоёмкой климатической информацией в лаборатории исследования последствий изменения климата ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД» (<http://meteo.ru/structure/lipic>) выполняются исследования в области долгосрочного прогнозирования метеорологических характеристик. Заблаговременная прогностическая информация позволяет принять превентивные меры и ослабить негативные последствия от аномальных сезонных условий погоды. Успешное ведение хозяйственной деятельности в погодозависимых отраслях экономики в значительной мере определяется сезонными особенностями погодно-климатических условий каждого года. Годовой цикл смены сезонов диктует необходимость планирования взаимосвязанных сезонных работ на весь предстоящий год, в связи с этим наиболее востребованными являются прогнозы погодно-климатических условий с годовой заблаговременностью. Однако таких прогнозов не существует.

В Северо-Евразийском региональном климатическом центре Росгидромета составляются ансамблевые сезонные прогнозы на предстоящий сезон перед началом каждого сезона (с нулевой заблаговременностью) по методикам Гидрометцентра России [1] и по методике ГГО [2]. По оценкам авторов [3], средняя квадратическая ошибка оперативных прогнозов температуры воздуха на предстоящий сезон по территории России (для 70 станций) за

три испытательных года составила в среднем 1,94 °С. Эти методики не позволяют получать прогностические оценки погодноклиматических условий на более длительные сроки.

В основу упомянутых методов сезонных прогнозов погодноклиматических условий [1], как и прежде, положено представление о преемственности процессов в климатической системе от сезона к сезону. Такой подход сложился давно. Ещё в 1936 г. руководитель Бюро прогнозов СССР Абрам Исаакович Аскназий писал: «Можно ли считать, что приблизительно одинаковые условия гидро-, лито- и атмосферы в одном сезоне приведут приблизительно к одинаковым условиям следующего сезона, или же, наоборот, ..., близкие исходные состояния могут ... привести к совершенно разным синоптическим ситуациям? Если верно первое предположение, то рано или поздно проблема долгосрочного прогноза будет решена. Если верно второе, то нужно сказать открыто, что проблема долгосрочной синоптики является ... неразрешимой» [4].

Прошло более 80 лет. Сезонные прогнозы совершенствуются, но ни удовлетворительной оправдываемости, ни большей заблаговременности добиться не удаётся. До сих пор все новые методы строятся на том же предположении о преемственности атмосферных процессов от одного сезона к другому. Во всех случаях предполагается непрерывное на станции развитие синоптических процессов, которое можно экстраполировать по времени. Здесь ключевое слово «на станции».

В настоящей работе для метода экспериментальных сезонных прогнозов применён принципиально другой подход, в котором учитывается существование естественных синоптических сезонов, начало и конец каждого из которых характеризуется установлением и прекращением характерного для него режима атмосферной циркуляции и собственных закономерностей изменения температуры во времени, отличных от закономерностей предшествующего сезона. Вопреки основному классическому постулату о преемственности атмосферных процессов между сезонами в предлагаемом методе заведомо учитывается, что близкие исходные состояния атмосферы одного сезона на станции могут привести к совершенно разным синоптическим ситуациям в следующем сезоне. И второй важный

момент следует учитывать – атмосфера Земли подразделяется на воздушные массы, каждая из которых существенно отличается от других по своим метеорологическим условиям и по закономерностям изменений этих условий во времени. Особенности воздушных масс определяются районами их формирования. Смена сезонов сопровождается смещением границ воздушных масс по Земле и сменой основных закономерностей изменения метеорологических величин на каждой станции. Из-за этого на фиксированных станциях наблюдается слабая преемственность атмосферных процессов при переходе от одного сезона к другому.

Закономерности сезонных изменений атмосферной циркуляции связаны с изменениями от сезона к сезону притока солнечной радиации на разных широтах. Относительное нагревание материков летом и охлаждение зимой приводят к смене знаков контрастов температур между материками и океанами, к изменению направлений воздушных течений при смене сезонов. Наибольшие сезонные изменения атмосферной циркуляции происходят в районах муссонов, где при смене сезонов происходят изменения преобладающих направлений ветров на противоположные. В других районах сезонные изменения проявляются в различной повторяемости и интенсивности циклонов и антициклонов, в смещении их траекторий, в изменении географического положения и интенсивности высотных фронтальных зон.

1. Межгодовые связи атмосферных процессов

Несмотря на плавный годовой ход среднесуточной инсоляции, общая циркуляция атмосферы имеет свойства сохранять в течение сезона направления основных воздушных потоков и положение центров действия атмосферы, а затем резко переходить на другой режим, соответствующий следующему сезону. Об этом известном факте также можно условно сказать, что атмосферная циркуляция имеет свойства квантоваться по сезонам. Длительность времени, в которой сохраняются все основные свойства атмосферной циркуляции, можно назвать квантом циркуляции-сезона. Промежутки между такими единицами длительности – величина не постоянная. Многими авторами было установлено, что границы

естественных синоптических сезонов существенно изменяются с годами и зависят от индивидуальных особенностей каждого года. В первом естественном синоптическом районе ещё в первой половине XX века Б. П. Мультиановским [5] было выделено шесть сезонов – зима, весна, первая и вторая половина лета, осень и предзимье. Во втором синоптическом районе им были найдены другие шесть сезонов – первая и вторая половина зимы, весна, лето, осень и предзимье. Каждому естественному синоптическому сезону свойственны своя географическая локализация и интенсивность тропосферных источников и стоков тепла, свои особенности теплообмена между высокими и низкими широтами, теплообмена между океаном и континентом. Следовательно, каждому сезону присущи собственные закономерности формирования многолетних изменений температуры воздуха, которые слабо связаны с особенностями предыдущего сезона. Из этого следует, что основной постулат, который закладывался в сезонные прогнозы погоды в течение многих десятилетий, является не совсем верным.

Каждая метеорологическая станция в течение синоптического сезона находится в области одной воздушной массы, а в следующем сезоне она уже оказывается в другой воздушной массе. Циклические изменения метеорологических величин в каждой воздушной массе определяются собственными частотами колебаний, характерными для района формирования каждой воздушной массы. Вместе со сменой синоптического сезона на станции происходит резкая смена циклических закономерностей, что делает невозможным экстраполяцию изменений метеорологических величин за пределы сезона. Синоптические процессы непрерывны в пределах воздушной массы, но на каждой фиксированной станции они обрываются на границах сезонов. Циклы в метеорологических величинах на станции, сложившиеся в одном сезоне, не имеют продолжения на этой станции в следующем сезоне, но они продолжатся на этой же станции через год, когда повторится исходный сезон, и станция опять окажется в области исходной воздушной массы. Повторный приход воздушной массы на фиксированную станцию через год позволяет с годовой заблаговременностью искать прогностические закономерности изменения метеорологических величин на станции.

Подтверждением приведённых суждений и предположений являются результаты анализа автокорреляционной функции месячных аномалий температуры воздуха, полученных после вычитания многолетнего годового хода. При сдвиге на один месяц автокорреляционная функция аномалий температуры по станции Москва имеет значение около 0,2, а при сдвиге на 5 месяцев уменьшается до нуля (рис. 1).

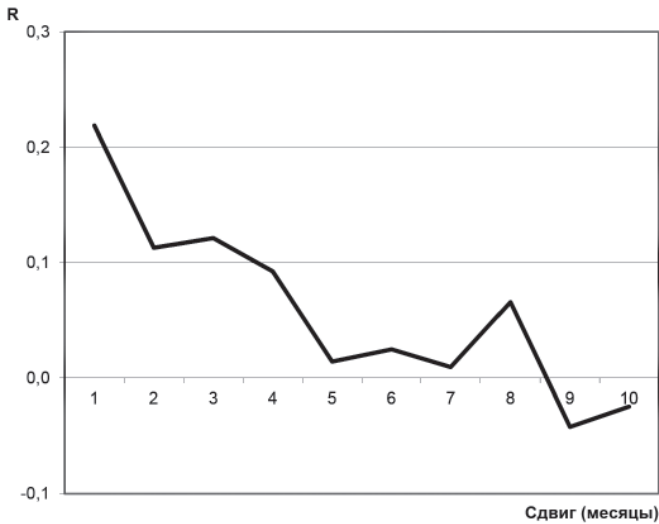


Рис. 1. Автокорреляционная функция месячных аномалий температуры в Москве с аномалиями последующих месяцев (сдвиг до 10 месяцев) за 1951–2000 гг. из [6].

Аналогичные результаты можно получить по любой метеорологической станции. Как уже отмечалось, причиной слабой преемственности атмосферных процессов между соседними месяцами и сезонами на фиксированной станции является сезонная смена на станции воздушных масс. В [7] также отмечается, что качество гидродинамических прогнозов по мере увеличения заблаговременности уменьшается и что это связано с ослаблением влияния начального состояния.

Совсем другие прогностические возможности обнаруживаются при анализе автокорреляционной функции в пределах

одной воздушной массы. Если составлять ряды многолетних значений температуры отдельно по каждому месяцу и вычислять автокорреляционную функцию отдельно по каждому месяцу, то обнаруживается, что на интервале сдвигов до 30 лет её значения несколько раз циклически возрастают до 0,3 и выше (рис. 2).

Многократное появление повышенных значений автокорреляции через несколько лет (рис. 2) является следствием неслучайных многолетних колебаний температуры внутри одной воздушной массы, а нарушение связи между смежными сезонами (рис. 1) является следствием сезонной смены воздушной массы на станции. Из всего сказанного вытекает важное прогностическое следствие – прогностические циклы для сезонных прогнозов необходимо искать по многолетним данным в межгодовых колебаниях температуры отдельно по каждому сезону или по каждому месяцу и не надеяться на преемственность связей по смежным сезонам. Прогностические связи для сезонных прогнозов с годовой заблаговременностью оказываются более тесными, чем связи с нулевой заблаговременностью. На станциях с фиксированными

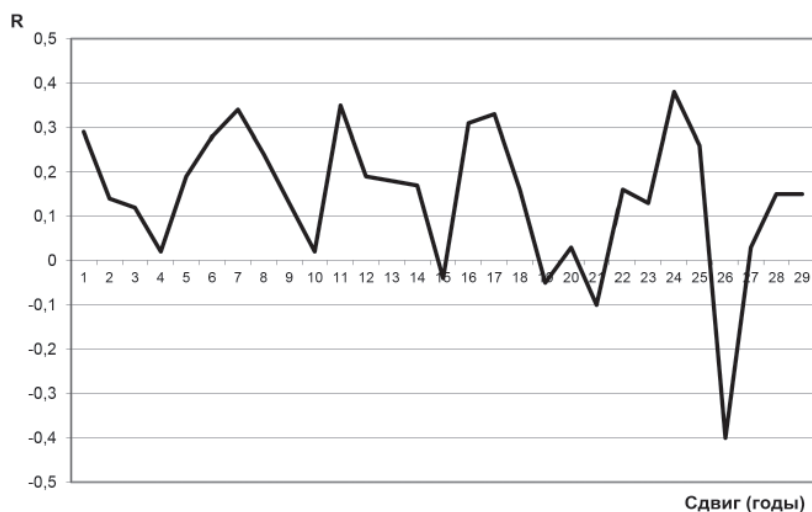


Рис. 2. Автокорреляционная функция (сдвиг до 29 лет) месячных аномалий погодичных значений мартовской температуры в Москве за 1951–2000 гг. из [6]

географическими координатами межсезонная смена воздушных масс ломает межсезонные связи.

2. Исходные данные и метод сезонного прогноза

В работе использованы ряды месячных значений температуры воздуха по 180 длиннорядным станциям России из фондов ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД», равномерно распределённым по территории страны за период с 1964 по 2019 год.

Для экспериментальных сезонных прогнозов и оценки их успешности применялся статистический метод экстраполяции ритмов, который описан в [8] на примере сезонных прогнозов температуры поверхности океана в Северной Атлантике. Ранее автором было установлено, что во временных рядах метеорологических величин можно выделить несколько многолетних интервалов, в каждом из которых кажущееся случайным появление нескольких неперiodических возмущений почти в точности повторяется в других таких же по длительности интервалах. Это даёт возможность предвидеть аналогичную последовательность неперiodических возмущений метеорологической величины в предстоящем (прогностическом) интервале. Важно правильно выделить длительность этих интервалов, но это не всегда удаётся сделать. Поэтому лучшие результаты даёт ансамблевый подход, при котором ведётся поиск нескольких таких интервалов, обладающих прогностической информативностью. По каждому из них выполняется экстраполяция ритмов температуры и затем проводится их обобщение методом множественной регрессии [8].

Предполагается, что долгопериодные ритмы в атмосфере формируются океаном. Океан обладает несравнимо большей тепловой энергией и тепловой инерционностью по сравнению с атмосферой, и поэтому во взаимодействии океана и атмосферы океан является доминирующим в формировании долгопериодных колебаний, которые являются основой для поиска закономерностей долгопериодных (многомесячных и многолетних) колебаний метеорологических величин и для построения на их основе долгосрочных метеорологических прогнозов большой заблаговременности.

Статистическая модель построена с учётом известных и гипотетических свойств колебаний в климатической системе со своими собственными частотами в каждом климатическом районе и с биениями при суперпозиции колебаний [9]. Возникающие биения колебаний в климатической системе, включая атмосферу, повторяются через несколько лет, при этом появляются интервалы лет с аналогичной последовательностью возмущений температуры [8]. Прогностическая модель основана на выделении ансамбля отрезков-аналогов ритмов во временных рядах с подобной последовательностью появления аномалий температуры и последующей их экстраполяции. Прогностические ритмы для сезонных прогнозов выделяются по многолетним данным в межгодовых колебаниях температуры по временным рядам, построенным для каждого месяца отдельно. Сначала выполняется прогноз месячных значений температуры воздуха на станции с 11-месячной заблаговременностью, а затем по месячным прогностическим значениям вычисляются среднесезонные прогностические значения температуры воздуха путём осреднения по трём месяцам каждого календарного сезона. Данные каждой метеорологической станции обрабатываются независимо от других.

3. Оценки оправдываемости сезонных прогнозов по знаку аномалий и по величине на независимых данных за 2000–2019 гг.

В настоящей работе качество авторских сезонных прогнозов температуры по территории России оценивалось по сезонам и за год по 180 станциям России по ретроспективным прогнозам за 20 лет с 2000 по 2019 год. Прогностические значения и оценки качества прогнозов вычислялись по независимым данным. Например, составление прогноза на январь 2000 г. по заданной метеорологической станции основывалось на анализе 36-летнего ряда данных наблюдений на этой станции с января 1963 г. по январь 1999 года. Прогноз на февраль 2000 г. вычислялся по данным с февраля 1963 г. по февраль 1999 г. и так далее по всем месяцам 2000 года. Аналогично прогноз на январь 2001 г. вычислялся по 36-летним данным за 1964–2000 гг. и аналогично для всех

месяцев 2001 года. Таким образом вычислялись прогностические месячные значения температуры по всем годам имеющихся к настоящему времени данных наблюдений.

Все оценки успешности прогнозов получены на основе сравнения прогностических значений с фактическими значениями по данным наблюдений. Оправдавшимися считались прогностические значения, которые попадали в некоторый заданный интервал разброса относительно фактического значения. Ширина каждого интервала задавалась на основе функции нормального распределения. Эта ширина охватывает диапазон значений, в который должны попасть 33 % всех возможных случайных отклонений прогностических значений температуры от фактической температуры при их нормальном распределении. Такой интервал соответствует интервалам часто используемых оценок в трёх градациях – «ниже нормы», «около нормы» и «выше нормы». Из таблицы нормального распределения [10] следует, что 33 % всех случайных значений должно оказаться в интервале $\pm 0,63\sigma$ от фактического значения температуры по данным наблюдений (σ – среднеквадратическое отклонение ряда данных наблюдений температуры t). Если значение прогностической температуры t_f отличалось от фактической температуры t не более чем на $0,63\sigma$ в любую сторону от t , то прогноз принимался оправдавшимся:

$$|t - t_f| \leq 0,63\sigma.$$

Если значение t_f выходило за интервал $\pm 0,63\sigma$ относительно t , то прогноз принимался не оправдавшимся.

В соответствии с Методическими указаниями [11] оценка оправдываемости знака аномалии производится по формуле:

$$\rho = (n_{\text{оп}} - n_{\text{неоп}})/N, \quad (1)$$

где $n_{\text{оп}}$ – число случаев, для которых прогнозируемое значение не выходило за установленный диапазон отклонений от фактического значения; $n_{\text{неоп}}$ – число случаев, для которых прогнозируемое значение выходило за установленный диапазон отклонений от фактического значения; N – общее число случаев, для которых составлялись прогнозы.

Значения ρ часто называют качественным коэффициентом корреляции. Значение $\rho > 0$ означает, что прогноз знака

оправдался более чем в 50 % случаев, и, значит, методический прогноз был более успешным, чем случайный. А в случае $\rho < 0$ – прогноз знака оправдался менее чем в 50 % [12].

Дополнительной проверкой качества прогнозов является оценка с учётом знака и величины аномалии. Согласно [11], прогноз может оказаться удовлетворительным только по знаку аномалий, удовлетворительным только по величине отклонения от фактического значения или удовлетворительным по двум из указанных показателей. Если прогноз оказывается удовлетворительным по величине и по знаку отклонения от фактического значения, то качество прогноза принимается хорошим. Если ни одно из условий сравнения с климатологическим прогнозом не выполняется, то прогноз принимается плохим.

Для оценки оправдываемости прогноза величины аномалии использовалась формула [12]:

$$Q = \frac{1}{N} \sum_i^N \left(\frac{\delta_i}{\sigma} \right)^2. \quad (2)$$

Здесь N – число прогнозов; δ – ошибка прогноза для одного случая; σ – среднеквадратическое отклонение. Значение $Q > 1$ означает, что по величине погрешность прогноза больше погрешности климатологического прогноза, при $Q = 1$ – эти погрешности равны, а при $Q < 1$ погрешность прогноза меньше погрешности климатологического прогноза по величине.

Прогнозы месячной температуры на январь следующего года составляются с заблаговременностью 11 месяцев, после получения в феврале данных наблюдений за январь текущего года, а средне-сезонные прогностические значения вычисляются с заблаговременностью 9 месяцев. Заблаговременность 9 месяцев означает, что после сбора данных наблюдений за декабрь – февраль в начале марта составляется прогноз температуры на зиму (декабрь – январь) следующего года. После сбора данных наблюдений за март – май в начале июня составляется прогноз температуры на весну следующего года (март – май) и так далее. Среднегодовое прогностическое значение температуры на январь – декабрь следующего года вычисляется в начале января текущего года.

Обобщённая оценка успешности сезонных прогнозов вычислялась по всем 20 годам и по всем 180 станциям при сравнении прогностического сезонного значения температуры на заданный год с фактическим значением сезонной температуры в этот год. Каждая обобщённая оценка успешности сезонных прогнозов получена на основе обработки 3 600 случаев прогнозов. Принималось, что прогнозы температуры на заданный сезон или на год по станциям России имеют хорошую оправдываемость по знаку и величине, если за 20 лет независимых прогнозов получены оценки $Q < 1$ и $p > 0$. Хороший прогноз позволяет уменьшить неопределённость наших знаний о предстоящем значении сезонной температуры на станции в следующем году. Вычислялись также обобщённые средние и среднеквадратические ошибки сезонных и годовых прогнозов.

В таблице 1 приведены средние и средние квадратические ошибки прогнозов температуры, обобщённые за 20 лет по 180 станциям России, а также подсчитанное количество станций с хорошими прогнозами ($Q < 1$ и $p > 0$) в процентах от общего количества всех станций. Значения приведены отдельно по каждому сезону и для среднегодовых значений температуры.

Таблица 1

Оценки качества прогнозов сезонной и годовой температуры по станциям России с заблаговременностью 9 месяцев. Оправдываемость попадания прогноза в интервал отклонений от фактического значения не более чем на $\pm 0,63\sigma$

	Зима	Весна	Лето	Осень	Год
Средняя ошибка, °С	0,01	-0,34	-0,07	-0,34	-0,16
Средняя квадратическая ошибка, °С	2,14	1,69	1,14	1,56	0,99
Количество хороших прогнозов, %	96,6	92,2	88,8	90,5	100

Из таблицы следует, что средние ошибки практически не смещены. Наименьшая среднеквадратическая ошибка прогнозов была летом (1,14 °С), наибольшая – зимой (2,14 °С). Ошибка прогноза среднегодовой температуры составила 0,99 °С. Обобщённая по всем сезонам среднеквадратическая ошибка сезонных прогнозов с заблаговременностью 9 месяцев составила 1,67 °С. Для сравнения, среднеквадратическая ошибка сезонных прогнозов СЕКЦ с нулевой заблаговременностью составила 1,94 °С [3].

Таблица 1 показывает, что новый подход к построению сезонных прогнозов позволяет получить неслучайные прогнозы температуры с заблаговременностью 9 месяцев. По совместным оценкам величины и знака отклонений прогнозируемой температуры от фактической температуры больше всего станций с неслучайными сезонными прогнозами оказалось зимой 96,6 % от общего количества выполненных испытательных прогнозов. Весной неслучайных прогнозов оказалось 92,2 %, летом – 88,8 %, осенью – 90,5 %. Из всех прогнозов среднегодовой температуры 100 % оказались лучше случайных прогнозов.

Приведённые обобщённые оценки показывают долю прогнозов (в процентах), по которым методический прогноз был более успешным, чем случайный по знаку и по величине. Но для оценки оправдываемости прогнозов необходимы другие количественные оценки. Прогнозисты часто используют показатель r для этих целей, вычисляемый по формуле (1). Средние за 2000–2019 гг. значения успешности экспериментальных прогнозов ВНИИГМИ-МЦД по сезонам и за год показаны в табл. 2. Для сравнения там же приведены средние оценки r успешности сезонных прогнозов СЕКЦ. Оценки r успешности оперативных сезонных прогнозов Северо-Евразийского регионального климатического центра (ГМЦ РФ) приводятся на сайте <http://seaks.meteoinfo.ru/verif> на каждый год – с 2012 по 2019 год. Это позволило получить средние за 2012–2019 гг. оценки r для прогнозов СЕКЦ и сравнить с ними оценки прогнозов ВНИИГМИ-МЦД.

Таблица 2

**Средние оценки r успешности экспериментальных прогнозов
ВНИИГМИ-МЦД по сезонам и за год и сезонных прогнозов СЕКЦ**

	Зима	Весна	Лето	Осень	За год
ВНИИГМИ-МЦД	0,43	0,30	0,30	0,31	0,80
СЕКЦ	0,10	0,26	0,38	0,18	-

Прогнозы ВНИИГМИ-МЦД на зимний, весенний и осенний сезоны оказались успешнее прогнозов СЕКЦ, а летние прогнозы оказались более успешными в СЕКЦ. При этом преимущество прогнозов ВНИИГМИ-МЦД является заблаговременность

9 месяцев, против нулевой заблаговременности прогнозов СЕКЦ. Прогноз среднегодовой температуры возможен только по методике ВНИИГМИ-МЦД и его успешность оказалась очень высокой ($\rho = 0,8$).

Более подробно рассмотрим оценки успешности прогнозов по годам. Для этого по формуле (1) для каждого года отдельно вычислены оценки успешности экспериментальных прогнозов ВНИИГМИ-МЦД, обобщённые по всем станциям. И для каждого года успешность оценивалась отдельно по четырём сезонам и для прогностического среднегодового значения температуры. На рис. 3–6 по сезонам и на рис. 7 для среднегодовой температуры показаны графики изменения успешности ρ официальных оперативных прогнозов СЕКЦ ГМЦ за 2012–2019 гг. и экспериментальных ретроспективных прогнозов ВНИИГМИ-МЦД за 2000–2019 гг.

Рис. 3 демонстрирует превосходство успешности на зиму прогнозов ВНИИГМИ-МЦД относительно прогнозов СЕКЦ. Вместе с тем видно, что не каждый год прогнозы ВНИИГМИ-МЦД были успешными. Случайными они оказались в 2001, 2002, 2006 и в 2010 гг. (четыре года случайных прогнозов из двадцати). Зимние прогнозы СЕКЦ были случайными в 2012, 2015 и в 2017 гг. (три случайных из восьми).

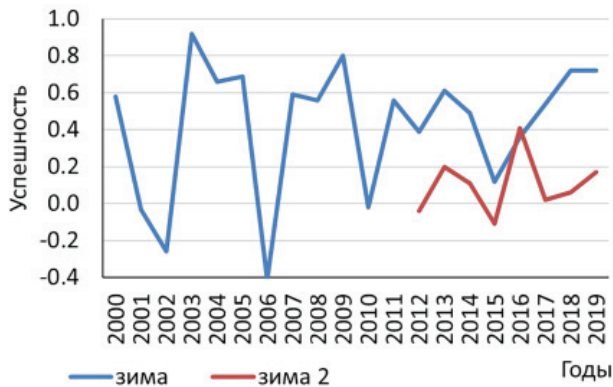


Рис. 3. Успешность сезонных экспериментальных прогнозов зимней температуры с заблаговременностью 9 месяцев (зима) и оперативных прогнозов СЕКЦ с нулевой заблаговременностью (зима 2)

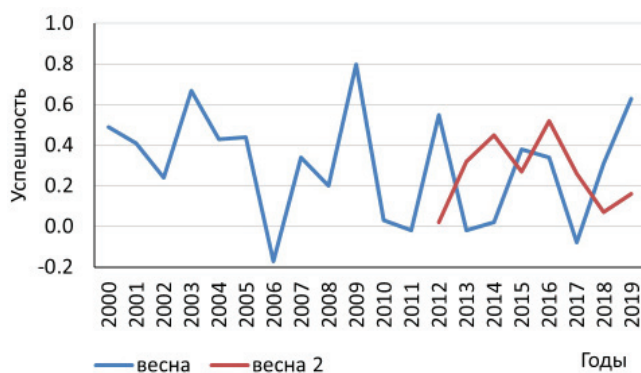


Рис. 4. Успешность сезонных экспериментальных прогнозов весенней температуры с заблаговременностью 9 месяцев (весна) и оперативных прогнозов СЕКЦ с нулевой заблаговременностью (весна 2)

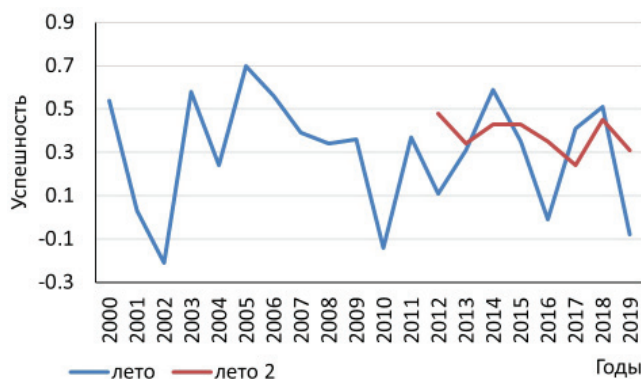


Рис. 5. Успешность сезонных экспериментальных прогнозов летней температуры с заблаговременностью 9 месяцев (лето) и оперативных прогнозов СЕКЦ с нулевой заблаговременностью (лето 2)

Успешность весенних прогнозов сильно варьировалась в разные годы как по прогнозам ВНИИГМИ-МЦД, так и по прогнозам СЕКЦ.

Летом пять из двадцати прогнозов ВНИИГМИ-МЦД оказались случайными, а все восемь летних прогнозов СЕКЦ были успешными. Самыми слабыми прогнозы ВНИИГМИ-МЦД оказались в

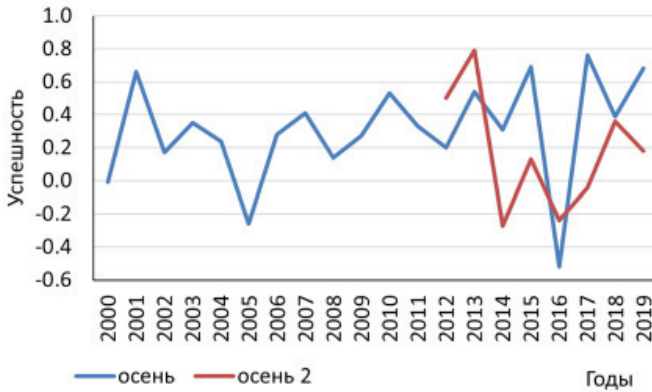


Рис. 6. Успешность сезонных экспериментальных прогнозов осенней температуры с заблаговременностью 9 месяцев (осень) и оперативных прогнозов СЕКЦ с нулевой заблаговременностью (осень 2)

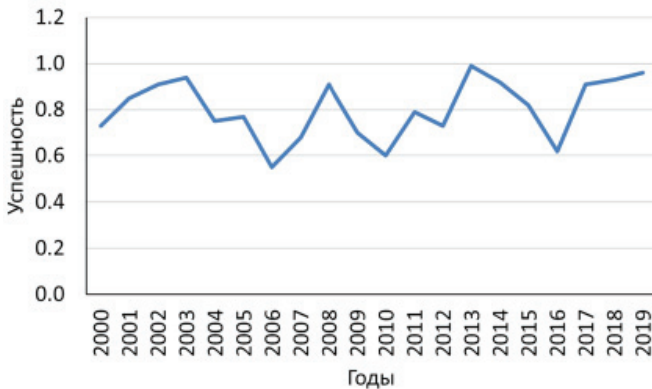


Рис. 7. Успешность экспериментальных прогнозов среднегодовой температуры

2002 и 2010 гг., которые отличались необычайными условиями во многих регионах страны, включая экстремальную жару 2002 и 2010 гг. За эти годы нет данных об успешности прогнозов СЕКЦ.

Осенью три из двадцати прогнозов ВНИИГМИ-МЦД были случайными и три из восьми прогнозов СЕКЦ оказались случайными.

Сравнивая изменение успешности прогнозов по годам, можно отметить, что самые неудачные прогнозы приходятся на одни и те же годы, как по прогнозам ВНИИГМИ-МЦД, так и по прогнозам СЕКЦ. Это особенно заметно осенью и зимой.

Прогнозы ВНИИГМИ-МЦД среднегодовой температуры (рис. 7) во все годы имели хорошую успешность. По методике СЕКЦ составление таких прогнозов невозможно.

4. Пространственные особенности оправдываемости сезонных прогнозов

Для понимания пространственных особенностей успешности прогнозов ВНИИГМИ-МЦД для каждой станции была вычислена оправдываемость попадания прогностической температуры в интервал $\pm 0,63\sigma$ относительно t за 2000–2019 гг. На рис. 8–12 приведены карты оправдываемости экспериментальных прогнозов ВНИИГМИ-МЦД по сезонам и за год.

Общей особенностью пространственного распределения очагов наилучшей оправдываемости прогнозов во все сезоны являются их связь с рельефом, с известными направлениями основных воздушных потоков по сезонам, а также обнаруживается зависимость успешности прогнозов от удалённости района от океанов.

Зимой на юге Европейской территории России (ЕТР) оправдываемость прогнозов составила 60–74 %. В средних и высоких широтах Европейской территории, а также в южной половине Западной Сибири оправдываемость зимних прогнозов выше 70 %, а в некоторых районах превышает 75 % и даже превышает 85 %. В бассейне Енисея оправдываемость 70–74 %. В других районах Сибири в средних широтах оправдываемость 65–69 %, а в южной части Сибири оправдываемость хуже. На Дальнем Востоке (восточнее Лены) оправдываемость зимних прогнозов преимущественно выше 70 %, в некоторых районах – выше 75 %. На Камчатке оправдываемость зимних прогнозов температуры составила 80–84 %.

Области успешных прогнозов на ЕТР и на юге Западной Сибири совпадают с границами Первого естественного синоптического района, который, как известно, является районом влияния Атлантики, наиболее отчётливо проявляющегося в холодное полугодие.

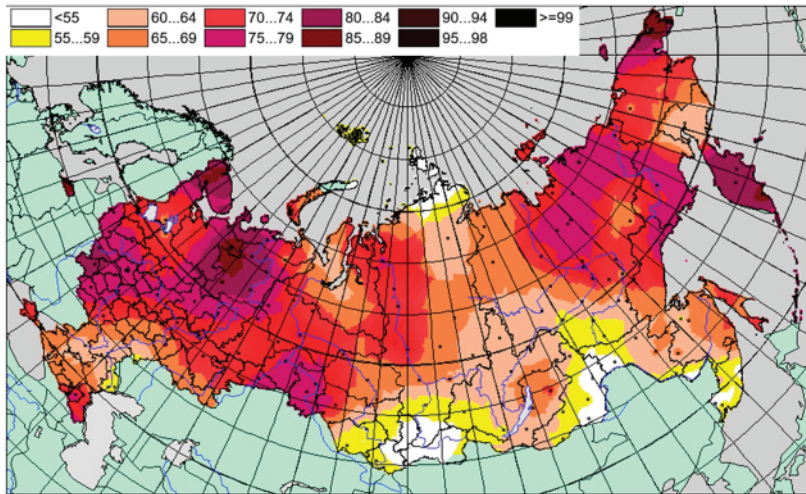


Рис. 8. Оправдываемость сезонных прогнозов температуры воздуха (в %). Зима

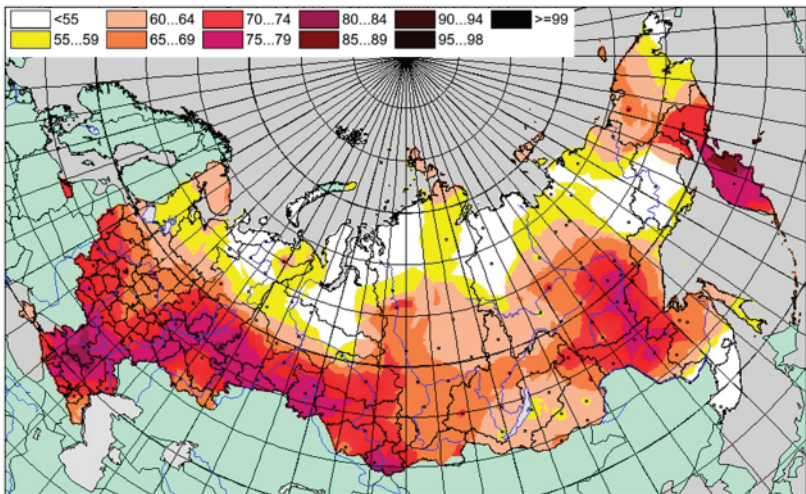


Рис. 9. Оправдываемость сезонных прогнозов температуры воздуха (в %). Весна

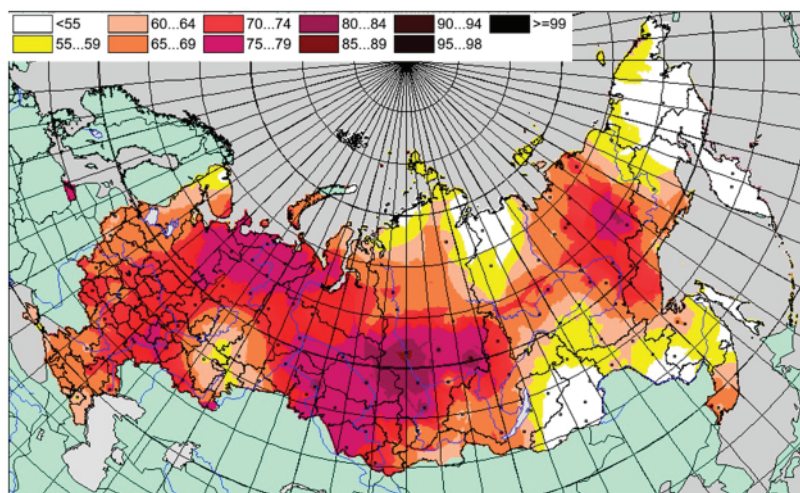


Рис. 10. Оправдываемость сезонных прогнозов температуры воздуха (в %). Лето

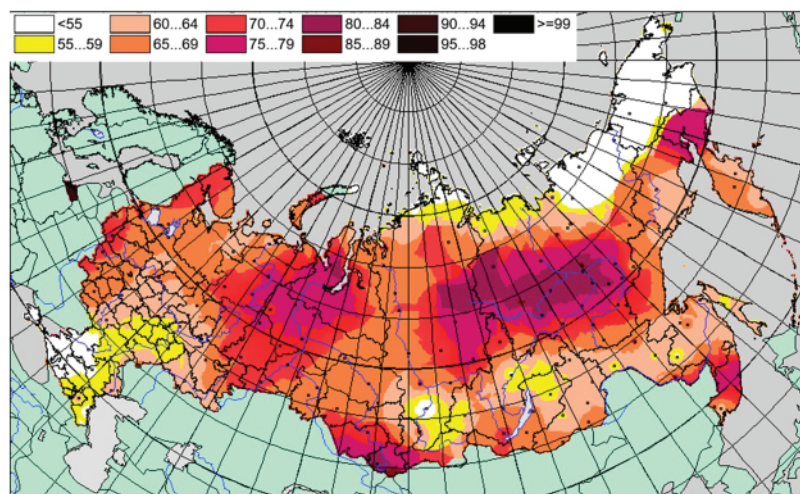


Рис. 11 Оправдываемость сезонных прогнозов температуры воздуха (в %). Осень

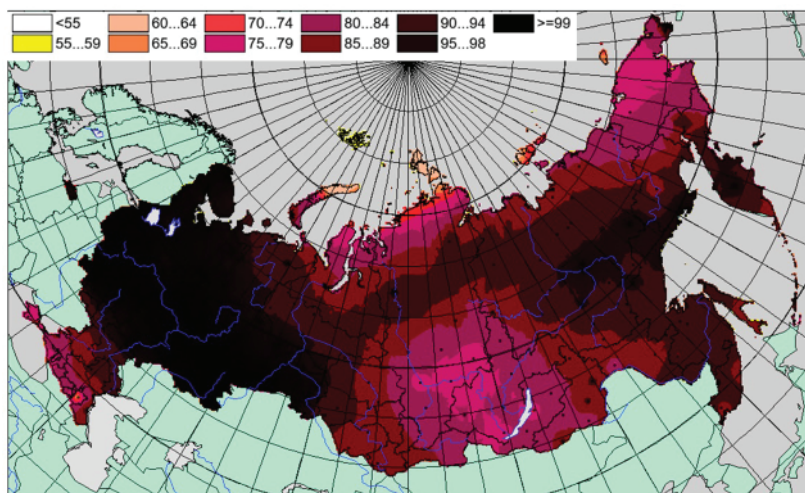


Рис. 12. Оправдываемость прогнозов среднегодовой температуры воздуха (в %)

Другие области более успешных прогнозов также примыкают к океанам. Долина Енисея – это область заточек воздуха с Северного Ледовитого океана из района Карского моря. Север Дальнего Востока находится под влиянием воздушных масс Северного Ледовитого океана в области моря Лаптевых и Восточно-Сибирского моря. А юг и восток Дальнего Востока вместе с Камчаткой находятся во власти воздушных масс Тихого океана.

Весной оправдываемость прогнозов в средних и южных широтах ЕТР, а также в прилегающей южной половине Западной Сибири составила от 65 до 84 %. В южной половине Восточной Сибири оправдываемость 60–69 %, а в среднем и верхнем течении Лены и её притоков оправдываемость 70–79 %. На Камчатке оправдываемость весенних прогнозов 75–84 %, а в бассейне Колымы – 60–69 %. В других районах России, относящихся преимущественно к высоким широтам, оправдываемость ниже 60 % или случайная.

Летом хорошая оправдываемость прогнозов в ЕТР и почти во всей Западной Сибири от 70 до 89 %. На севере Восточной Сибири и в Забайкалье оправдываемость летних прогнозов ниже

64 % или случайная. На Дальнем Востоке в долготном интервале от Верхоянского хребта до Анадырского плоскогорья оправдываемость 70–79 %. С запада, с юга и с востока этот район ограничен хребтами, горными цепями и открыт с севера. Очевидно, что долгопериодные закономерности изменений температуры в этом районе формируются затоками воздушных потоков из моря Лаптевых и Восточно-Сибирского моря.

Осенью в средних и высоких широтах ЕТР оправдываемость прогнозов составила 65–74 %, на юге ЕТР осенние прогнозы оправдывались в 55–59 % случаев, а на некоторых станциях оказались случайными. В Сибири почти на всей территории оправдываемость выше 65 %, при этом в Западной Сибири на всех широтах от 70 до 79 %, а в Восточной Сибири в средних широтах оправдываемость осенних прогнозов 70–84 %. В южных и средних широтах Дальнего Востока оправдываемость осенних прогнозов составила преимущественно 60–69 %, на некоторых станциях – 75–79 %. В этом протяжённом районе, прилегающем к Тихому океану, цикличность может определяться затоками воздушных потоков с Тихого океана.

Прогноз среднегодовой температуры оправдывался почти на всех станциях более чем на 75 %. Примерно на половине станций оправдываемость среднегодовых значений составила более 80 %. На ЕТР, на юге Западной Сибири, в средних широтах Дальнего Востока и на Камчатке оправдываемость достигала 99 %.

Заключение

Использование авторского метода экстраполяции многолетних ритмов позволило составлять сезонные прогнозы температуры воздуха на метеорологических станциях заблаговременностью девять месяцев. Прогностические ритмы для сезонных прогнозов выделяются по многолетним данным в межгодовых колебаниях температуры по временным рядам, построенным для каждого месяца отдельно. Установлено, что закономерности многолетних колебаний значений температуры одного сезона сохраняются более длительное время, чем заметные связи между смежными сезонами. Слабые межсезонные связи в изменениях температуры

воздуха на каждой фиксированной станции объясняются сезонными смещениями по Земле границ воздушных масс с их собственными циклическими закономерностями и неизбежной при этом сменой циклических закономерностей изменения температуры на каждой станции с заданными географическими координатами.

Новый подход позволил строить прогнозы месячной и сезонной температуры на каждой станции с заблаговременностью 9–11 месяцев. Оправдываемость сезонных прогнозов оказалась выше, чем прогнозы СЕКЦ с нулевой заблаговременностью для зимы, весны и осени. Летом лучшими оказались прогнозы СЕКЦ.

Обобщённые оценки успешности прогнозов по знаку и величине и сравнение их со случайными прогнозами показали, что больше всего станций с неслучайными сезонными прогнозами (оправдываемость более 50 %) оказалось зимой 96,6 % от общего количества выполненных испытательных прогнозов. Весной неслучайных прогнозов оказалось 92,2 %, летом – 88,8 %, осенью – 90,5 %. Из всех прогнозов среднегодовой температуры 100 % оказались лучше случайных прогнозов.

Оценки успешности прогнозов по каждой станции и по каждому сезону отдельно показали, что предлагаемый метод сезонных прогнозов позволяет строить сезонные прогнозы в большинстве регионов России с оправдываемостью от 70 до 80 %. При этом в прогнозах по каждому сезону обнаружены районы, в которых прогнозы близки к случайным. Более успешными прогнозы оказались в районах более сильного взаимодействия атмосферы с океанами. Районы успешных прогнозов обнаружены не только в зоне влияния Атлантики, но и на просторах Сибири и Дальнего Востока в зоне влияния Северного Ледовитого и Тихого океанов. Этот вопрос требует более глубокого изучения. Вопрос о влиянии Индийского океана остаётся открытым.

Прогноз среднегодовой температуры оправдывается в 80–99 % почти на всей территории страны.

Полученные результаты имеют важное практическое значение для планирования с почти годовой заблаговременностью сезонных работ в погодозависимых отраслях экономики.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Хан В. М., Вильфанд Р. М., Бундель А. Ю., Крыжов В. Н., Мин Е.-М., Тищенко В. А. Мультимодельный подход при составлении прогнозов погоды на сезон // Метеорология и гидрология. 2011. № 1. С. 19–29.
2. Муравьев А. В., Вильфанд Р. М. О стандартизации оценок качества среднесрочных и долгосрочных прогнозов погоды // Метеорология и гидрология. 2000. № 12. С. 24–34.
3. Вильфанд Р. М., Зарипов Р. Б., Киктев Д. Б., Круглова Е. Н., Крыжов В. Н., Куликова И. А., Тищенко В. А., Толстых М. А., Хан В. М. Долгосрочные метеорологические прогнозы в Гидрометцентре России // Гидрометеорологические исследования и прогнозы. 2019. № 4 (374). С. 12–36.
4. Аскназий А. И. К вопросу о методике долгосрочных прогнозов погоды // Метеорология и гидрология. 1936. № 10. С. 3–40; № 11. С. 3–43.
5. Мультиановский Б. П. Основные положения синоптического метода долгосрочных прогнозов погоды. Часть 1. Центральное управление Единой гидрометеорологической службы Союза ССР. М., 1933. 139 с.
6. Шерстюков Б. Г. Региональные и сезонные закономерности изменений современного климата. Обнинск: ГУ ВНИИГМИ-МЦД, 2008. 246 с.
7. Тищенко В. А., Хан В. М., Круглова Е. Н., Куликова И. А. Применение статистической коррекции детерминистских прогнозов температуры воздуха и осадков по модели ПЛАВ для Арктического региона // Труды гидрометеорологического научно-исследовательского центра Российской Федерации. 2016. № 361. С. 47–65.
8. Шерстюков Б. Г. Короткопериодные колебания климата по данным наблюдений, их закономерности и предпосылки для прогноза с заблаговременностью более одного года // Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2019. Вып. 185. С. 40–55.
9. Шерстюков Б. Г. О возможном резонансном механизме колебаний климата // Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2018. Вып. 181. С. 52–70.
10. Митропольский А. К. Техника статистических вычислений. М.: Наука, 1971. 576 с.
11. Методические указания. Руководящий документ. Проведение производственных (оперативных) испытаний новых и усовершенствованных методов гидрометеорологических и гелиогеофизических прогнозов. РД 52.27.284–91. М.: Комитет гидрометеорологии при кабинете министров СССР, 1991. 149 с.
12. Гирс А. А., Кондратович К. В. Методы долгосрочных прогнозов погоды. Л.: Гидрометеиздат, 1978. 342 с.

УДК 551.501:004

НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ ТИПОЛОГИЧЕСКОГО АНАЛИЗА СОСТАВА ЭЛЕКТРОННЫХ ДОКУМЕНТОВ ЕДИНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО ФОНДА ДАННЫХ О СОСТОЯНИИ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ, ЕЁ ЗАГРЯЗНЕНИИ (ЕГФД)

С. В. Сомов¹, И. Ф. Николенко²

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

¹ somov@meteo.ru, ² igor@meteo.ru

Современная тенденция развития архивного дела, как у нас в стране, так и за рубежом, связана с электронными документами. В ЕГФД основная часть документов в настоящее время также поступает на электронных носителях, и поэтому задача организации долговременной гарантированной сохранности таких документов является одной из актуальных и приоритетных.

В соответствии с [1] электронный документ – это документированная информация, представленная в электронной форме. Электронный документ или совокупность электронных документов и метаданных к ним представляют собой электронное дело.

Как материальный объект электронный документ представляет собой файл (именованная область информации на электронном носителе) или несколько файлов с определённой их организацией на носителе.

В ЕГФД электронный документ – это, как правило, результат зафиксированных на электронном носителе данных наблюдений или другой информации о состоянии окружающей природной среды, сведений о формате представления данных на носителе и реквизитах документа.

С момента внедрения новых технологий автоматизированной обработки гидрометеорологической информации на ЭВМ в организациях Росгидромета заметно возросла активность по созданию электронных документов с результатами наблюдений

за окружающей природной средой, а на их основе – массивов и баз данных. Следует отметить, что более половины всех изменений, внесённых в новую редакцию РД 52.19.143–2019 «Перечень документов архивного фонда данных о состоянии окружающей среды, её загрязнении», связаны с изменением вида носителя информации для документов в связи с появлением их электронной версии. Переоснащение сети и внедрение автоматизированных средств наблюдений также способствуют заметному увеличению поступления в ЕГФД новых документов в электронном виде. И такая тенденция сохраняется.

В настоящее время в архиве уже накоплено и хранится более миллиона файлов с гидрометеорологической информацией. Кроме того, значительную часть ЕГФД по объёмам информации представляют ресурсы в виде баз данных, не входящих в архивный фонд.

Характерные классы и виды электронных документов в ЕГФД

Всё существующее в настоящее время многообразие электронных документов по происхождению и способу их фиксации на электронном носителе классифицированы [2] на:

- документы, созданные цифровыми (born-digital),
- сканированные копии бумажных документов,
- цифровые изображения и видео,
- сообщения электронной почты,
- веб-сайты,
- базы данных.

Эта классификация, которую предложили британские архивисты, на наш взгляд, лучшим образом отражает состав фонда электронных документов и в ЕГФД. Классификация электронных документов – первый этап при группировке документов в дела при организации их хранения в архиве. Классификация даёт возможность формулировать общие для объединённых в классы документов требования, критерии, находить общие решения по управлению документами Фонда.

Кроме того, по целому ряду признаков документы также могут подразделяться на группы и виды. По срокам хранения

документы, входящие в состав ЕГФД, в [3] предложено разделить на группы:

- 1) временные, не архивируемые документы с жизненным циклом, совпадающим, как правило, с циклом выполнения установленных процедур, использующих эти документы;
- 2) архивные документы с ограниченными сроками хранения;
- 3) архивные документы с постоянными сроками хранения.

В архивном деле принято считать временными, не архивируемыми документами, документы с жизненным циклом менее 10 лет; документами с ограниченными сроками хранения – документы со сроком хранения более 10 лет; постоянное хранение – хранение без ограничений срока, всегда.

Документы второй и третьей группы составляют информационные ресурсы архивного фонда ЕГФД, основная задача которого сохранять документы для последующих поколений.

Документы первой группы представляют собой информационные ресурсы, необходимые для достижения обозримой цели. В основном используются для решения задач обслуживания, а также для формирования обобщений и производства новых документов, баз и банков данных.

В ЕГФД документы второй и третьей групп, так же, как правило, являются источниками для создания информационных ресурсов первой группы документов.

Такое разделение документов обусловлено необходимостью разработки комплекса специальных мер по их защите от угроз нарушения безопасности, которые бы обеспечивали их гарантированную сохранность и доступность документов в указанные периоды хранения. Гарантия сохранности обеспечивается некоторым набором мероприятий и средств, адекватных принятой политике безопасности. Требования к мероприятиям и средствам по обеспечению сохранности документов, а также затраты на их реализацию будут возрастать по мере увеличения продолжительности хранения документов.

Основной особенностью электронных документов является то, что они неразрывно связаны с постоянно меняющимися техническими и программными средствами, которые используются

при работе с ними. При организации хранения электронных документов для документов с жизненным циклом менее 10 лет этот фактор не является определяющим. Такие документы могут сохраняться на тех носителях и в тех форматах, как они поступают в фонд. Но для документов постоянного и долговременного хранения фактор динамично меняющихся технологий работы с электронными документами является определяющим, потому что время хранения таких документов значительно превышает время жизненного цикла носителей, технических и программных средств работы с ними. Мероприятия, обеспечивающие безопасность документов, должны планомерно и целенаправленно решать проблему устаревания носителей, устанавливая процедуры периодически выполняемого переноса документов со старых носителей на более новые.

Продолжительность хранения документов устанавливается в зависимости от ценности документов. С позиции архивиста продолжительность хранения документа – это обязанность и способность фонда обеспечить в установленный период хранения целостность и доступность (за приемлемое время) содержания документов.

Продолжительность хранения основной части документов, поступающих в ЕГФД, установлена в [4], а документов, не входящих в этот перечень, определяется экспертной комиссией. В пределах полномочий экспертной комиссии по её решению продолжительность хранения документов в Фонде может быть изменена.

Ещё в 2012 году в России был принят Национальный стандарт [5], идентичный международному документу ИСО/ТО 18492:2005 (Long-term preservation of electronic document-based information), цель которого предложить чёткую концепцию для разработки стратегий и практик, применимых к широкому спектру электронных документов для обеспечения их долговременной доступности и аутентичности. Этот стандарт должен лечь в основу совершенствования методического обеспечения в ЕГФД при организации работ в архиве с электронными документами.

Таким образом, одной из основных методических задач ЕГФД является задача по разработке строго формализованных требований гарантии сохранности (уровни защищённости) электронных

документов различных классов и видов, а также разработка для каждого уровня защищённости перечня мероприятий и набора средств по обеспечению их сохранности.

По происхождению в архивном фонде ЕГФД все документы делятся на виды:

- Документы-подлинники (оригиналы);
- Документы-копии (дубликаты).

Подлинник документа – в соответствии с [1] – это первый или единственный экземпляр документа.

Подлинник электронного документа это, прежде всего, документ, созданный в электронном виде. Юридическая значимость информации подлинников документов в ЕГФД в настоящее время обеспечивается правовыми основами деятельности Гидрометеорологической службы, изложенных в Федеральном законе № 113-ФЗ от 19 июля 1998 г. (статья 9).

Копия документа – это объект хранения, полностью воспроизводящий информацию подлинного документа и все его внешние признаки или часть этих признаков. Это определение в полной мере относится и к электронной копии документа. Заверенная в соответствии с законодательством РФ копия документа (копия электронного документа) имеет юридическую силу, так же как и подлинник документа.

В хранилищах ЕГФД хранятся как подлинники, так и копии различных документов. Подлинники электронных документов в Росгидромете формируются в основном в процессе производства наблюдений и деятельности в соответствии с [13], а во всех остальных случаях определяются по результатам оценки документов экспертной комиссией.

Копии электронных документов в ЕГФД создаются как страховой фонд для обеспечения безопасности документов. В некоторых случаях такие документы в хранилищах представляют собой сканированные копии бумажных документов фонда. Например, для режимно-справочных изданий с гидрометеорологическими данными, подлинники которых хранятся на бумажных носителях, страховой фонд – сканированные на электронный носитель образы документов на бумаге.

Хранение копии бумажных документов в электронном виде повсеместно является распространённой тенденцией в архивном деле. Из копий бумажных документов в электронном виде, как правило, формируется фонд пользования, который, во-первых, в отличие от работы с фондом бумажных документов существенно упрощает и сокращает время поиска и доступа к их электронным копиям, во-вторых, позволяет повысить уровень защищённости подлинников документов за счёт сокращения угроз контактной работы с бумажными документами.

Важным методом обеспечения долговременной сохранности подлинников электронных документов является процесс их миграции. Миграция электронных документов – это процесс перемещения документов из одной аппаратной или программной конфигурации в другую без изменения формата, с сохранением их свойств как документов [6].

Процесс миграции применяется в практике управления электронными документами во избежание искажения их целостности, обеспечивая сохранение доверия к документам и их юридической значимости. В этом заключается его отличие от простого копирования документов с одного носителя на другой. Концепция организации процесса миграции электронных документов представлена в [6]. Методическому обеспечению деятельности с электронными документами в ЕГФД следует учитывать рекомендации этого стандарта.

Электронные копии бумажных документов, в том числе и копии электронных документов, также подлежат учёту по месту хранения, как и их подлинники. В настоящее время в ЕГФД копии электронных документов не идентифицируются и на учёт не ставятся. Необходима разработка методических рекомендаций проведения миграции электронных документов в ЕГФД.

По своей структуре электронные документы разделяются на виды:

- Простые документы;
- Сложные документы.

Электронные документы ЕГФД подразделяются на «простые» и «сложные» по структуре документа. Структурная сложность

документа определяет использование методов гарантированной сохранности электронного документа, которые должны быть заданы для данного вида документов.

Простая структура у электронного документа – это когда документ состоит из одного файла или совокупности файлов с однотипными форматами файлов, а между различными файлами одного документа нет иерархической связи. Например, все электронные документы из перечня [4], сканированные копии бумажных документов Фонда и цифровые изображения, в которых каждый файл представляет собой самостоятельный документ, относятся к простым документам. Или другой пример: файл описания и файлы данных в формате ЯОД – простой документ, состоящий из двух файлов. В некоторых случаях ЯОД позволяет использовать одно описание для нескольких файлов с данными, т.е. простой электронный документ представляет собой совокупность файлов данных одного уровня и файл ЯОД-описания. Допускается также, что и ЯОД-описание может состоять из нескольких файлов. Как правило, это – содержащие дополнительные к общему описанию сведения (списки пунктов наблюдений или периоды наблюдений), которые относятся к определённому файлу данных. Всё это – примеры простых электронных документов.

Сложные документы, как правило, содержат информацию разного типа, файлы, из которых состоят эти документы, имеют различные форматы. Это могут быть несколько разных файлов, которые включают текст, данные, рисунки, фото, а также файлы, которые обеспечивают управление, обработку и представление информации, интерфейс пользователя для просмотра документа и т.д., например электронный документ «Атлас гидрографических характеристик района полуострова Камчатка». Во главе иерархической структуры файлов документа находится файл `index.htm`. Все остальные файлы документа позиционируются в соответствии с установленной сложной структурой этого документа. При миграции таких документов сохранению в архиве подлежат не только сами файлы различных форматов, но и установленный порядок в их иерархии.

К числу сложных электронных документов, хранящихся в ЕГФД, можно также отнести, например, большой набор документов с данными наблюдений за радиационным балансом Земли, ежемесячные отчёты метеорологического спутникового центра Японии и многие другие. Проблема их информационной безопасности и, прежде всего, их доступности в отдалённой перспективе может быть связана не только с миграцией документов, но и с их конверсией. Конверсия документов (синонимы: конвертация, конвертирование) – процесс преобразования документов из одного формата в другой с сохранением их свойств как документов [6].

К сложным документам также следует относить архивы веб-сайтов, баз данных. Для архивации таких документов используются специализированные программные средства. Количество сложных документов в последнее время увеличивается, и возникающие вопросы, связанные с их продолжительным хранением, становятся всё более актуальными и в ЕГФД.

Форматы файлов в документах ЕГФД

Специальные архивные форматы – это полезный инструмент для обеспечения долговременной сохранности и пригодности к использованию электронных документов, а также для снижения расходов на содержание электронных архивов [7]. Формат электронного документа является важным атрибутом документа при его приёме в архив, так как формат документа определяет возможности его использования в будущем или необходимость проведения плановой конверсии документа в другой формат.

Как известно, формат файла – это спецификация структуры данных, записанных в компьютерном файле. Другими словами, формат – это соглашение о том, как различные фрагменты информации располагаются внутри файла. По формату обычно определяется и тип данных (двоичные, текстовые), которые содержатся в файле.

Поскольку объекты хранения ЕГФД, электронные документы, состоят из файлов, то вопросы использования тех или иных форматов файлов в документах Фонда и связанные с ними угрозы, приводящие к нарушению доступности этих документов, приобретают особое значение. Поддержка пригодности документов к

их использованию становится очень сложной задачей, если не ограничивать и не контролировать форматы принимаемых на хранение электронных документов.

Подобные угрозы возникают в связи с тем, что спецификация структуры данных в файлах документа известна, как правило, только программному обеспечению, которое создаёт эти файлы и обеспечивает доступ к содержащейся в них информации. Очень часто такое программное обеспечение является лицензионным, и спецификация формата может быть закрыта от пользователя. Поэтому все форматы файлов принято делить на открытые форматы и закрытые.

Использование документов с форматами файлов, спецификации которых не доступны, может привести к зависимости от сторонних программ или держателей лицензий на формат. В худшем случае это может означать, что информацию из документа нельзя прочесть, потому что формат файла устарел и не поддерживается производителем.

Открытый формат файла призван обеспечивать общедоступную спецификацию хранения цифровых данных. Главная цель применения открытых форматов – гарантировать возможность доступа к данным в течение долгого времени, невзирая на лицензионные права и технические спецификации. Возможность воспроизведения и обработки информации электронных документов без использования оригинального программного обеспечения в перспективе при долговременном хранении является основополагающим принципом хранения данных в ЕГФД.

Очевидно, что для разных классов и видов электронных документов требования к форматам файлов могут и должны быть различными.

В ЕГФД в настоящее время к электронным документам с непродолжительным жизненным циклом (< 10 лет), которые не подлежат архивному хранению, требования к форматам не предъявляются, потому что риски влияния формата на хранение в обозримой перспективе незначительные.

Для электронных документов класса «цифровые изображения и видео», к которым относятся цифровые графические

изображения, цифровые фото- и видеоизображения, а также их контейнеры, которые подлежат долговременному или постоянному хранению, существует и используется большой набор специальных форматов. Каждый из этих форматов выполняет свои задачи, имеет достоинства и недостатки и, как правило, связан с продуктами конкретных производителей фото- и видеооборудования и программных средств. Ценность таких документов большая, но архивные фонды сегодня не могут каким-либо образом повлиять на процесс образования или унификации этих форматов, поэтому, очевидно, единственный эффективный метод хранения документов этого класса – поддерживать данные в актуальном состоянии, пересматривать свой архив с определённым интервалом времени и планомерно преобразовывать те форматы, которые устарели. Такая работа с документами должна быть методически обеспечена.

В ЕГФД в настоящее время насчитывается около 100 тыс. электронных документов, относящихся к этому классу. Основная часть этих документов представлена в формате .jpg (~ 50 %), кроме того, представлены документы в форматах .psx, .bmp, hrpt и другие.

Формат для электронных документов класса «сканированные копии бумажных документов» по аналогии с принятым в делопроизводстве [8, 9] форматом для электронных документов следует также официально установить в ЕГФД на уровне нормативного документа или методических рекомендаций. В Росархиве электронные документы передаются в государственный (муниципальный) архив в формате архивного хранения PDF/A-12. XML (eXtensible Markup Language) – используется как формат данных для описания содержимого таких документов. Файл описания электронного документа в формате XML, как правило, содержит и реквизиты электронного документа. В ЕГФД документы этого класса составляют ~ 20 % Фонда.

Самую большую часть архивного фонда электронных документов ЕГФД составляют документы класса «документы, созданные цифровыми (born-digital)». Необходимость специального формата для долговременного хранения таких документов была очевидна ещё в 1975 г. Для этих целей В. М. Веселовым [10, 11]

был разработан ЯОГМД – язык описания гидрометеорологических данных (или сокращённо ЯОД), обеспечивающий построение и формальное описание логической и физической структуры данных на электронном носителе, который актуален и в настоящее время. Как было отмечено в [12], ЯОД поставил процесс конструирования форматов файлов для данных гидрометеорологических наблюдений в определённые, но достаточно гибкие рамки. Использование ЯОД в Росгидромете для создания документов долговременного хранения регламентируется [4, 13]. В настоящее время большинство документов, созданных цифровыми (born-digital), в ЕГФД составляют электронные документы в формате ЯОД. Использование ЯОД для архивных документов обеспечивает высокий уровень гарантий сохранности документов и их воспроизведения в будущем. Вместе с тем в Фонд поступали и продолжают поступать документы этого класса и в иных форматах. Их количество менее 10 %.

Таким образом, форматы электронных документов оказывают существенное значение на организацию и стоимость хранения документов в архиве. Форматы для документов постоянного хранения должны иметь открытую спецификацию, а их использование строго регламентировано в методических документах ЕГФД. Форматы документов долговременного хранения должны при необходимости предусматривать порядок их конверсии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Делопроизводство* и архивное дело. Термины и определения. ГОСТ Р 7.0.8–2013. С. 12.
2. Юрасов А. В. О проблемах комплектования государственных и муниципальных архивов электронными документами. <http://archives.ru/reporting/report-yurasov-2017-nms.shtml>
3. *Положение* об информационных ресурсах о состоянии окружающей среды, её загрязнении Федеральной службы по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды. РД 52.19.698–2008. С. 49.
4. *Перечень* документов архивного фонда данных о состоянии окружающей среды, её загрязнении. РД 52.19.143–2019. С. 103.
5. *Обеспечение* долговременной сохранности электронных документов. ГОСТ Р 54989-2012/ISO/TR 18492:2005. С. 18.

6. *Информация и документация. Процессы конверсии и миграции электронных документов. ГОСТ Р ИСО 13008–2015.* С. 36.
7. *Храмцовская Н. А.* Архивные форматы электронных документов // *Делопроизводство и документооборот на предприятии.* 2013. № 4. С. 85–95.
8. *Рекомендации по комплектованию, учёту и организации хранения электронных архивных документов в государственных и муниципальных архивах.* М.: ВНИИДАД. 2013. С. 49.
9. *Управление документацией. Формат файлов электронных документов для долгосрочного сохранения. ISO 19005-1:2005.* С. 44.
10. *Веселов В. М.* Язык описания гидрометеорологических данных // *Труды ВНИИГМИ-МЦД.* Обнинск. 1978. Вып. 43. С. 3–30.
11. *Веселов В. М.* Язык описания гидрометеорологических данных для IBM PC совместимых ПЭВМ // *Труды ВНИИГМИ-МЦД.* Обнинск. 1995. Вып. 160. С. 41–54.
12. *Шаймарданов М. З., Веселов В. М., Стерин А. М., Шаймарданов В. М.* Концепция модернизации архивной системы Мирового метеорологического центра // *Труды ВНИИГМИ-МЦД.* Обнинск. 2007. Вып. 172. С. 3–37.
13. *Краткие схемы обработки гидрометеорологической информации.* РД 52.19.704–2013. С. 80.

УДК 004.6:551.5:004.9

ТЕХНОЛОГИЯ ФОРМИРОВАНИЯ БАЗЫ ДАННЫХ ДЕТАЛЬНЫХ МЕТАОПИСАНИЙ ОБЪЕКТОВ ХРАНЕНИЯ ЕГФД

Н. Ю. Михеев¹, Е. В. Колесников²

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

¹ NyuMikheev@yandex.ru, ² ekolesnikov@meteo.ru

Введение

В настоящее время одним из направлений деятельности ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД» являются научные исследования в области создания методов и технологий ведения (приём, обработка, хранение, предоставление) ЕГФД. За время своего существования ЕГФД накопил большое количество информационных ресурсов по различным видам наблюдений в области гидрометеорологии, метеорологии, климатологии, агрометеорологии, гидрологии, океанологии и гелиогеофизики. Накопленные данные были зафиксированы над всей территорией земного шара. Помимо результатов наблюдений, ЕГФД включает обобщение этих данных за различные периоды времени в виде статистических параметров, специализированных массивов данных и климатических оценок.

В состав ЕГФД входят документы, содержащие информацию общего назначения и специализированную информацию в области гидрометеорологии и в смежных с ней областях.

Информация общего назначения относится к федеральным информационным ресурсам в области гидрометеорологии и в смежных с ней областях. Информация ЕГФД является открытой и общедоступной, за исключением информации, отнесённой законодательством Российской Федерации к категории информации ограниченного доступа [1]. По состоянию на 1 января 2020 года ЕГФД включает:

- 2 723 245 единиц хранения документов на бумажных носителях;

- 865 393 единицы хранения документов на фотоносителях;
- 1 806,78 Гб на технических носителях.

История деятельности ВНИИГМИ-МЦД начинается с 1964 года. Согласно постановлению Совета министров в Обнинске был создан отдел хранения и обработки гидрометеорологической информации. В 1971 году отдел хранения был преобразован во ВНИИГМИ-МЦД, ставший одним из трёх аналогичных мировых центров данных, расположенных в США и Австралии.

Приоритетной задачей была автоматизация процессов сбора, обработки и хранения гидрометеорологической информации, которая поступала с сети гидрометеорологических станций. В связи с необходимостью автоматизации данных процессов в 1970-е и 1980-е годы разрабатывались специальные технологии для ведения и хранения архива данных. Одновременно создавались технические носители для обеспечения долговременного хранения гидрометеорологической информации. Основным носителем информации были перфокарты. Однако для повышения надёжности хранения данных во ВНИИГМИ-МЦД были разработаны специальные устройства записи информации на микрофильмы и считывания с них в ЭВМ. Такое решение было принято в связи с неудобством переноса информации с перфокарт в ЭВМ. В 1972 году началась перезапись информации с перфокарт на микрофильмы, для которой были разработаны соответствующие программы

- по морской метеорологии,
- основной метеорологии суши,
- аэрологии,
- метеорологии.

Процесс перезаписи продолжался, но возникла проблема считывания информации с микрофильмов. В 1980-е года перфокарты можно было считать устаревшими носителями информации. В связи с этим было принято решение переноса накопившейся гидрометеорологической информации с перфокарт на полудюймовые магнитные ленты. С середины 1980-х годов начались работы по перезаписи гидрометеорологических данных на магнитные диски.

На сегодняшний день магнитные ленты и оборудование для их чтения и записи являются устаревшими и неактуальными.

В связи с этим в 2000-х годах на базе архивной системы Росгидромета была организована автоматизированная архивная система (ААС).

Система основана на современном оборудовании и программных комплексах, которые позволяют надёжно и долговременно хранить фонд гидрометеорологических данных, а также в дальнейшем развивать систему.

Для этого было выбрано и установлено следующее оборудование:

- две ленточные библиотеки IBM TS3500;
- дисковый массив DS8300;
- сервер управления на базе IBM system z9 BC;
- коммутаторы SAN и другое сетевое оборудование.

Две ленточные библиотеки объёмом по 4 ПБ каждая являются основным средством хранения. Дисковый массив объёмом 100 Тб является средством кэширования и используется для оперативной работы. Контролирует систему сервер управления на базе IBM System z9 BC. Управление данными обеспечивается с помощью программного комплекса Tivoli Storage Manager (TSM). Он реализован в соответствии со схемой клиент-сервер и включает следующие компоненты [2]:

- серверная составляющая IBM TSM;
- клиент резервного копирования и архивирования TSM.

Данная схема позволяет хранить данные клиентского узла на удалённом сервере, а также восстанавливать их в случае потери. В автоматизированной архивной системе TSM выполняет функции:

- создание резервных копий данных;
- архивирование данных;
- восстановление данных;
- выполнение функций автоматизации, составления отчётов и мониторинга;
- реализация политик управления.

Рассмотрев историю создания и развития фонда гидрометеорологических данных, можно сделать заключение, что в нём содержатся большие объёмы разнородной информации, которая проходила несколько этапов перезаписи на более современные технические

носители в связи с появлением новых поколений ЭВМ. При этом стоит отметить, что в процессе перезаписи с одного технического носителя на другой отсутствует какая-либо документация о проведении мероприятий по синтаксическому и смысловому контролю полноты и качества данных гидрометеорологических массивов.

Кроме того, фонд гидрометеорологических данных непрерывно пополняется и увеличивается в объемах за счёт появления новых видов информации, увеличения объемов передаваемой информации (например, данные в формате BUFR). Мероприятия по контролю полноты, целостности и качества планируется проводить по отношению ко всем имеющимся единицам хранения.

Таким образом, можно сделать вывод, что проблема мониторинга полноты и качества гидрометеорологических архивов и данных, поступающих по другим потокам, является актуальной, требующей глубокого анализа текущего состояния ЕГФД и разработки технических решений по созданию автоматизированной технологии формирования метаописаний объектов хранения ЕГФД как первой очереди, а затем и всех остальных имеющихся данных, в том числе хранящихся на бумажных носителях.

1. Текущее состояние фонда

На сегодняшний день фонд гидрометеорологических данных можно разделить на две части:

- Архивная (хранится согласно правилам Росархива);
- Неархивная.

Архивную часть ЕГФД составляют следующие документы:

- электронные (оперативная, режимная, данные организаций Росгидромета, лицензиаты и др.);
- бумажные. Перечень гидрометеорологической информации архивной части ЕГФД представлен в таблице.

Основные гидрометеорологические массивы оперативной и режимной информации электронных документов и первичных данных наблюдений представляют собой структурированные данные в формате ЯОД, которые используются для обслуживания потребителей.

Неархивную часть фонда составляет гидрометеорологическая информация, представленная в виде специализированных баз

и банков данных, в том числе верифицированных и реструктурированных данных первичных наблюдений. Объекты хранения неархивной части фонда отличаются высокой динамикой их пополнения и изменения.

Для объектов хранения первичных и верифицированных электронных данных особый интерес представляет вопрос, связанный с полнотой и качеством данных.

Т а б л и ц а

Гидрометеорологическая информация в составе ЕГФД

Название ресурса	Вид информации	Тип
ТМС	Метеорологическая	Режимная
ТМСС	Метеорологическая	Режимная
ТМСМ	Метеорологическая	Режимная
ТМС-вост.	Метеорологическая	Режимная
ТМСС-вост.	Метеорологическая	Режимная
ТМСМ-вост.	Метеорологическая	Режимная
ТМС-меж. Обмен	Метеорологическая	Режимная
ТМП	Метеорологическая	Режимная
БЕРЕГЕС	Прибрежная	Режимная
ТМ1 СРОКИ	Метеорологическая	Режимная Историческая
ТМ1 СУТКИ	Метеорологическая	Режимная Историческая
ВОСХОД	Метеорологическая	Режимная Историческая
СУТКИ76	Метеорологическая	Режимная Историческая
ПЕРСОНА-РЕКИ	Гидрологическая	Режимная
SINOP96	Синоптическая	Оперативная
ИММТ2	Судовая метеорологическая	Оперативная
КЛИМАТ-2	Климатическая	Оперативная
Батес, Тесак, Буи	Океанографическая	Оперативная
АЭРОСТАС	Аэрологическая	Оперативная
Метеорологический ежемесячник часть 1	Метеорологическая	Информационный ресурс
Метеорологический ежемесячник часть 2	Метеорологическая	Информационный ресурс

Окончание табл.

Название ресурса	Вид информации	Тип
Агрометеорологический ежегодник	Агрометеорологическая	Информационный ресурс
МДС	Гидрологическая	Информационный ресурс
ЕДС	Гидрологическая	Информационный ресурс
БТР	Климатическая	Информационный ресурс
Документы на бумажных носителях	Все виды	Информационный ресурс
Данные лицензиатов НИУ и УГМС на электронных носителях (CD, DVD)	Все виды	Информационный ресурс

Оперативная информация

Оперативная информация представляет собой непрерывный поток данных, поступающий по каналам связи глобальной телекоммуникационной сети. В ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД» развёрнуты специализированные программно-аппаратные комплексы MITRA, UNIMAS и CLIWARE для приёма и обработки входящего потока гидрометеорологических данных.

Принимаемые данные направляются по двум местам обработки:

- на сервер обработки программного комплекса CLIWARE с целью размещения в базе данных после проведения программного контроля и дальнейшего формирования архивных данных;
- в структуру каталогов серверов UNIMAS для дальнейшего обеспечения сохранности поступивших данных в роботизированную ленточную библиотеку.

Кроме того, все поступившие оперативные данные записываются в роботизированную ленточную библиотеку для длительного хранения в том формате, в котором они поступили в институт.

Информация основных гидрометеорологических массивов:

- синоптическая;
- судовая;
- климатическая;

- океанографическая;
- аэрологическая.

Перед записью на ленту информация проходит машинную обработку с помощью специализированного прикладного программного обеспечения.

Режимная информация

Режимная информация представляет собой верифицированную, сформированную из оперативных данных информацию, имеющую огромное значение для внешних потребителей.

В настоящее время вся режимная информация поступает в ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД» по электронной почте от 23 управлений Гидрометеорологической службы (УГМС) в виде пары файлов:

- файл с данными в формате ЯОД за месяц по всем станциям/постам УГМС;
- файл справки.

К режимным данным относится следующая информация:

- режимная информация метеорологических станций и постов;
- режимная информация гидрологических постов;
- режимная информация прибрежных станций.

Специализированные информационные ресурсы

Кроме приёма потока режимной и оперативной информации в фонд данных ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД» принимается, формируется и хранится ряд специализированных информационных ресурсов:

- **Метеорологический ежемесячник часть 1** – формируем в ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД»;

- **Метеорологический ежемесячник часть 2** – поступает по электронной почте каждый месяц от 23 УГМС, формируется по технологии «Персона»;

- **Агрометеорологический ежегодник** – формируем в ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД»;

- **МДС** (многолетние данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши) – поступает по почте (нерегулярно);

- **ЕДС** (ежегодные данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши) – часть приходит по электронной почте, часть в бумажном виде;

- **Бюллетень температурного режима БТР** – формируется из телеграмм «Климат» каждый месяц и раз в квартал;
- **Бумажные документы** (ежегодники, метеорологические ежемесячники, бюллетени и т. д.) – поступают от УГМС и НИУ, инвентаризируются, принимаются на постоянное хранение в фонд данных на бумажных носителях, после чего проходят все этапы технологии сканирования;
- **Данные Лицензиатов НИУ и УГМС на электронных носителях (CD, DVD)** – принимаются в фонд без обработки.

Однако в текущей технологической схеме отсутствуют поисковая система и формализация информационных ресурсов для оперативного доступа к информации ЕГФД. Информация хранится в каталожной древовидной структуре, причём имена каталогов представлены в виде служебных сокращений и аббревиатур, что значительно увеличивает время поиска определённого объекта хранения ЕГФД. К тому же текущее состояние информации о полноте, качестве и целостности хранимых в ЕГФД объектах хранения, в том числе структурированных ЯОД-файлах, можно определить как неудовлетворительное.

На сегодняшний день не существует систематически пополняемой достоверной базы данных о содержимом каждого файла ЯОД-архивов ЕГФД, размещённых на электронных носителях во ВНИИГМИ-МЦД, а также отсутствует система контроля целостности хранимых файлов и файловых структур. Поэтому для понимания о возможных трудностях, с которыми предстоит столкнуться при выполнении запроса на предоставление данных потребителям, работая с конкретным файлом, необходимо составить базу метаописаний всех единиц хранения данных архивной части ЕГФД, с помощью которой можно будет идентифицировать каждый объект хранения и получать актуальную информацию о его внутренних изменениях.

Очевидно, что для успешной реализации заявленной технологии в первую очередь необходимо разработать качественную модель метаописания объектов хранения предметной области. Полученная модель описания в дальнейшем должна лечь в основу автоматизированной технологии долговременного хранения и предоставления гидрометеорологической информации.

2. Что такое метаописание?

Метаданные – описательная информация о структуре и смысле данных, а также приложений и процессов, которые манипулируют данными. Метаданные раскрывают сведения о признаках и свойствах, характеризующих какие-либо сущности, позволяющие автоматически искать и управлять ими в больших информационных потоках.

Под метаописанием в рамках данной работы с учётом особенностей видов хранения подразумевается информация о документе как единице хранения, общая информация о времени измерений и платформе наблюдений, на которой они были произведены, а также информация о разного рода ошибках, пропусках и неточностях в этих измерениях с указанием того, где они находятся в файле. Отдельно на основе информации об ошибках будет формироваться некоторая статистическая информация о состоянии файла.

Общая схема метаописания включает четыре блока информации о файле:

- Характеристики файла – описание файла как единицы хранения, включающее его название, даты создания и изменения, размер, хэш и прочую подобную информацию;
- Временные параметры – даты начала и окончания наблюдений, хранящихся в файле, а также количество сроков наблюдения;
- Характеристики платформы – информация о платформе или платформах наблюдения, представленных в данном файле;
- Информация об ошибках – информация о каждой конкретной ошибке/искажении в файле, её тип, где она расположена и как её искать.

3. Функциональная структура системы формирования и хранения метаописаний (СФХМ)

В общем виде структуру первой очереди системы хранения и формирования метаописаний электронных данных наблюдений можно разделить на две подсистемы (рис. 1):

- Формирование метаописания;
- Хранение и предоставление доступа к существующим метаописаниям.



Рис. 1. Функциональная схема СФХМ

Также в будущем можно будет отдельно выделить подсистему формирования списков файлов для создания к ним метаописаний или же актуализацию метаописаний при изменении исходных файлов. Выделенные же подсистемы, в свою очередь, можно разбить на более мелкие подсистемы. Формирование метаописания, а также актуализация уже существующего в случае изменения исходного файла проводится в несколько этапов:

- Формирование информации о файле как единице хранения – на этом этапе подразумевается сбор такой информации о файле, как полная директория хранения, даты создания и последнего изменения, хэш, дисциплина ресурса и ссылка на ЯОД-описание данного файла;

- Выборка временных параметров – подразумевается выборка из файла информации о том, когда были произведены измерения (год, месяц, день, срок);
- Выборка информации о платформе наблюдения – выборка из файла информации о виде платформы наблюдения, её наименовании, синоптический и координатный индексы и факт ошибки в этих данных;
- Выборка информации об ошибках – получение из файла информации о том, в каких данных находится данная ошибка (временные параметры, информация о платформе наблюдения или непосредственно измерения), какого рода это нарушение, имя признака/атрибута, в котором произошло нарушение, имена записи и группы, где оно находится, координата атрибута в байтах от начала файла, формат хранения и объём в байтах;
- Формирование метаописания файла – вся собранная информация компонуется в таблицах реляционной базы данных и записывается в кортеж.

Существуют разные виды единиц хранения, и система создаётся максимально универсальной, чтобы метаописание формировалось для каждого вида, однако наиболее полным оно будет для электронных файлов формата ЯОД, формируя их карту, на которой отмечены все ошибки, информация о них и их координаты в файле. Под ошибками подразумеваются отсутствие измерения, срока наблюдений, суточных наблюдений, неудовлетворительный признак качества, искажение данных и неоднородности (список допускает внесение изменений).

После того, как метаописание будет сформировано, помимо его хранения, система должна предоставлять некоторый функционал для работы с полученной базой. На данном этапе этот функционал подразумевает:

- Доступ к карте файла, упомянутой выше;
- Ведение журнала изменения файлов данных и их метаописаний – когда было создано, а также когда, кем и в связи с чем было изменено;
- Предоставление пользователю некоторого набора типовых запросов к базе данных метаописаний;

- Инструмент формирования индивидуального пользовательского запроса.

4. Концептуальная модель базы данных

Если же говорить о конкретной информации, которая будет храниться в метаописании, то перечисленные выше блоки можно описать следующим образом:

Характеристики файла

- В файловой системе
 - Имя файла;
 - Дата создания файла;
 - Дата последнего изменения файла;
 - Полная директория хранения;
 - Хэш;
 - Дисциплина ресурса;
 - Ссылка на ЯОД-описание.
- В системе контроля и восстановления целостности (СКВЦ)
 - Полная директория файла в СКВЦ;
 - Размер файла;
 - Дата последней модификации файла;
 - Номер узла;
 - Хэш в СКВЦ.

Временные параметры

- Дата начала наблюдений;
- Дата окончания наблюдений.

Характеристика наблюдательной платформы

- Вид платформы;
- Наименование платформы;
- Синоптический индекс платформы;
- Координатный индекс платформы;
- Наличие ошибки в характеристиках платформы.

Описание ошибок

- Идентификатор того, к каким данным относится ошибка (временные параметры, характеристики платформы или измерения);
- Вид нарушения;
- Имя записи;
- Имя группы;
- Имя признака/атрибута;
- Координата в файле (в байтах от начала файла);
- Формат данных (символьный/бинарный);
- Объем в байтах;
- Признак качества.

Физически метаописания планируется хранить в реляционной базе данных (PostgreSQL). На данный момент её предполагаемая структура выглядит таким образом (рис. 2).

Данный проект базы данных имеет четыре содержательных таблицы (характеристики файла, временные параметры, характеристики наблюдательной платформы, описание ошибок) и три справочных (дисциплина ресурса, вид платформы, виды ошибок). Структура получается древовидной: основная таблица «характеристики файла» хранит информацию о файле с данными как единице хранения. С ней в зависимости от типа файла связаны либо один, либо несколько кортежей таблицы «характеристики наблюдательной платформы». Далее, с каждым кортежем, т.е. с каждой наблюдательной платформой внутри каждого файла, связан набор кортежей в таблице «Описание ошибок». Таблица «временные параметры» стоит несколько в стороне от описанного выше, т.к. информация, хранящаяся в ней, достаточно важная, чтобы внести её в базу данных метаописаний, однако тесной связи с вышеописанным не имеет.

5. Рабочий макет

На данный момент уже существует рабочий макет системы формирования и хранения метаописаний. В данной версии пользователь должен передать разработанной системе на вход

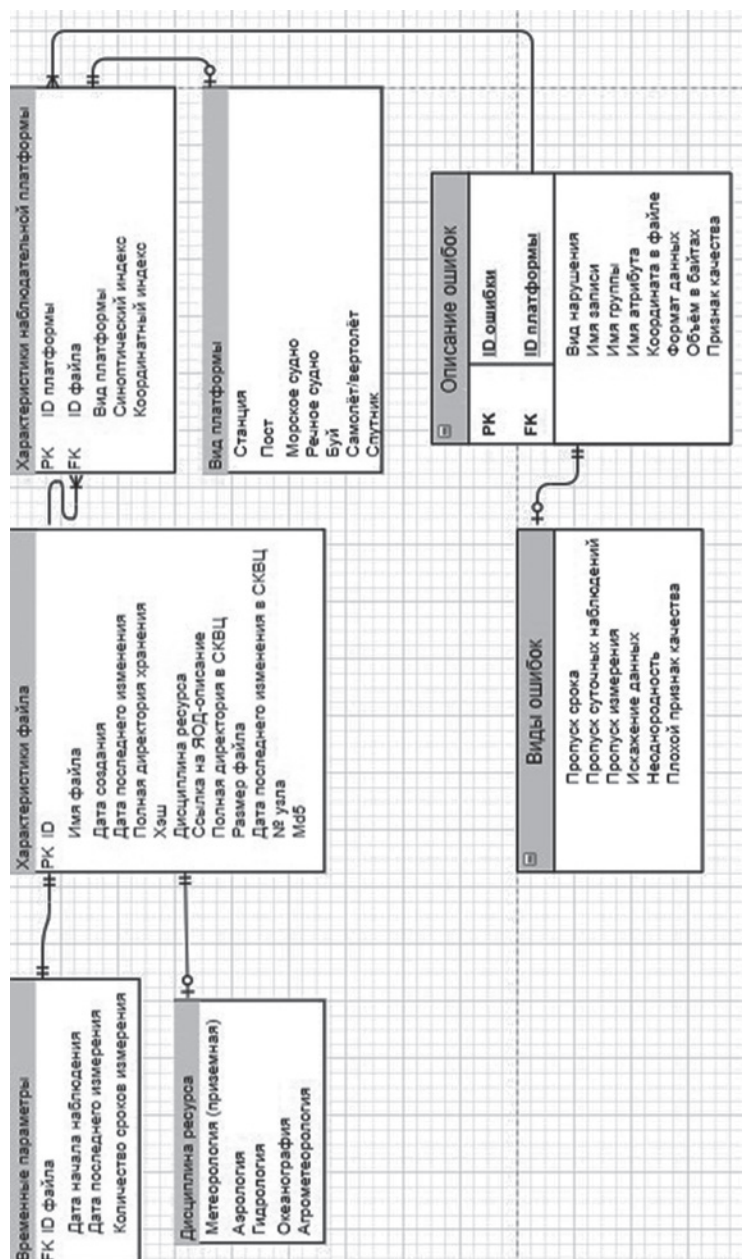


Рис. 2. Проект реляционной базы данных

файл с данными, его ЯОД-описание, а также указать дисциплину данных в файле, тип наблюдательной платформы, с которой производились измерения, и являются ли данные в файле символьными или бинарными, после чего производятся формирование метаописания и его загрузка в базу данных.

Для получения информации из базы данных требуется либо выбрать один из уже описанных файлов, чтобы получить общую информацию о количестве в нём ошибок всего и каждого типа отдельно, или же выбрать пункт выбора такой же общей статистики, но в целом по базе данных.

Формирование метаописания проходит поступательно в три этапа. Сначала формируется кортеж для таблицы, хранящей характеристики наблюдательной платформы. Далее, происходит выборка из файла информации о наблюдательной платформе и временных параметрах, которая происходит с помощью внешней библиотеки для поиска и выборки данных из файлов формата ЯОД. При этом в зависимости от выбора типа данных в файле выбирается один из двух предварительно созданных запросов, так как специфика символьных и бинарных файлов отличается.

Последним же этапом является формирование набора кортежей для таблицы, хранящей ошибки. Для этого программа полностью проходит файл в соответствии с его метаописанием и проверяет каждый атрибут на то, отсутствует ли в нём значение, удовлетворяет ли признак качества при его наличии необходимым требованиям, а также имеет ли место пропуск целого срока наблюдений. После этих трёх этапов метаописание считается полностью сформированным и загруженным в базу данных.

Получение информации из базы данных на данный момент реализовано в двух видах: общая информация об ошибках по одному файлу и общая информация по всей базе данных. Информация выводится на экран.

Визуальный интерфейс разделён на две вкладки, предоставляющие доступ к основным функциям системы, а именно формированию метаописания и получению информации из базы. Для формирования метаописания (рис. 3) пользователь должен выбрать файл, который необходимо описать, и ЯОД-описание

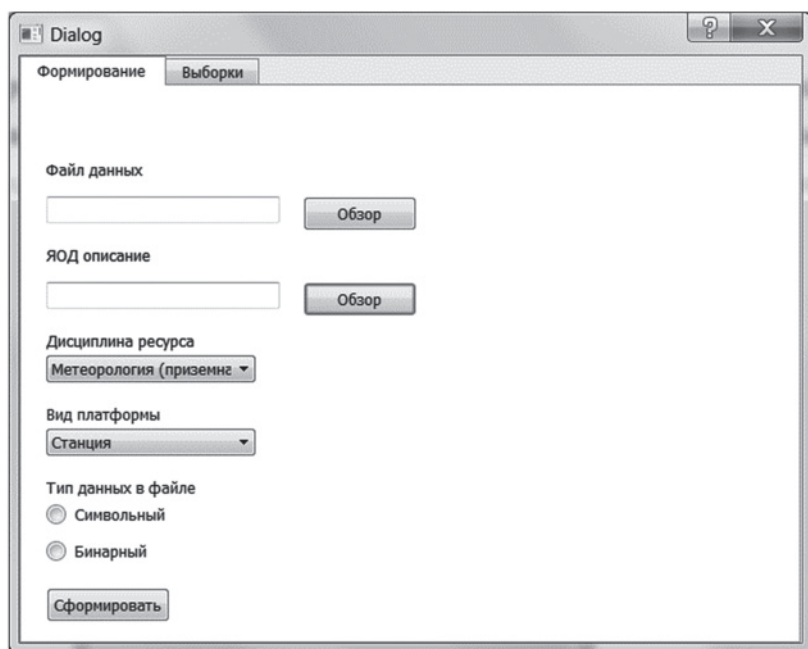


Рис. 3. GUI (формирование метаописания)

к нему. Осуществляется это через стандартный проводник по нажатию клавиш «Обзор». Выпадающие списки с возможными дисциплинами ресурса и видом платформы заполняются значениями из соответствующих словарных таблиц базы данных. При выборе типа данных в файле предусмотрено, что не может быть выбрано сразу два типа. Только после выбора всех необходимых элементов по нажатию кнопки «Сформировать» начнётся процесс формирования метаописания.

Для получения информации из базы данных (рис. 4) есть вариант получения общей информации по всей базе, нажав кнопку «Общая информация». Чтобы выбрать информацию по конкретному файлу, необходимо выбрать в выпадающем списке нужный, после чего нажать кнопку «Получить информацию». Этот выпадающий список заполняется из таблицы базы данных, хранящей информацию о единице хранения, а также автоматически

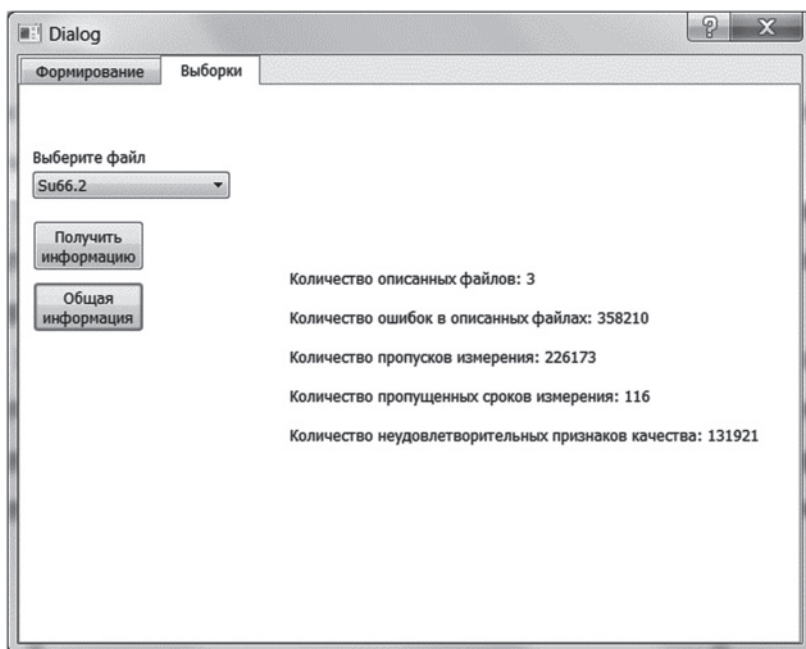


Рис. 4. GUI (получение информации из БД)

обновляется при переключении на данную вкладку на случай, если в процессе работы нужно будет сформировать новое метаописание, после чего получить по нему информацию.

Заключение

В процессе перевода (в том числе неоднократного) файлов с данными измерений с устаревшего носителя на более современный не проводился контроль за ошибками в содержании этих файлов при переносе. В связи с этим сейчас никто не знает точного положения дел относительно полноты и адекватности данных, хранящихся в этих файлах. Благодаря же системе формирования и хранения метаописаний, концепция которой была предложена в данной статье и рабочий макет которой был создан, пользователи смогут увидеть, в каком состоянии находятся файлы, и получить информацию об их содержании до того, как

начнут непосредственно работать с ним, то есть возможность получить некоторую предварительно сформированную статистическую информацию об ошибках и неточностях в каждом конкретном файле, сформировать собственный запрос к базе с целью получить более конкретную информацию. Кроме того, она может предоставить возможность составления аннотированных каталогов единиц хранения и делать запросы о конкретных местоположениях файлов по запрашиваемым данным. В общем, предложенная система предполагается к использованию для контроля состояния единиц хранения ЕГФД.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ведение ЕГФД, архивация данных, обслуживание данными и информацией ЕГФД. Сведения о составе Госфонда Росгидромета [электронный ресурс]. Режим доступа: <http://meteo.ru/egfd/142-about-egfd>.
2. Шаймарданов В. М., Долгих С. Г. Создание технологии управления данными в автоматизированной архивной системе // Труды Главной геофизической обсерватории им. А. И. Воейкова. 2014. Вып. 572. С. 162–174.

УДК 551.501 : 629.7 : 004

ДИНАМИКА РОСТА ЭКОНОМИЧЕСКОГО ЭФФЕКТА СПЕЦИАЛИЗИРОВАННОГО ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ АВИАЦИИ

***Л. Н. Воробьёва^{1*}, А. А. Коршунов², А. Ю. Рыбанова¹,
А. А. Фокичева³, О. И. Шевченко¹***

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

² г. Обнинск; ³ ООО «НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ ЦЕНТР
«МЕТЕОЭКСПЕРТ», г. Москва

Введение

Одной из основных задач Росгидромета является обеспечение широкого круга пользователей гидрометеорологическими данными, прогнозами и информационной продукцией в целях оптимизации производственной деятельности, проведения научно-исследовательских работ, её использования в педагогической практике и обеспечения жизнедеятельности населения.

Авиация осуществляет функции пассажирского и грузового транспорта в воздушном пространстве и обладает высокой чувствительностью к текущим и ожидаемым метеорологическим условиям. Целью метеорологического обслуживания воздушного транспорта является обеспечение безопасности, регулярности и экономичности полётов. Интенсивность воздушного движения удваивается каждые 15 лет, конкуренция и перегруженность растут, а требования к аэронавигации постоянно эволюционируют. Поскольку обеспечение безопасности в небе является задачей первостепенной важности, растёт спрос на расширенный спектр национальных и региональных метеорологических видов обеспечения. Воздушные суда подвержены влиянию условий погоды как во время стоянки, взлёта и посадки, так и во время полёта по маршруту. Три четверти значительных задержек воздушного движения в регионах с высокой плотностью движения связаны

с условиями погоды, такими как конвекция, турбулентность, обледенение, туман, ветер, снег и т. д. Почти половина авиационных происшествий происходит во время неблагоприятных условий погоды и возникновения опасных гидрометеорологических явлений. Также возрастают опасения по поводу шума, загрязнения воздуха и значительного углеродного следа, оставляемого авиацией.

Метеорологическое обслуживание авиации основано на цепочке создания полезности (или другими словами ценности) в результате осуществления интегрированного процесса наблюдения, моделирования, прогнозирования и предоставления информации пользователям, что позволяет создать чистые экономические выгоды для них, получающих от организаций Росгидромета информационный ресурс. Метеорологическое обеспечение является ярким примером «экономической ценности информации», что в современных условиях развития информационных технологий представляет особый интерес. Определение ценности метеорологического обеспечения основано на том, как потенциальные пользователи получают и интерпретируют информацию и каким образом данная информация влияет на их решения и действия или изменяет их. Последствия этих решений или действий сравниваются с тем, что имело бы место в случае отсутствия подобного информационного обеспечения. Таким образом, при оценке выгод крайне важно понимание соответствующих компонентов цепочки создания ценности в контексте определённого оцениваемого обеспечения.

Для определения совокупной экономической ценности авиаметеорологического обеспечения может быть использована концепция тройного критерия, при которой в расчёт принимаются не только финансовые показатели, но также социальные и экологические результаты. Концепция выведена в 1994 году американским экономистом и предпринимателем Джоном Элкингтоном для описания тройного результата и цели устойчивого развития компании. При таком подходе учитывается, что выгоды от информационного обеспечения выходят за пределы только финансовых аспектов и охватывают интересы общества в целом, поэтому устанавливаются

- **финансовые выгоды** от предоставления обслуживания (повышение доходов, снижение издержек, обусловленных погодно-климатическими условиями),

- **выгоды, связанные с окружающей средой,**
- **социальные выгоды.**

Социальной выгодой предоставления авиаметеорологического обеспечения является обеспечение безопасности воздушных перевозок. Обеспечение **общественной безопасности** является одним из приоритетных направлений государственной политики в сфере **национальной безопасности** Российской Федерации. Масштаб социальной значимости предоставления авиаметеорологического обслуживания характеризуется показателями авиационных пассажирских перевозок. Отметим, что в настоящее время отмечается значительное сокращение пассажирооборота на международных воздушных линиях, обусловленное пандемией COVID-19. На глобальном уровне эксперты ожидают изменение структуры авиационных перевозок и восстановление их объёма в 2023–2024 годах, что связано с возможным сроком окончания пандемии COVID-19 и сценариями развития мировой экономики [11]. По оценкам Росавиации [12] тренд на восстановление авиаперевозок на внутренних авиалиниях укрепитя, и предположительно в 2021–2022 годах показатели достигнут уровня 2019 года, чему будут способствовать увеличение спроса пассажиров на внутренний туризм, а также реализация Государственной программы по развитию транспортной инфраструктуры (в части развития авиации и развития региональных авиаперевозок). Безусловно, решение задачи улучшения информационного обеспечения в целях повышения безопасности полётов невозможно без технической и технологической модернизации авиационных метеорологических подразделений, обновления автоматизированных аэродромных метеорологических измерительных систем (АМИС); увеличения числа аэродромов РФ, охваченных данными радиолокационных наблюдений; повышения качества кодирования метеорологической информации, а также внедрения системы дистанционной переподготовки и повышения квалификации специалистов Росгидромета. Осуществление таких мероприятий способствует повышению качества авиаметеорологической информации и авиаметеорологических услуг, предоставляемых организациями Росгидромета, обеспечивает предотвращение гибели людей

(а также травм, заболеваний в результате авиационных происшествий), вносит значительный вклад в ежедневное обеспечение безопасности, комфорта, удобства граждан в целом, в том числе во время путешествий и поездок. Кроме того, информация, знания и данные, получаемые при авиаметеорологическом обеспечении полётов воздушных судов, имеют ценность для научного сообщества.

Предоставление авиаметеорологического обслуживания также обеспечивает выгоды, имеющие отношение к *окружающей среде*:

- долгосрочный мониторинг основных индикаторов состояния окружающей среды;
- минимизация выбросов токсичных и иного рода загрязняющих веществ;
- управление качеством местной окружающей среды;
- поддержка в решении важнейших глобальных проблем окружающей среды.

Улучшение авиаметеорологического обслуживания, в том числе повышение успешности авиационных прогнозов погоды, внесёт вклад в сокращение углеродного следа, оставляемого авиацией (согласно оценкам Межправительственной группы экспертов по изменению климата (IPCC), авиация поставляет примерно 2 % мировых выбросов CO₂) [14], и будет содействовать снижению эмиссии загрязняющих веществ в зонах аэропортов. Экологические результаты предоставления авиаметеорологического обслуживания пользователям согласуются с Целями в области устойчивого развития (*Sustainable Development Goals*) и способствуют реализации Российской Федерацией Парижского соглашения 2015 года в соответствии с Указом Президента Российской Федерации от 04.11.2020 № 666 «О сокращении выбросов парниковых газов». Отметим, что официальные данные по окружающей среде, представленные на сайте Федеральной службы государственной статистики (<https://rosstat.gov.ru/>), не достаточно детализированы для проведения количественного анализа экологической ценности метеорологического обслуживания гражданской и экспериментальной авиации.

Бенефициаром авиаметеорологического обеспечения является авиационная транспортная отрасль. Авиация как отрасль

экономики генерирует экономический рост, создаёт рабочие места и способствует функционированию торговли и туризма. По оценкам межотраслевой компании Air Transport Action Group (ATAG) [13] авиационная отрасль обеспечивает создание 3,6 % мирового ВВП. Вклад, вносимый гражданской авиацией в экономику России, можно оценить на примере оценки вклада деятельности аэропортов Московского аэроузла (МАУ) в ВВП России в 2017 году. Совокупный вклад аэропортов МАУ в ВВП России по итогам 2017 года составляет около 555 млрд рублей [10].

Совершенствование метеорологического обеспечения гражданской и экспериментальной авиации вносит положительный вклад в значения экономических показателей отрасли. В общем случае финансовые выгоды авиаметеорологического обслуживания могут быть оценены по увеличению доходов, достигаемых при практической реализации его рекомендаций, направленных на повышение безопасности и регулярности полётов, а также выбор оптимальных (по протяжённости, затратам времени, расходу топлива и т. д.) маршрутов полётов.

В настоящее время затруднительно напрямую оценить на макроэкономическом уровне влияние гидрометеорологических факторов на результативность функционирования транспортной отрасли. Согласно публикации ВМО № 1153, определение ценности метеорологического обслуживания основано на том, как потенциальные пользователи (отрасли экономики) получают и интерпретируют информацию о погоде и климате и каким образом данная информация влияет на их решения и действия или изменяет их. Последствия этих решений или действий сравниваются с тем, что имело бы место в случае отсутствия подобного обслуживания.

Росгидромет ежегодно публикует в открытом доступе оценку экономического эффекта¹ от использования гидрометеорологической информации по видам экономической деятельности. Экономический эффект (ЭЭ) от предоставления метеорологического

¹ Под экономическим эффектом понимается экономический результат или прирост между первоначальным и полученным итогом в результате внедрения интенсивных технологий, организационно-экономических мероприятий и т. п.

обслуживания характеризует выгоды хозяйствующего субъекта от использования обслуживания за вычетом затрат на разработку метеорологической информации. Оценка ЭЭ связана с производством гидрометеорологической информации на бюджетные средства – затраты относятся к области деятельности поставщика гидрометеорологической информации, выгоды – к области деятельности пользователей метеорологической продукции и услуг.

Аэропорты являются самостоятельными хозяйствующими субъектами, для которых использование авиаметеорологической информации, предоставляемой учреждениями Росгидромета, не является обязательным на законодательном уровне. Вместе с тем деятельность любого аэропорта является погодозависимой – сложные метеорологические условия (сильный ветер, снегопад, сильный дождь, замерзающие осадки и др.) влияют на эксплуатацию взлётно-посадочной полосы, рулёжных полос, других плоскостных сооружений на территории аэродрома, а также воздушных судов, находящихся на аэродроме. В соответствии с приказом Минтранса России от 25 сентября 2015 г. № 286 аэропорты обязаны организовать наблюдение за явлениями погоды, влияющими на безопасность полётов, и будучи заинтересованными в грамотной безопасной и коммерчески эффективной эксплуатации аэродрома многие аэропорты заключили договоры с учреждениями Росгидромета на специализированное авиаметеорологическое обеспечение. Перечень получаемой информации и её стоимость могут существенно отличаться для разных аэропортов и определяются погодно-климатическими и физико-географическими условиями аэропорта, классом (категорией), полученной после сертификации аэродрома.

Основные выгоды метеорологического обеспечения авиации заключаются в обеспечении безопасности полёта и сокращении издержек авиапредприятий. Очевидно, что в долгосрочном отраслевом планировании должны учитываться климатические изменения, поскольку они способны повлиять на спрос и логистику воздушных перевозок.

Значение экономической эффективности усовершенствованного метеорологического обеспечения авиации, достигаемого за счёт

совершенствования этапов цепочки создания ценности, может быть оценено на основании рекомендаций ВМО (ВМО № 1153) как соотношение затрат/выгод не менее чем 1 : 5. Улучшение прогнозирования и крупномасштабная модернизация могут сократить связанные с погодой экономические потери на 8,5 %. Вместе с тем оценка качества специализированного обеспечения авиаметеорологических подразделений показала, что 1 рубль, затраченный на организацию обслуживания в системе Росгидромета, позволяет авиакомпаниям сберечь 205 рублей за счёт использования информации об условиях погоды [5].

В настоящей работе представлен анализ сведений об экономическом эффекте информационной деятельности организаций Росгидромета по обеспечению пользователей авиационной транспортной отрасли. В соответствии с Общероссийским классификатором видов экономической деятельности 2007 года экономический эффект определён для вида деятельности «Транспорт и связь», в которую авиация входит как самостоятельная отрасль экономики, при этом учитывается воздействие опасных гидрометеорологических явлений и неблагоприятных условий погоды², нанёсших социальные потери и экономические ущербы.

Экономический эффект информационной деятельности организаций Росгидромета при обеспечении авиации

Степень влияния условий погоды и климатических условий на социально-экономическую систему и различные отрасли экономики, обусловленных проявлением опасных гидрометеорологических явлений (ОЯ) и неблагоприятных условий погоды (НУП), определение которых дано в [2, 7], различается в зависимости от активности и характера экономической и производственной деятельности на территории субъектов и регионов России. Как следствие этого повторяемость (частота) воздействия ОЯ и НУП, наносящих социальные потери для населения и экономические ущербы, по отраслям экономики также различается.

² В настоящей работе под неблагоприятными условиями погоды рассматриваются метеорологические условия погоды.

Это, в частности, видно из рисунка 1, на котором представлено число случаев воздействия ОЯ и НУП на различные отрасли в 1991–2019 годах.

Приведённые на рисунке 1 статистические данные получены на основе базы данных воздействия ОЯ и НУП на социально-экономическую систему, которая является официальной базой данных Росгидромета, создана по инициативе сотрудников ВНИИГМИ-МЦД и ведётся в соответствии с методическими документами Росгидромета начиная с 1997 года (см., например, [1]). Структура и содержание базы данных определены в руководящих документах и методических указаниях Росгидромета (см., например, [6] и другие более ранние документы) и приведены в [7]. Именно поэтому статистические данные по воздействию ОЯ и НУП на социально-экономическую систему (в том числе авиацию) за разные периоды публиковались многократно, при этом использовались понятия, которые сформулированы в руководящих документах, например в [3, 7], и уточнены в [8].

Статистические расчёты по информации из базы данных показывают, что общее число случаев воздействия ОЯ и НУП на социально-экономическую систему за период 2008–2017 годов возросло по сравнению с 1998–2007 годами с 2 912 до 4 011. Это означает, что повторяемость числа случаев воздействия увеличилась в среднем за год почти в 1,38 раза – с 291 до 401. Аналогичную тенденцию можно наблюдать для авиации. Число случаев опасных и неблагоприятных явлений, нанёсших социальные потери и экономический ущерб авиации, возрос за рассматриваемые периоды со 100 до 164. В результате авиация по этой статистике вышла на пятое место [4].

Информация, в том числе гидрометеорологическая, приобретает ценность лишь в случае её включения в процесс принятия решений. Сведения об ожидаемых и фактических условиях погоды, предоставляемые пользователям, позволяют им улучшать результаты финансово-хозяйственной деятельности – получать экономический эффект от метеорологического обслуживания. Росгидрометом проводятся регулярные работы по определению экономического эффекта от использования гидрометеорологической



Рис. 1. Распределение числа случаев ОЯ и НУП, нанёсших социально-экономические потери в 1991–2019 гг. различным отраслям экономики и населению

информации (особенно прогнозов погоды) в различных отраслях экономики, в том числе и в авиации. Эти данные получаются как на основании сведений самих пользователей информационной продукции организаций Росгидромета, так и расчётными методами.

В таблице 1 приведены данные по экономическому эффекту гидрометеорологического обеспечения составляющих вида экономической деятельности «Транспорт и связь» за период с 2009 по 2019 год, которые поступают во ВНИИГМИ-МЦД

из территориальных управлений по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды Росгидромета (УГМС).

Таблица 1

**Экономический эффект информационного обеспечения отрасли
«Транспорт и связь» по годам (млн руб.)**

Вид экономической деятельности	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Деятельность железнодорожного транспорта	411	699	421	543	485	506	508	486	707	503	575
Деятельность прочего сухопутного транспорта	811	805	1352	1435	1462	1406	2097	7151	6263	5982	9206
Транспортирование по трубопроводам	379	459	415	520	564	483	502	450	554	559	522
Деятельность морского транспорта	1377	1330	1560	1786	1784	1793	2584	2230	2020	2225	2195
Деятельность внутреннего водного транспорта	1270	788	1011	1014	713	1072	813	746	701	688	725
Деятельность воздушного транспорта	3487	3339	3741	3517	3566	3745	4401	4944	5334	5626	5207
Вспомогательная и дополнительная транспортная деятельность	1301	1114	1079	1144	1059	1185	1219	1190	1999	1005	1283
Связь	109	185	156	144	237	269	348	2344	1999	2001	3058

Следует отметить, что данные по ЭЭ от метеообеспечения гражданской авиации неполные, так как ФГБУ «Авиаметтелеком Росгидромета» и ФГБУ «ГАМЦ Росгидромета» не предоставляют ВНИИГМИ-МЦД сведения по экономическому эффекту авиаметеорологического обеспечения. Эти учреждения осуществляют метеообеспечение 40 % внутренних и 70 % международных воздушных перевозок, а также осуществляют метеорологическое обслуживание гражданской и экспериментальной авиации в рамках единого пространства в интересах авиационных пользователей. Так, например, ФГБУ «ГАМЦ Росгидромета» обеспечивает метеоданными все аэропорты МАУ (территория деятельности ФГБУ «Центральное УГМС»).

Необходимо отметить, что значения ЭЭ приведены в ценах текущего (каждого) года. Для дальнейших экономических исследований

необходимо применить индекс-дефлятор – коэффициент, позволяющий переводить экономические показатели, рассчитанные в ценах текущего периода, в постоянные цены (цены какого-либо текущего периода, принятого в качестве базисного). В частности, в [9] приведена таблица индекса-дефлятора для пересчёта экономического эффекта в цены 2009 и 2018 годов, полученная по данным Росстата (http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_main/rosstat/ru/statistics/accounts/#). В настоящей статье индекс-дефлятор пересчитан в цены 2009 и 2019 годов (табл. 2).

Таблица 2

Индекс-дефлятор по годам в базовых ценах 2009 и 2019 годов

Индекс-дефлятор	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Расчёт значений в ценах 2009 г.	1,0	1,14	1,32	1,44	1,51	1,65	1,78	1,83	1,92	2,11	2,19
Расчёт значений в ценах 2019 г.	0,45	0,52	0,61	0,66	0,69	0,75	0,81	0,83	0,87	0,96	1,0

Целесообразно также отметить, что сбор и анализ ЭЭ из УГМС проводится в соответствии с Общероссийским классификатором видов экономической деятельности (ОКВЭД), в рамках которого ранее были выделены такие виды деятельности, как «Транспорт и связь» – водный (морской и речной транспорт), воздушный, сухопутный (автотранспорт, железнодорожный транспорт, трубопроводный транспорт); сельское хозяйство, охота и лесное хозяйство; производство и распределение электроэнергии, газа и воды. В 2017 и 2019³ годах ОКВЭД был модифицирован.

Однако специалисты ВНИИГМИ-МЦД сохранили принятую ранее систему видов экономической деятельности, чтобы

³ Согласно ОКВЭД 2019, «Транспортировка и хранение» включает деятельность сухопутного и трубопроводного транспорта (перевозку пассажиров и грузов по автомобильным дорогам и железнодорожным путям), деятельность водного транспорта, деятельность воздушного и космического транспорта, деятельность по складированию и хранению, деятельность почтовой связи общего пользования.

сохранить однородность накапливаемых рядов по ЭЭ. Если следовать этим видам экономической деятельности, то за период с 1991 по 2019 год осуществилось 4 415 случаев воздействия ОЯ и НУП на «Транспорт и связь», 3 386 случаев – на сельское хозяйство и лесное хозяйство, а в сфере производства и распределения электроэнергии, газа и воды произошло 3 357 случаев воздействия. Таким образом, вид деятельности «Транспорт и связь» выходит на первое место по числу случаев воздействий опасной погоды. При ранжировании отраслей экономики по числу случаев воздействия связь занимает пятое место (501) после автотранспорта, авиация – седьмое (370), железнодорожный транспорт – одиннадцатое (240) и морской – четырнадцатое (163) (см. рис. 1).

Отметим, что суммарный экономический эффект за 2009–2019 годы составил: по транспорту и связи 125,5 млрд рублей, что составляет 36,5 % от общего ЭЭ за тот же период; по производству и распределению электроэнергии, газа и воды 117,1 млрд рублей (34 % от общего ЭЭ); по сельскому и лесному хозяйству 32,7 млрд рублей (9,5 % от общего ЭЭ). Рост экономического эффекта метеорологического обеспечения на фоне увеличения повторяемости ОЯ и НУП возможен только за счёт успешных прогнозов опасных условий погоды и принятия своевременных мер защиты.

Как видно из таблицы 1, суммарный экономический эффект по обеспечению авиации за период с 2009 по 2019 год составил 46,9 млрд рублей, что составляет 37,3 % от всей отрасли (транспорт и связь) и 13,7 % от общего ЭЭ (343,5 млрд рублей) за данный период.

Динамика роста ЭЭ в целом для вида экономической деятельности «Транспорт и связь» показана на рисунке 2.

На рисунке 3 показан рост ЭЭ за последние 11 лет как по всей транспортной отрасли в целом, так и ЭЭ по воздушному транспорту.

В целом, прослеживается тенденция роста ЭЭ по авиации, но наблюдаются изменения значений темпов прироста ЭЭ в 2011, 2015 и 2019 годах. Данные колебания могут быть обусловлены как экономическими и институциональными факторами (макро- и микроэкономическими процессами, происходящими

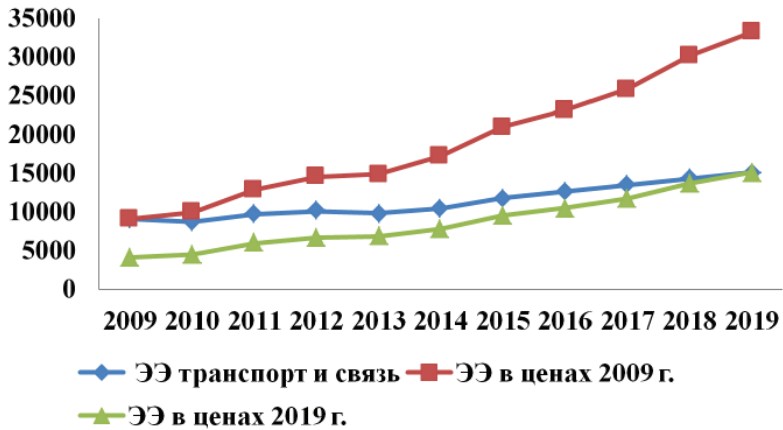


Рис. 2. Экономический эффект вида экономической деятельности «Транспорт и связь» в млн руб.

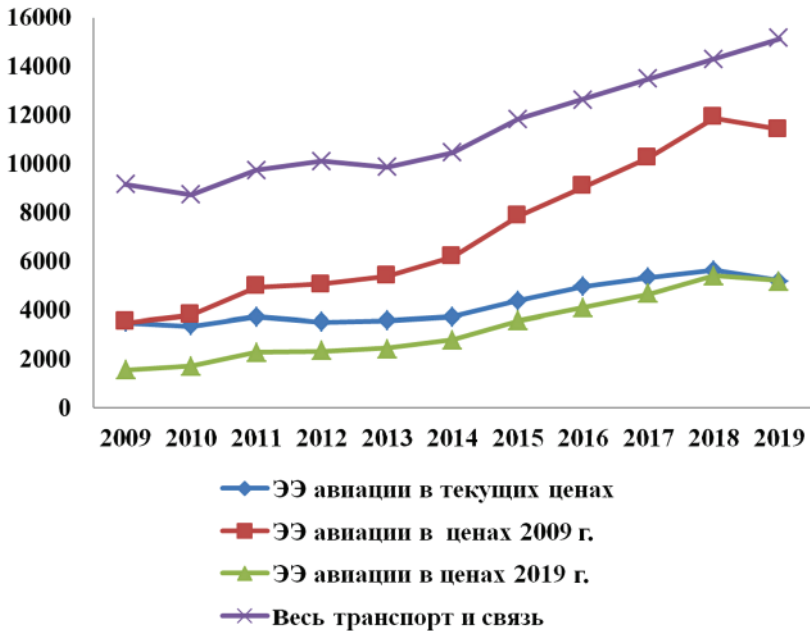


Рис. 3. Экономический эффект по отрасли «Воздушный транспорт и авиация» в млн руб.

в экономике, изменениями нормативной базы авиаметеорологического обеспечения и т. п.), так и природными или информационными факторами.

Заключение

На основе анализа количественных оценок воздействия опасных гидрометеорологических явлений и неблагоприятных условий погоды на отрасли экономики установлено, что вид экономической деятельности «Транспорт и связь» наиболее подвержен воздействию погодных условий, при этом значительная часть экономического эффекта транспортной отрасли (по данным УГМС) достигается за счёт предоставления метеорологического обслуживания предприятиям и организациям авиационного сектора.

Отметим, что необходимы дальнейшие исследования, направленные на построение эконометрических моделей для оценки выгод авиаметеорологического обеспечения, а также разработка единых подходов к определению ценности метеорологического обслуживания. Это требует более детального изучения факторов, влияющих на значения показателей экономической полезности использования гидрометеорологической информации в производственной деятельности авиации. Приведённые статистические данные могут быть полезны широкому кругу других специалистов в целях их научных исследований, педагогической и практической деятельности.

Необходимо подчеркнуть и важность сбора наиболее полной информации об экономическом эффекте от гидрометеообслуживания авиации, что необходимо для получения максимально объективных оценок этого показателя.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бедрицкий А. И., Коршунов А. А., Шаймарданов М. З. Опасные гидрометеорологические явления и их влияние на экономику России. Обнинск: Изд-во ВНИИГМИ-МЦД, ЛР № 040780. 2001. 36 с.
2. Коршунов А. А., Шаймарданов В. М., Шаймарданов М. З. Создание базы данных об опасных явлениях для климатических исследований и обслуживания // Учёные записки РГМУ. 2012. № 25. С. 79–85.

3. Коршунов А. А., Шаймарданов В. М., Шаймарданов М. З. Система накопления и обработки данных об опасных гидрометеорологических явлениях в России // Метеорология и гидрология. 2019. № 3. С. 86–92.
4. Коршунов А. А., Шаймарданов В. М., Шаймарданов М. З., Шамин С. И. Повторяемость опасных гидрометеорологических явлений, нанёсших социально-экономический ущерб в 1998–2017 гг. // Метеорология и гидрология. 2019. № 11. С. 13–19.
5. Петрова М. В., Хандожко Л. А. Оценка экономического эффекта и экономической эффективности авиационных прогнозов // Метеоспектр, 2006. № 2. С. 104–112.
6. Рекомендации по сбору, ведению и хранению сведений об опасных природных явлениях. Министерство природных ресурсов и экологии Российской Федерации. Росгидромет. 04 мая 2009 года.
7. Руководящий документ. РД 52.88.699–2008. Положение о порядке действий учреждений и организаций при угрозе возникновения и возникновении опасных природных явлений. М.: Росгидромет, 2008.
8. Рыбанова А. Ю., Фокичева А. А., Воробьёва Л. Н., Коршунов А. А. Динамика воздействий условий погоды и экономический эффект специализированного гидрометеорологического обеспечения автотранспортной системы // Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2019. Вып. 185. С. 204–221.
9. Рыбанова А. Ю., Воробьёва Л. Н., Фокичева А. А., Коршунов А. А. Анализ экономической ценности информационной деятельности Гидрометеорологической службы // Учёные записки РГГМУ. 2019. № 56. С. 38–49.
10. Фридлянд А. А., Кулешова Ю. Л. Методология оценки и расчёт экономического вклада Гражданской авиации в ВВП России на примере деятельности аэропортов Московского авиационного узла // Научный вестник ГосНИИ ГА. 2019. № 25. С. 41–51.
11. Электронный ресурс. Режим доступа https://www.icao.int/sustainability/Documents/COVID-19/ICAO_Coronavirus_Econ_Impact.pdf.
12. Электронный ресурс. Режим доступа <https://www.aviastat.ru/analytics/24-prognoz-razvitiya-mirovogo-rynka-aviaperevozok-na-sleduyushchie-5-let>.
13. Aviation: Benefits Beyond Borders (ABBB), 2018, Air Transport Action Group, Электронный ресурс. Режим доступа https://aviationbenefits.org/media/166344/abbb18_full-report_web.pdf.
14. Электронный ресурс. Режим доступа <https://www.ipcc.ch/report/ar5/wg3/>.

УДК 551.524

ОЦЕНКА РЕЗУЛЬТАТОВ ГОМОГЕНИЗАЦИИ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА ПО ДАННЫМ СТАНЦИЙ РОССИИ

А. Ф. Финаев, В. Н. Разуваев

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

Введение

Для правильной оценки изменения климата необходимы однородные данные метеорологических наблюдений. Такие данные должны отражать изменения только в атмосферной среде. Большие массивы информации, поступающие со станций, не обладают такими свойствами, так как существует множество сопутствующих помех. Причины нарушения однородности ряда могут быть плановыми (видимыми), например перемещение станции, смена модели прибора, изменение сроков наблюдения, перерывы в наблюдениях. Такие причины можно отследить по данным истории станции, если подробная информация существует, что бывает не всегда. Существуют и другие причины нарушения однородности ряда данных, которые невозможно выявить. К ним можно отнести нарушение защиты прибора от внешних воздействий, неправильную калибровку прибора, технические ошибки при записи и наблюдении (человеческий фактор), изменение окружающей среды (строительство зданий, рост растительности, появление или исчезновение водоёмов вблизи наблюдательной площадки, влияние транспорта и т. д.) и многие другие помехи.

Для пользователей в свободном доступе имеются данные температуры воздуха 518 станций метеорологической сети России, которые предоставил Всероссийский научно-исследовательский институт гидрометеорологической информации – Мировой центр данных (ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД») [1]. Этот массив данных проверен на качество и подготовлен для использования [2], однако он не является однородным. Причины неоднородности

неоднократно обсуждались сотрудниками института [2, 3]. Проблема состояла в отсутствии приемлемых методик для тестирования больших массивов данных и получения однородных рядов (выполнения процесса гомогенизации рядов). Эта проблема была решена для массива среднемесячной температуры воздуха [4]. В данной статье исследуются результаты, полученные при гомогенизации этих данных за весь период инструментальных наблюдений, и использование их для оценки тренда изменения температуры воздуха на территории России.

Данные и методы

Проблема однородности метеорологических данных давно находится в поле зрения исследователей. Это связано с большим разнообразием сопутствующих помех и их весовым влиянием на измеряемые характеристики. Многие методы научных групп [5], занятых решением проблемы однородности климатических рядов данных, были одобрены комиссией по климатологии при ВМО. В составе этой организации была создана целевая группа по гомогенизации (ТТ-НОМ) [6], в задачи которой входило выявление наиболее удобных и эффективных методов гомогенизации и контроля качества климатологических рядов. В результате работы ТТ-НОМ были выбраны десять пакетов программ для выполнения гомогенизации гидрометеорологических данных [7], различающиеся параметрами и вариантами использования. Наиболее оптимальным для получения однородных данных среднемесячной температуры воздуха оказался пакет RHTests [8]. Он работает в программной среде R и реализует несколько тестов обнаружения разрывов с учётом автокорреляций и расстояния от краёв ряда.

Для выполнения гомогенизации использовались данные 518 станций территории России, находящиеся в открытом доступе [1]. Исходная информация была представлена в виде средней температуры воздуха за каждый месяц всего периода наблюдений на станциях. Периоды наблюдений на каждой станции разные, и в них по различным причинам имеются перерывы. Для расчётов годовых характеристик использовались только те года, в течение

которых была доступна информация за все месяцы наблюдений (табл. 1, рис. 1).

Таблица 1

Количество полных лет наблюдения температуры воздуха на станциях

Временной интервал	Количество лет
Максимальный	262
Минимальный	30
Средний	88

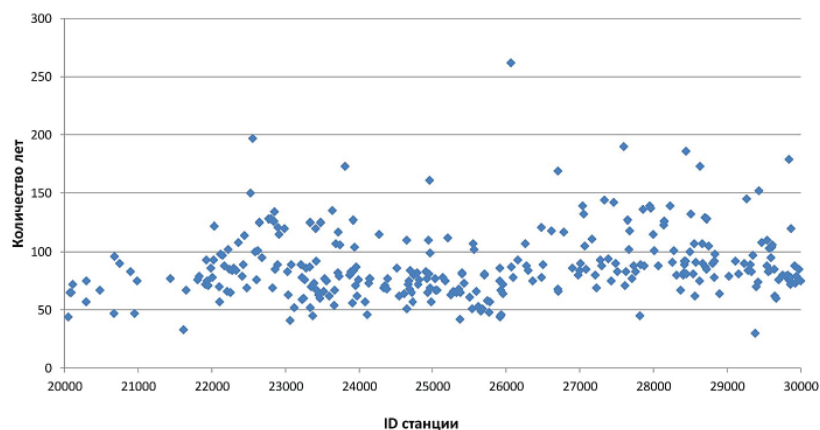


Рис. 1. Продолжительность наблюдений за температурой воздуха на различных станциях (ID станции – международный идентификационный код станции в системе ВМО)

Максимальная продолжительность наблюдений имеется для станции Санкт-Петербург, на которой первые наблюдения начали проводиться в 1743 году. Однако информация за все месяцы года имеется только с 1744 года. Данные наблюдений с продолжительностью 30 полных лет имеются только для одной станции Тасеево. В среднем по всем станциям продолжительность полных годовых наблюдений составляет 88 лет.

В разные периоды количество станций, проводивших наблюдения в течение всего года, менялось. Как видно на графике (рис. 2), основное увеличение количества наблюдательных пунктов произошло в XX веке.

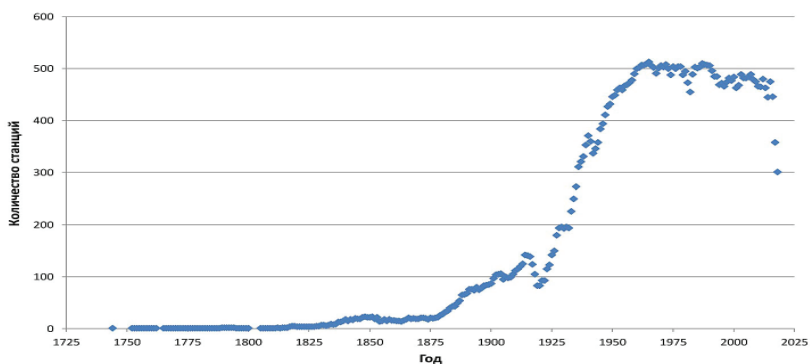


Рис. 2. Количество станций с наблюдением среднегодовой температуры воздуха в разные годы

В настоящем исследовании использовались данные за весь период наблюдений на каждой станции. Так как периоды наблюдений на станциях были разные, но ограниченные временными интервалами, указанными выше, то в дальнейшем будем говорить обо «всём периоде наблюдений», подразумевая временной период на каждой станции.

Результаты

Используя пакет RHTests, была выполнена гомогенизация массива данных среднемесячной температуры воздуха для 518 станций России [4]. В процессе такой работы были сформированы однородные ряды этой метеорологической характеристики за весь период наблюдений. В результате получены файлы с однородными данными за каждый месяц каждого года наблюдений для каждой станции.

Сравнение неоднородных и однородных данных по каждой станции показало, что отрицательные ошибки среднегодовой величины (T_y) выявлены на 180 станциях. Они меняются от $-0,01$ °C (метеостанция Восточная) до $-2,92$ °C (метеостанция Краснодар, Круглик). На 220 станциях ошибок T_y нет. Повышенные значения T_y отмечены на 118 станциях. Величины этих ошибок колеблются от $0,04$ до $1,34$ °C. Из рис. 3 видно, что ошибки с отрицательными значениями отмечаются в полярных и горных районах.

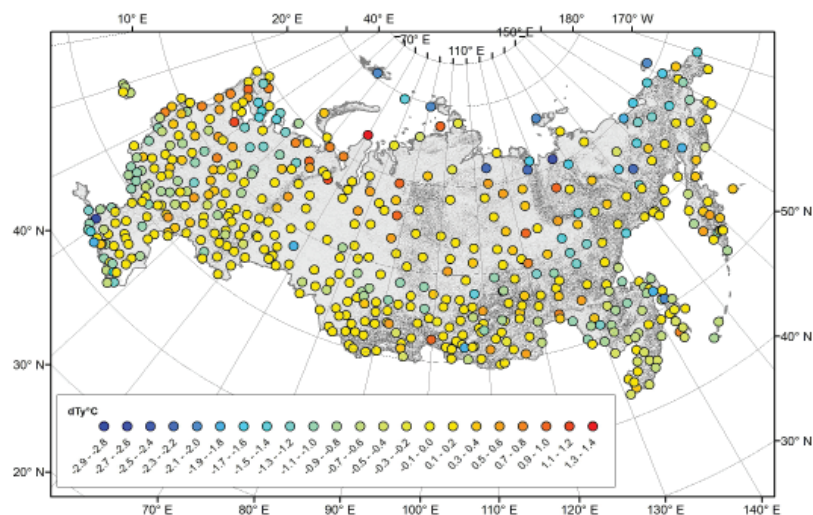


Рис. 3. Распределение ошибок в неоднородных данных по станциям

Следует отметить, что большие расстояния между станциями и их не равномерное распределение по территории (рис. 3) не позволили использовать вариант пакета RHTests для расчёта однородных рядов по эталонному ряду, что может выразиться в некоторой потере точности результата. Несмотря на это, 42,7 % станций имели однородные ряды и в коррекции не нуждались, а для 54,6 % станций коррекция была выполнена в автоматическом режиме. Только для 2,7 % станций потребовались коррекция в ручном режиме и повторный прогон расчётной программы [4].

Для оценки ошибок в целом по всей территории подсчитаны многолетние среднемесячные (T_{mean}) и среднегодовые (T_y) значения по всем станциям, а также экстремальные значения (T_{max} , T_{min}) из этих среднемесячных величин для всех станций по каждому месяцу (табл. 2). Полученные результаты показывают пределы изменений среднемесячной температуры воздуха на всей территории России за период инструментальных наблюдений. Анализ однородных данных в таблице (табл. 2) и на графике (рис. 4) показал, что в течение года экстремальные величины среднемесячной температуры воздуха на исследуемой территории

меняются от $-47,5$ до $+7,0$ °C в январе и от $+0,1$ до $+26,9$ °C в июле. Средняя температура воздуха в эти же месяцы меняется от $-17,7$ до $+16,9$ °C. Наибольшая разница температур (dT °C) на исследуемой территории отмечается в декабре (dT °C = $54,9$ °C), а наименьшая – в сентябре (dT = $26,4$ °C), (табл. 2, рис. 5).

Аналогичные характеристики были подсчитаны для неоднородных данных температуры воздуха. Ошибки неоднородности для среднемесячных температур dT_{mean} меняются от $-0,5$ до $-0,1$ °C, для среднего максимума dT_{max} – от $-2,6$ до $-0,9$ °C, а для среднего минимума dT_{min} – от $0,1$ до $1,3$ °C.

Таблица 2

**Сравнение однородных и неоднородных значений
температуры воздуха, осреднённых по данным станций**

Однородные данные													
Параметр	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
Tmin	-47,5	-43,7	-32,3	-22,4	-11,6	-2,4	0,1	-0,5	-4,8	-15,6	-36,6	-45,7	-21,9
Tmax	7,0	7,1	9,2	14,4	20,1	24,1	26,9	26,4	21,6	16,8	12,5	9,1	16,3
Tmean	-17,7	-16,0	-9,2	-0,2	7,6	13,9	16,9	15,0	9,1	1,0	-8,6	-15,2	-0,3
dT = Tmax – Tmin	54,4	50,8	41,4	36,7	31,7	26,5	26,8	26,9	26,4	32,3	49,2	54,9	38,2
Неоднородные данные													
Параметр	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
Tmin	-47,4	-43,3	-31,8	-21,1	-10,4	-1,6	0,5	0,0	-3,2	-15,3	-35,9	-45,6	-21,3
Tmax	5,9	6,1	8,1	11,8	18,0	23,2	25,9	25,1	20,4	15,7	11,6	8,1	15,0
Tmean	-18,2	-16,4	-9,7	-0,5	7,4	13,7	16,8	14,9	9,0	0,7	-9,1	-15,6	-0,6
dT = Tmax – Tmin	53,3	49,4	39,9	32,9	28,4	24,8	25,4	25,1	23,6	31,0	47,5	53,7	36,3
Ошибки неоднородных данных													
Параметр	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
Tmin	0,1	0,4	0,5	1,3	1,2	0,8	0,4	0,5	1,6	0,3	0,7	0,1	0,6
Tmax	-1,1	-1,0	-1,1	-2,6	-2,1	-0,9	-1,0	-1,3	-1,2	-1,1	-0,9	-1,0	-1,3
Tmean	-0,5	-0,4	-0,5	-0,3	-0,2	-0,2	-0,1	-0,1	-0,1	-0,3	-0,5	-0,4	-0,3

Показанные выше результаты оценивают однородные данные наблюдательной сети, состоящей из 518 станций. Из них только 39 % станций расположены друг от друга на расстоянии менее 100 км (рис. 6) [4].

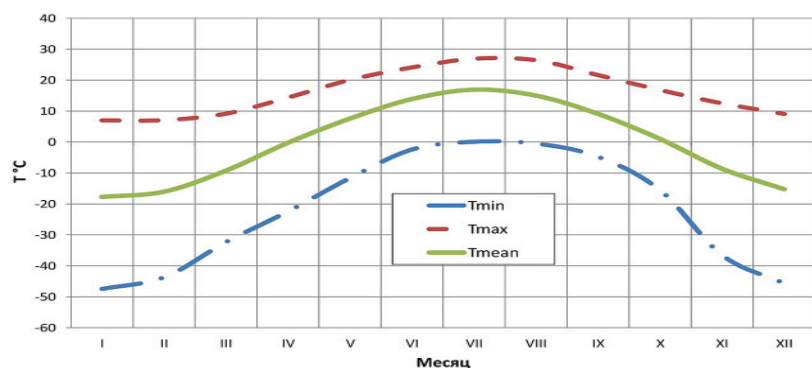


Рис. 4. Годовой ход средней температуры воздуха (T_{mean}) и её экстремальных значений (T_{max} и T_{min}) по данным станций (однородные данные)

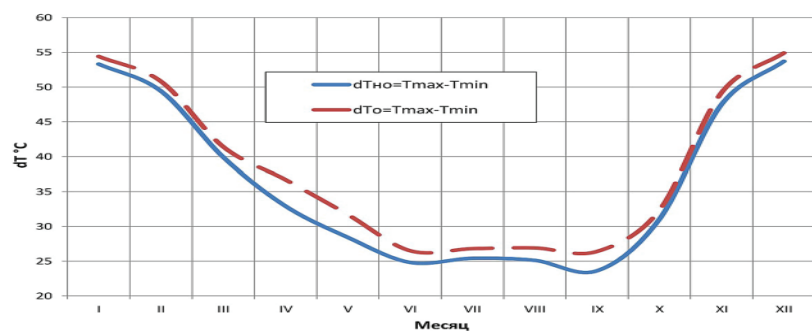


Рис. 5. Интервал изменения средней месячной температуры воздуха по неоднородным ($dT_{но}$) и однородным ($dT_{о}$) данным станций

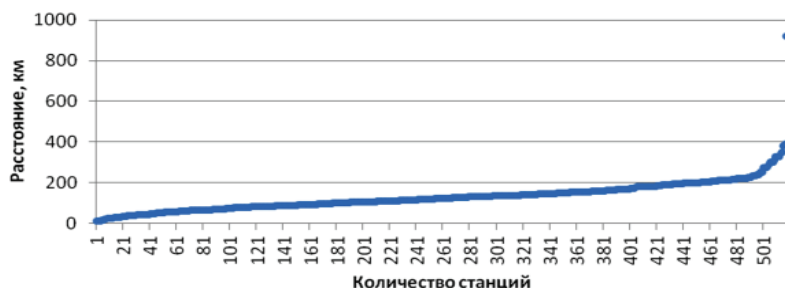


Рис. 6. Минимальное расстояние до ближайшей станции (в км)

Станции показывают информацию только в пункте наблюдения. Поэтому оценивать климатические условия всей огромной территории России по этим данным не совсем корректно, так как на территории с большим расстоянием между станциями параметры атмосферы будут другими. Другой причиной является различная плотность расположения станций по территории. В европейской части России станции расположены более плотно, чем на обширных просторах Сибири и Заполярья (рис. 7).

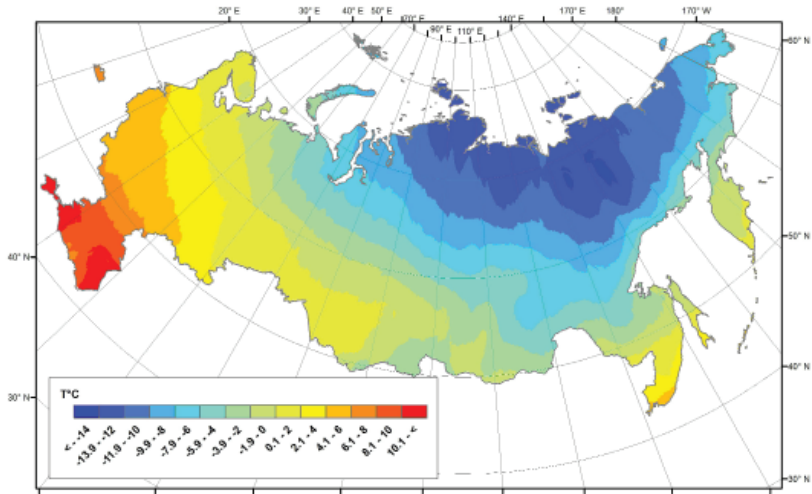


Рис. 7. Распределение среднегодовой температуры воздуха за весь период наблюдений по неоднородным данным

Для решения этой проблемы по неоднородным и однородным данным станций были смоделированы поля температуры воздуха для каждого месяца в среднем за весь период наблюдений. Работа выполнялась инструментами ArcGIS с использованием интерполяционного метода Кригинг [9]. Такая модель учитывает не только данные пункта, но и его весовой вклад в зависимости от расстояния между пунктами. В результате получены средние месячные и годовые поля неоднородных (рис. 7) и однородных (рис. 8) данных (всего 26 карт) для всей исследуемой территории с разрешением примерно $15,66 \times 15,66$ км. Размер ячейки

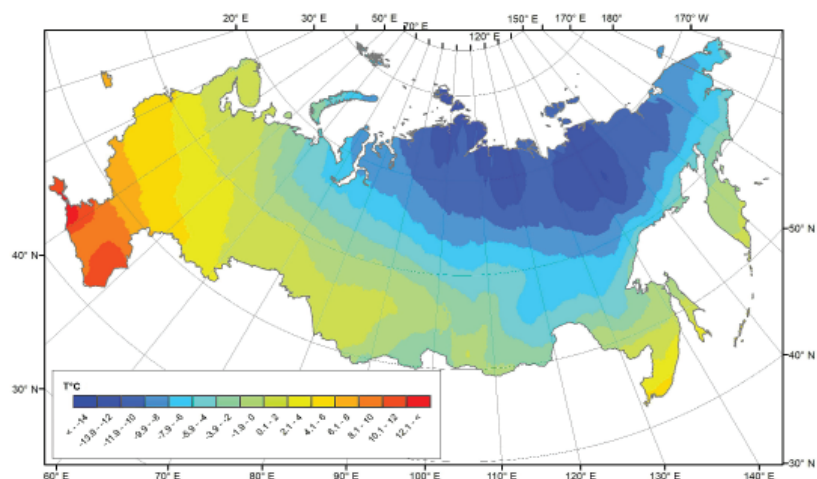


Рис. 8. Распределение среднегодовой температуры воздуха за весь период наблюдений по однородным данным

выходного растра определяется автоматически в зависимости от расстояния между станциями и их количеством.

В качестве примера приведём статистическую информацию карт среднегодовой температуры воздуха для неоднородных и однородных данных (табл. 3). Наибольшие ошибки неоднородных данных отмечаются в холодную половину года. Среднемесечная температура неоднородных данных занижена на $-0,1...-0,4$ °C. Только в июле и в августе эти параметры одинаковы. Наибольшие отклонения ($-0,4$ °C) зафиксированы в зимний период, с ноября по февраль. Экстремальные характеристики среднемесечной температуры воздуха (T_{max} , T_{min}) в рядах неоднородных данных имеют большие отклонения от однородных величин в холодную половину года и достигают $-1,1$ °C. Ошибки неоднородности в летний период для минимума среднемесечных температур (T_{min}) могут приобретать и положительные значения, а в июле ошибок нет.

Используя рассчитанные карты распределения среднемесечной температуры воздуха по неоднородным (рис. 7) и однородным (рис. 8) данным, была построена карта распределения ошибок неоднородности по территории (рис. 9).

Таблица 3

Сравнение однородных и неоднородных значений температуры воздуха (Т) по данным моделированных карт (Tmin – минимальная Т, Tmax – максимальная Т, Tmean – средняя Т, dT – разница экстремальных Т, Std dev – стандартное отклонение)

Неоднородные данные													
Параметр	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
Tmin	-47,1	-39,6	-28,3	-19,5	-8,4	1,3	4,7	3,8	-0,3	-13,2	-32,4	-44,3	-14,5
Tmax	5,1	2,4	4,5	10,6	17,5	22,4	25,2	23,9	18,2	11,8	7,8	6,7	11,9
Tmean	-24,9	-22,7	-15,1	-5,2	4,2	12,0	15,3	12,8	6,4	-3,5	-15,7	-22,6	-4,9
Std dev.	9,7	8,7	7,6	7,0	5,4	3,9	3,3	3,3	3,4	5,5	9,1	10,0	5,9
dT = Tmax – Tmin	52,3	42,0	32,8	30,0	25,9	21,1	20,4	20,1	18,6	25,0	40,3	51,0	26,3
Однородные данные													
Параметр	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
Tmin	-46,0	-39,1	-27,3	-18,6	-9,0	0,6	4,7	3,8	-1,0	-12,7	-32,0	-43,4	-14,1
Tmax	5,0	3,5	5,5	11,3	17,6	22,6	25,4	24,3	18,5	12,8	8,8	7,0	12,8
Tmean	-24,5	-22,3	-14,6	-4,8	4,3	12,0	15,4	12,9	6,5	-3,3	-15,3	-22,2	-4,7
Std dev.	9,7	8,6	7,4	6,8	5,4	3,9	3,3	3,3	3,4	5,5	9,0	10,0	5,8
dT = Tmax – Tmin	51,0	42,6	32,8	30,0	26,6	22,0	20,7	20,5	19,5	25,5	40,8	50,4	27,0
Ошибки неоднородных данных													
Параметр	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
Tmin	-1,1	-0,5	-1,0	-0,9	0,6	0,7	0,0	0,1	0,7	-0,5	-0,5	-1,0	-0,4
Tmax	0,1	-1,1	-1,0	-0,8	-0,1	-0,2	-0,2	-0,3	-0,3	-1,0	-1,0	-0,4	-1,0
Tmean	-0,4	-0,4	-0,5	-0,4	-0,1	0,0	0,0	-0,1	-0,1	-0,2	-0,4	-0,4	-0,3

Анализ этой карты показывает, что положительные ошибки неоднородности (+0,1...+0,4 °С) отмечаются в районах Полярного Урала, Ямала, северной части Западной Сибири и центральной части Якутии. Отрицательные значения ошибки (-1,2...-0,2 °С) или заниженная температура неоднородных данных выявлена в Восточной Сибири, на Чукотке, в Архангельском регионе, на Кавказе и юго-западе ЕТС. На остальных территориях отклонения от однородности меняются от -0,2 до +0,1 °С.

Интервал отклонений ошибок неоднородных данных по отдельным станциям (рис. 3) гораздо больше, чем по расчётной карте (рис. 9). Вероятно, это связано с тем, что при построении карт распределения температуры не учитывался рельеф территории, что сказалось на точности расчёта температуры в горных

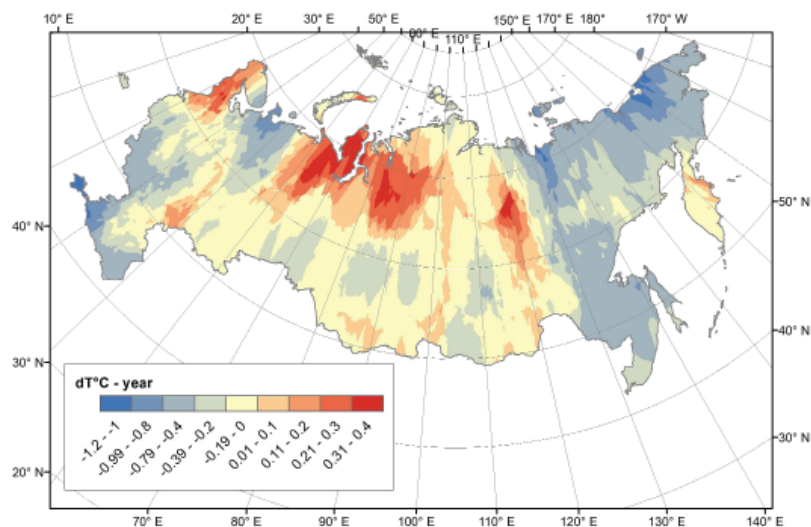


Рис. 9. Распределение ошибок в неоднородных данных по модели карт

районах. Возможно, по этим причинам районы с горным рельефом показывают больше ошибок, чем на равнине.

Заключение

Использование пакета программ RHtests позволило выполнить гомогенизацию и получить однородные ряды среднемесячной температуры воздуха 518 станций России. Ошибки в неоднородных рядах могут влиять на оценку и понимание изменения климатического параметра. Построение карт метеорологических элементов по однородным данным станций более реально показывает состояние климатической системы. Необходимо и в дальнейшем использовать такую методику для получения однородных рядов климатических характеристик.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД» // <http://meteo.ru>.
2. Разуваев В. Н. Из истории климатических исследований во ВНИИГМИ-МЦД // Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2014. Вып. 177. С. 28–69.

3. Булыгина О. Н., Коршунова Н. Н., Разуваев В. Н. Специализированные массивы данных для климатических исследований // Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2014. Вып. 177. С. 136–148.
4. Финаев А. Ф., Разуваев В. Н. Гомогенизация климатических рядов на примере среднемесячной температуры воздуха // Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2020. Вып. 186. С. 57–68.
5. Venema V. K. C., O. Mestre, Aguilar E., Auer I., Guijarro J. A., P. Domonkos, G. Vertacnik, T. Szentimrey, P. Stepanek, P. Zahradnicek, J. Viarre, G. Müller-Westermeier, M. Lakatos, C. N. Williams, M. J. Menne, Lindau, D. Rasol, E. Rustemeier, K. Kolokythas, T. Marinova, L. Andresen, F. Acquaotta, Fratianni, S. Cheval, M. Klancar, M. Brunetti, C. Gruber, M. Prohom Duran, T. Likso, P. Esteban, and T. Brandsma. Benchmarking homogenization algorithms for monthly data // *Clim. Past*, 8, 89–115, 2012. www.clim-past.net/8/89/2012/ doi:10.5194/cp-8-89-2012.
6. Task Team on Homogenization (OPACE2, WMO Commission for Climatology) // <www.wmo.int/pages/prog/wcp/ccl/opace/opace2/TT-HOM-2-4.php>.
7. WMO Commission for Climatology // <www.climatol.eu/tt-hom/>.
8. Wang, X. L. and Y. Feng. RHtestsV4 User Manual. // Climate Research Division, Atmospheric Science and Technology Directorate, Science and Technology Branch, Environment Canada. 28 p. <etccdi.pacificclimate.org/software.shtml>.
9. ESRI ArcMap. Как работает инструмент Кригинг (Kriging). <desktop.arcgis.com/ru/arcmap/10.3/tools/3d-analyst-toolbox/how-kriging-works.htm>.

УДК 551.510.522

ИЗМЕНЕНИЕ ПОВТОРЯЕМОСТИ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ИНВЕРСИЙ НА СТАНЦИИ АСТРАХАНЬ ЗА ПОСЛЕДНИЕ ГОДЫ

Л. Ф. Козлова

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

Введение

Наряду с природными факторами, активное антропогенное воздействие приводит к тому, что в атмосферу поступает большое количество побочных продуктов промышленного производства, сельского хозяйства и жизнедеятельности человека. Резкое увеличение концентрации вредных выбросов возникает в период создания неблагоприятных метеорологических условий. Таким неблагоприятным условием является инверсия температуры. Представляя собой задерживающий слой тёплого воздуха, инверсия препятствует рассеиванию примесей в атмосфере и способствует тем самым загрязнению пограничного слоя атмосферы.

Характеристики инверсий используются в качестве основных показателей в методах прогноза неблагоприятных метеорологических условий для рассеивания примесей, а также для расчёта потенциала загрязнения.

Проектные расчёты для объектов, потенциально загрязняющих окружающую среду, всегда выполняются с учётом климатических характеристик стратификации атмосферы, в том числе температурных инверсий. Различные климатические характеристики условий распространения примесей, включая инверсии температуры (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 обновляемого глобального архива данных радиозондирования атмосферы даёт возможность создать справочный каталог данных по характеристикам температурных инверсий на основе самых последних данных. Настоящая работа является продолжением цикла работ, связанных с анализом инверсий температуры [2–6], и очередной ступенью на пути к созданию такого каталога климатических данных. В статье рассмотрены характеристики повторяемости приземных инверсий по результатам наблюдений на аэрологической станции Астрахань за последние 30 лет.

В настоящее время неблагоприятная экологическая обстановка наблюдается практически во всех городах и промышленно развитых регионах европейской территории России. Изучение этой проблемы и поиск путей её разрешения, бесспорно, актуальная задача для обеспечения устойчивого развития каждого города. Астраханская область является единственным субъектом РФ, большая часть которого расположена в планетарной впадине, достигающей отметки 28 м ниже уровня Мирового океана. Климатические параметры и естественная топография местности являются важными условиями, определяющими качество воздуха и создающими предпосылки для эпизодов высокого загрязнения. Последнее также связано с усилением техногенного воздействия. Среди загрязняющих веществ, поступающих в атмосферу с антропогенными выбросами, наиболее значимые – соединения азота и серы [7, 8].

В этой связи выбор станции обусловлен близостью к региону, где для оценки распространения возможных загрязнений знание характеристик пограничного слоя атмосферы является особенно актуальным. Также проведено сравнение полученных характеристик с аналогичными справочными данными за более ранний период [1].

1. Данные и обработка

Оценка повторяемости температурных инверсий выполнена на основе массива многолетних данных радиозондирования АЭРОСТАС [9, 10]. Каждый файл массива содержит данные,

поступившие за месяц по глобальной сети аэрологических станций. В процессе формирования архивных файлов данные проходят процедуру комплексного контроля качества [11, 12].

Исследование повторяемости температурных инверсий проведено для станции Астрахань за период 1988–2019 гг. Для определения повторяемости инверсий и анализа её характеристик были использованы специальные программные средства, разработанные ранее в ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД» [2].

Инверсия температуры идентифицировалась по характеру вертикального температурного градиента, отрицательного в случае наличия инверсионного слоя [1].

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

Повторяемость инверсий рассчитывалась в процентах от общего числа радиозондовых наблюдений. Методика расчёта аналогична методике, применяемой в более ранних исследованиях [1–6].

2. Повторяемость приземных температурных инверсий

Повторяемость приземных инверсий представлена средними на период значениями в годовом ходе за отдельные сроки и в среднем за сутки. Сроки даны по Всемирному координированному времени (00 и 12 ч).

Особенности годовых изменений повторяемости приземных инверсий в сравнении со справочными данными более ранних лет по срокам 00, 12 ч и за сутки показаны на рис. 1, 2 и 3 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.

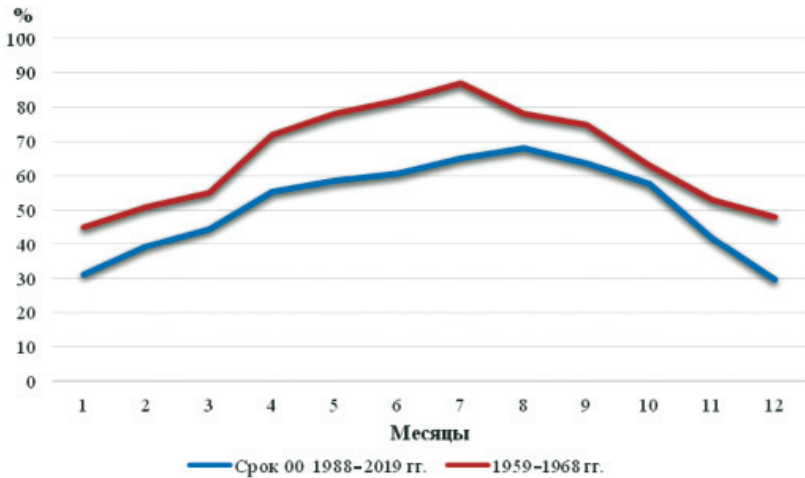


Рис. 1. Годовой ход многолетних средних значений повторяемости приземных инверсий для станции Астрахань за срок 00 ч

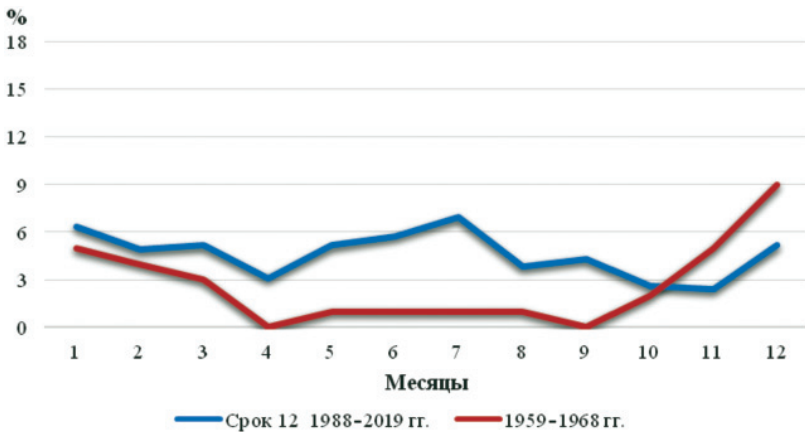


Рис. 2. Годовой ход многолетних средних значений повторяемости приземных инверсий для станции Астрахань за срок 12 ч

Значения повторяемости приземных инверсий для станции Астрахань по сроку 00 ч достаточно высоки, варьируются в течение года от 30 до 68 %, достигая максимальных значений в летние месяцы. Полученные результаты повторяемости приземных

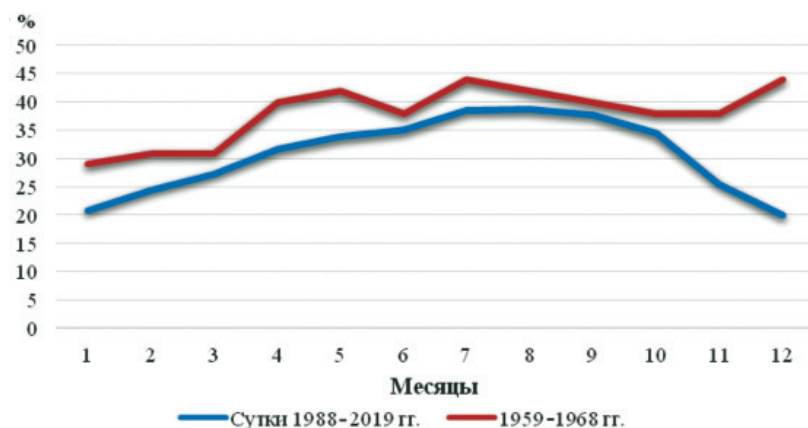


Рис. 3. Годовой ход среднесуточной повторяемости приземных инверсий для станции Астрахань

инверсий в ночные часы в среднем на 14 % ниже представленных в справочнике [1]. Годовой ход повторяемости приземных ночных инверсий ярко выражен с одним максимумом в августе (в июле – по данным справочника) и одним минимумом – в декабре (в январе – по данным справочника).

По сроку 12 ч значения повторяемости приземных инверсий варьируются в течение года от 2,4 до 7 %. Годовой ход сложный с двумя минимумами (в апреле и ноябре) и двумя максимумами (в июле и январе). В целом, получены более высокие значения повторяемости приземных инверсий (дневных) в среднем на 3 %. Однако в отдельные месяцы холодного периода, напротив, значения повторяемости несколько ниже значений, приводимых в справочнике [1] по станции Астрахань.

Если сравнивать значения повторяемости в годовом ходе приземных инверсий в среднем за сутки с результатами справочника, то можно отметить снижение значений исследуемой величины по всем сезонам примерно на 7 %. Кривая годового хода получена более сглаженная, чем построенная по данным аналогичных исследований 60-х годов прошлого столетия. В декабре наблюдается снижение среднесуточной повторяемости приземных инверсий практически в два раза.

Полученные значения повторяемости приземных инверсий хорошо согласуются с данными справочника [1], однако стоит отметить некоторое снижение среднемесячной повторяемости по сроку 00 ч и среднесуточной повторяемости по всем сезонам. Также обнаруживается заметное увеличение числа случаев дневных приземных инверсий в тёплый период, по сравнению с результатами аналогичных исследований 1959–1968 годов.

На рисунке 4 приводится временной ход многолетних средних значений повторяемости приземных инверсий. Кривая среднегодовой повторяемости достаточно плавная, выраженного тренда не наблюдается. Среднегодовая повторяемость приземных инверсий на станции Астрахань за весь период составляет 32,3 %.

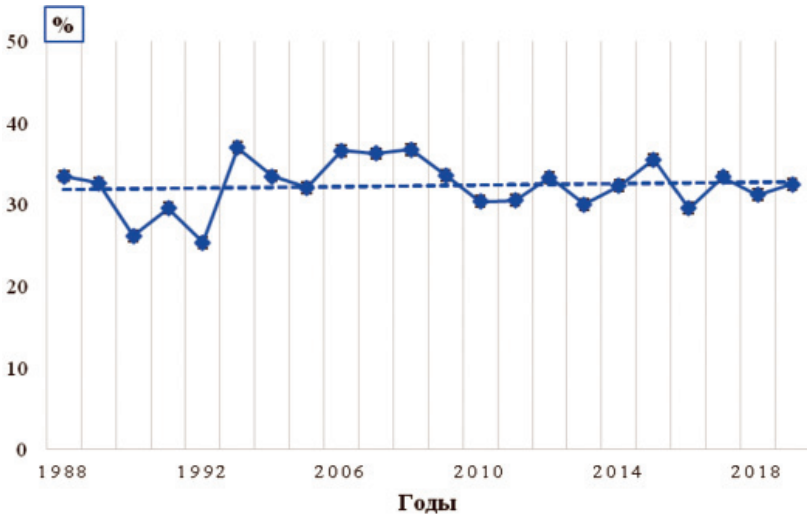


Рис. 4. Среднегодовая повторяемость приземных инверсий (временной ход) для станции Астрахань

Заключение

Выполненный анализ повторяемости приземных инверсий по аэрологическим данным станции Астрахань позволил провести сравнение с аналогичными справочными характеристиками, полученными по данным за 1959–1968 гг. В целом, картина годового

хода повторяемости приземных инверсий на станции Астрахань аналогична годовому ходу по более ранним наблюдениям. Однако по сроку 12 ч можно отметить увеличение числа случаев приземных инверсий в тёплом полугодии и, наоборот, некоторое снижение повторяемости приземных инверсий в ночные часы и в среднем за сутки.

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. *Козлова Л. Ф., Хохлова А. В.* Метеорологические факторы загрязнения окружающей среды: климатические характеристики инверсий в нижнем слое атмосферы для районов Чернобыльской АЭС и АЭС Фукусима // Сборник трудов Научно-практической конференции «Радиоактивность после ядерных взрывов и аварий: последствия и пути преодоления» 19–21 апреля 2016 г. ФГБУ «НПО «Тайфун», Обнинск / Под ред. В. М. Шершакова. Обнинск, 2016. С. 164–169.
3. *Козлова Л. Ф., Хохлова А. В.* Климатические характеристики приземных температурных инверсий по данным аэрологических измерений на станциях Мурманск и Смоленск // Труды ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД». 2017. Вып. 181. С. 120–125.
4. *Козлова Л. Ф., Хохлова А. В.* Климатические характеристики приподнятых температурных инверсий по данным аэрологических измерений на станциях Мурманск и Долгопрудная // Труды ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД». 2018. Вып. 183. С. 135–143.
5. *Козлова Л. Ф., Хохлова А. В.* Анализ инверсий температуры в нижней тропосфере по данным аэрологических измерений на станциях Долгопрудная и Мурманск // Сборник трудов Третьей международной научной конференции с элементами научной школы (Ставрополь, 24–26 сентября 2018 г.) / Под ред. М. Т. Абшаева, Г. Х. Бадаховой, В. И. Волковой. Ставрополь: Изд-во СКФУ, 2018. 323 с.
6. *Козлова Л. Ф., Хохлова А. В.* Повторяемость инверсий температуры по данным наблюдений на аэрологической станции Салехард // Труды ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД». 2019. Вып. 185. С. 105–114.

7. Горбунова А. Г., Насибулина Б. М., Дедков Ю. М. Экологическая оценка атмосферного воздуха санитарно-защитной зоны промышленного комплекса в Астраханской области // Вестник Московского государственного областного университета (Электронный журнал). 2010. № 1.

8. Горбунова А. Г. Оценка состояния атмосферного воздуха в условиях современного техногенного воздействия: на примере Астраханской области / Дис. А. Г. Горбуновой, к.г.н. Астрахань: ГУ «Астраханский областной центр по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды», 2011.

9. Описание символического формата хранения данных аэрологических наблюдений, поступающих по каналам связи для ПЭВМ (формат АЭРОСТАС) / Составитель: Т. В. Руденкова. Обнинск, 2009.

10. Руденкова Т. В. Формат архивации текущих аэрологических данных, поступающих по каналам связи для ПЭВМ // Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2010. Вып. 174. С. 41–63.

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

12. Алдухов О. А., Черных И. В. Принципы контроля качества массивов результатов радиозондирования атмосферы // Метеорология и гидрология. 2016. № 3. С. 92–101.

УДК 551.524.77

МАССИВ ХАРАКТЕРИСТИК ТРОПОПАУЗЫ ПО ДАННЫМ РАДИОЗОНДИРОВАНИЯ В АРКТИЧЕСКОМ РЕГИОНЕ

Л. Ф. Козлова¹, Т. В. Руденкова², А. В. Хохлова³

ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский институт
гидрометеорологической информации – Мировой центр данных»,
¹ kozlovalida@meteo.ru, ² lae@meteo.ru, ³ anna_x@meteo.ru

Введение

Тропопауза – это переходный слой в атмосфере, своеобразная граница раздела между тропосферой и стратосферой. Тропопауза является мощным задерживающим слоем, препятствующим вертикальному переносу аэрозолей и водяного пара. Точная информация о характеристиках тропопаузы и её многолетних изменениях требуется для решения многих научных и прикладных проблем. В частности, тропопауза может служить хорошим индикатором изменений климатической системы. Тренды изменения температуры по данным радиозондирования за последние десятилетия показали, что максимальный эффект глобального потепления в Северном полушарии наблюдается (помимо тропиков) в нижней тропосфере полярной области [1, 2]. В этой связи подготовка специализированного массива климатических характеристик о состоянии тропопаузы в данном регионе особенно актуальна.

Массив статистических характеристик тропопаузы был получен по данным наблюдений на 39 относительно полных и длиннорядных аэрологических станциях территории РФ Арктического региона за 40-летний период. Для расчёта характеристик тропопаузы использовались данные массивов АЭРОСТАБ и АЭРОСТАС [3–5], которые включают текущие данные радиозондовых наблюдений, собираемые в ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД» по глобальной сети станций. Содержанием архива являются проконтролированные значения давления, высоты геопотенциала, температуры и других характеристик на разных уровнях, в том числе и на уровне тропопаузы.

Ниже приведено краткое описание данных специализированного массива климатических характеристик тропопаузы по данным аэрологических наблюдений для записи на CD-ROM и передачи в Госфонд.

Содержание и структура массива климатических характеристик тропопаузы по аэрологическим наблюдениям

Массив охватывает период с 01.06.1978 по 31.12.2019. Характеристики тропопаузы представлены по данным отдельных аэрологических станций Арктического и Полярного регионов территории РФ и охватывает регион с координатами приблизительно с 60° с.ш. по 80° с.ш. и 30° в.д. по 180° в.д. Перечень станций, по которым проведены расчёты, приведён в таблице.

Т а б л и ц а

Список аэрологических станций арктического региона РФ

№ п/п	Индекс станции	Широта	Долгота	№ п/п	Индекс станции	Широта	Долгота
1	20046	80,62	58,05	20	23884	61,60	90,02
2	20674	73,51	80,4	21	23921	60,68	60,45
3	20744	72,36	52,71	22	23933	61,03	69,11
4	21432	76,00	137,86	23	23955	60,43	77,86
5	21824	71,58	128,91	24	24125	68,50	112,43
6	21946	70,62	147,88	25	24266	67,56	133,40
7	22113	68,98	33,11	26	24343	66,76	123,40
8	22217	67,15	32,35	27	24507	64,26	100,23
9	22271	67,88	44,13	28	24641	63,78	121,61
10	22522	64,95	34,65	29	24688	63,25	143,15
11	22550	64,61	40,55	30	24726	62,53	113,86
12	22820	61,82	34,27	31	24908	60,33	102,26
13	22845	61,50	38,93	32	24944	60,36	120,41
14	23078	69,33	88,30	33	24959	62,01	129,71
15	23205	67,63	53,03	34	25042	69,93	167,98
16	23330	66,53	66,67	35	25123	68,75	161,28
17	23418	65,12	57,10	36	25400	65,73	150,90
18	23472	65,78	87,93	37	25428	65,23	160,53
19	23804	61,68	50,78	38	25703	62,91	152,41

Временное разрешение. Зондирование производится в среднем 2 раза в сутки, в 00 и 12 часов Гринвичского времени.

Статистика, методы. Проводилась проверка соответствия данных на уровне тропопаузы критерию ВМО, согласно которому тропопауза и её характер определяются по значениям и изменению вертикального градиента температуры [6, 7]. Границей, разделяющей полярную и тропическую тропопаузы, была принята высота 14 км. Все случаи с высотой нижней границы тропопаузы до 14 км относились к полярной тропопаузе, а выше – к тропической. Применение такого метода идентификации географического типа тропопаузы значительно упростило получение её характеристик, допуская при этом небольшие абсолютные ошибки.

В массиве даны традиционная, порядковая статистика метеорологических величин (температура, высота и давление) на уровне нижней границы тропопаузы, характеристики годового хода и тренды.

1. Традиционная статистика

- Средние, среднеквадратические отклонения
- Максимум, минимум, их разность (размах)
- Число корректных наблюдений
- Асимметрия и эксцесс

2. Порядковая статистика

- Медиана
- Первая и третья квартили, их разность (межквартильный размах)
- 5-, 10-, 90- и 95-процентные квантили

3. Амплитуда годового хода средних месячных значений

4. Тренды

- Тренды для отдельных месяцев, годовой ход трендов
- Тренды для хронологически упорядоченных аномалий

Расчёты проводились с использованием профессионального статистического пакета SAS.

На рисунке показаны картины годового хода средних многолетних значений температуры, давления и высоты на уровне нижней границы тропопаузы для станций Мыс Челюскин (20292), О. Котельный (21432) и Мурманск (22008).

Место хранения. ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД», г. Обнинск, Россия.

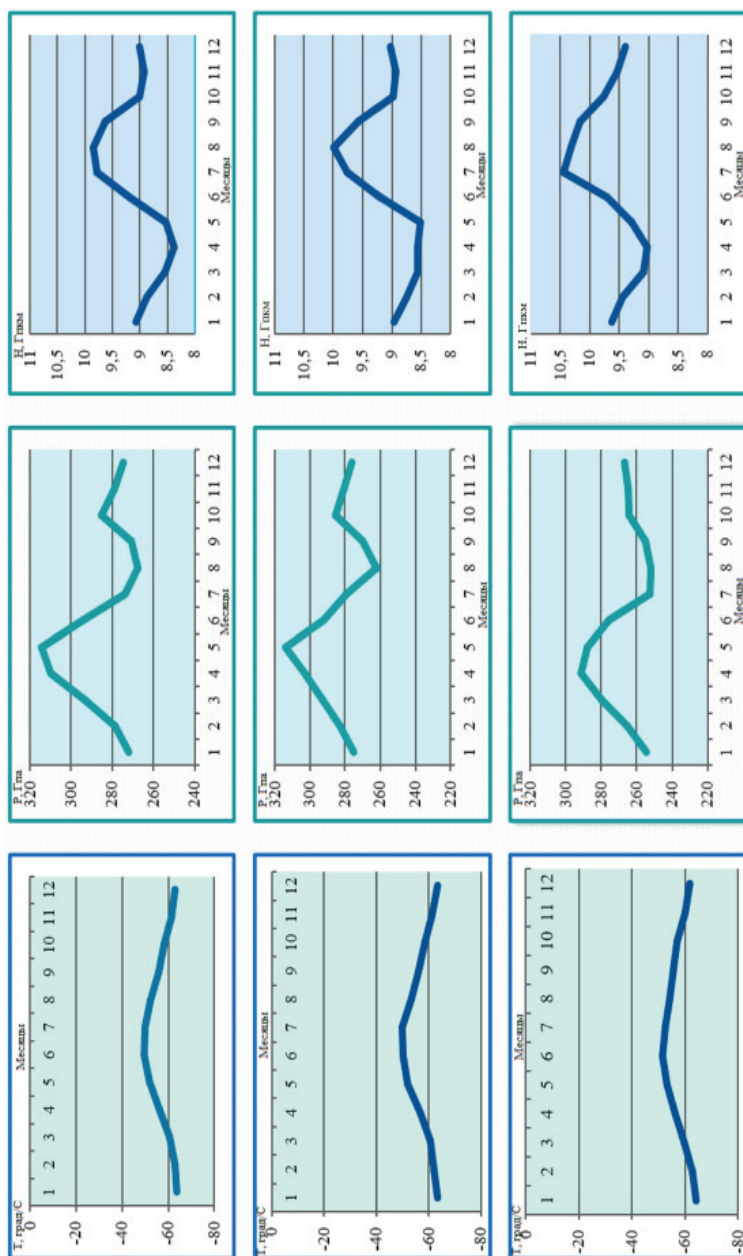


Рис. Годовой ход средних многолетних значений температуры (слева), давления (в центре) и высоты (справа) для станций Мыс Челюскин (верхний ряд), О. Котельный (средний ряд) и Мурманск (нижний ряд)

Структура хранения на носителе

Носитель массива – диск CD-ROM. Организация записей на носителе – постанционная. На одном CD-ROM размещаются данные за весь рассматриваемый период по всем станциям Арктического региона РФ (около 624 текстовых файлов формата TXT), разделённые по директориям в зависимости от принадлежности к станции. Структура диска – совокупность 39 директорий, каждая из которых содержит по 16 файлов различных статистических характеристик тропопаузы.

Организация имён файлов

Массив представлен одним CD-ROM за 1978–2019 годы.

Для каждой станции отведена своя директория. Имя директории соответствует индексу станции. Содержанием каждой директории являются 16 файлов климатических характеристик тропопаузы в текстовом формате.

■ Файлы типа **indst_amp.txt**, где **indst** – индекс станции, соответствует имени директории, в которую помещён данный файл.

Содержанием файла являются значения амплитуд годового хода средних месячных значений на уровне нижней границы тропопаузы (НГТ) (полярной).

Данные в файле содержат строку заголовка, которая включает следующие элементы:

- **pa** – амплитуда годового хода средних месячных значений давления на уровне нижней границы тропопаузы (НГТ) (полярной);
- **ta** – амплитуда годового хода средних месячных значений температуры на уровне нижней границы тропопаузы (НГТ) (полярной);
- **ha** – амплитуда годового хода средних месячных значений высоты на уровне нижней границы тропопаузы (НГТ) (полярной);
- **indst** – индекс станции.

■ Файлы типа **indst_param_alltime.txt**, где **indst** – индекс станции, соответствует имени директории, в которую помещён данный файл, **param** – может принимать значения **hgtkm**, **temp** или **pres** в зависимости от того, характеристики какого параметра

тропопаузы содержатся в данном файле (высоты, температуры или давления соответственно); **alltime** в хвостовой части имени файла означает, что в файле содержатся статистические характеристики, полученные для данной станции за весь период наблюдения без конкретизации по году или месяцу наблюдения.

Данные в файле типа `indst_param_alltime.txt` также содержат строку заголовка, которая включает следующие элементы статистики:

- N – общее число наблюдений,
- mean – среднее значение параметра,
- std – стандартное отклонение,
- A – асимметрия,
- E – эксцесс,
- max – максимальное значение параметра (param),
- p95 – 95% квантиль,
- p90 – 90% квантиль,
- q3 – третья квартиль,
- med – медиана,
- q1 – первая квартиль,
- p10 – 10% квантиль,
- p5 – 5% квантиль,
- min – минимальное значение параметра (param),
- range – размах,
- qrange – разность q1 и q3 (межквартильный размах),
- indst – индекс станции.

■ Файлы типа **indst_param_mean_year.txt**, где `indst` и `param` – см. описание как для файлов типа `indst_param_alltime.txt`; **mean_year** в хвостовой части имени файла означает, что в файле содержатся среднегодовые значения характеристики тропопаузы (в соответствии со значением `param` – температуры, высоты или давления на уровне НГТ тропопаузы (полярной)).

Файлы типа `indst_param_mean_year.txt` содержат строку заголовка, которая включает следующие элементы:

- year – год,
- mean – среднее значение параметра,
- indst – индекс станции.

■ Файлы типа **indst_param_mn.txt**, где **indst** и **param** – см. описание как для файлов типа **indst_param_alltime.txt**; **Mn** в хвостовой части файлов типа **indst_param_mn.txt** означает, что в файле содержатся значения тех же статистик, что и в файле **indst_param_alltime.txt**, но рассчитанные по месяцам.

Помимо элементов, содержащихся в строке заголовка файлов типа **indst_param_alltime.txt**, строка заголовка файлов типа **indst_param_mn.txt** содержит также элемент **mnth** – месяц, для которого рассчитывались статистические данные того или иного параметра тропопазузы.

■ Файлы типа **indst_param_mnth_year.txt**, где **indst** и **param** – см. описание как для файлов типа **indst_param_alltime.txt**; **mnth_year** в хвостовой части названия означает, что в файле содержится статистика параметров тропопазузы для каждого месяца каждого года.

Строка заголовка содержит следующие элементы:

- **year** – год,
- **mnth** – месяц,
- **mean** – среднее значение параметра,
- **max** – максимальное значение параметра в конкретном месяце года,
- **min** – минимальное значение параметра в конкретном месяце года,
- **indst** – индекс станции.

■ Файлы типа **indst_trend.txt**, где **indst** и **param** – см. описание как для файлов типа **indst_param_alltime.txt**, **trend** – означает, что в файлах такого типа содержатся значения трендов месячных аномалий температуры, давления или высоты на уровне НГТ (полярной).

Строка заголовка содержит следующие элементы:

- **trend_reg** – значение тренда месячных аномалий,
- **StdErr_reg** – стандартная ошибка вычисления тренда,
- **Indst** – индекс станции.

Данные прошли комплексный физико-статистический контроль качества на этапе формирования первичного массива данных АЭРОСТАС [8, 9].

Заключение

Специализированный массив создан на основе многолетних проконтролированных радиозондовых данных. Расчёты выполнены по данным наблюдений на 39 аэрологических станциях территории РФ арктического региона. Массив содержит стандартные статистические данные: температуру, высоту и давление на уровне нижней границы тропопаузы, характеристики годового хода и тренды.

Массив климатических характеристик тропопаузы предназначен для размещения в открытом доступе и может использоваться потребителями, а также в отделе аэрологии для проведения исследовательских работ по изучению изменчивости климата свободной атмосферы. Массив является расширяющимся с ежегодным пополнением данных.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Иванова А. Р.* Динамика арктической тропопаузы и её связь с фронтогенезом /А. Р. Иванова, Н. И. Богаевская. СПб.: Гидрометеиздат, 2005. 20 с.
2. NASA Global Climate Change [Электронный ресурс] [сайт] URL: <https://climate.nasa.gov/evidence/> (дата обращения: 15.04.2018). Загл. с экрана. Яз. англ.
3. *Архив* текущей аэрологической информации «АЭРОСТАБ». Описание архива / Составители О. А. Алдухов, В. А. Оржеховская, Т. О. Садовникова, Т. В. Руденкова. Обнинск, 1990.
4. *Описание* символьного формата хранения данных аэрологических наблюдений, поступающих по каналам связи для ПЭВМ (формат АЭРОСТАС) / Составитель Т. В. Руденкова. Обнинск, 2009.
5. *Руденкова Т. В.* Формат архивации текущих аэрологических данных, поступающих по каналам связи для ПЭВМ // Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2010. Вып. 174. С. 41–63.
6. *Маховер З. М.* Климатология тропопаузы. Л.: Гидрометеиздат, 1983. 254 с.
7. *Авиационно-климатический атлас-справочник СССР* / Под ред. З. М. Маховера. М.: НИИАК, 1969. Вып. 5.
8. *Алдухов О. А., Черных И. В.* Методы анализа и интерпретации данных радиозондирования атмосферы. Том. 1. Контроль качества и обработка данных. Обнинск: ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД». 2013. 306 с.
9. *Алдухов О. А., Черных И. В.* Принципы контроля качества массивов результатов радиозондирования атмосферы // Метеорология и гидрология. 2016. № 3. С. 92–101.

УДК [551.501+556.043+551.46]:43

РАЗРАБОТКА СТРУКТУРЫ ПЕРЕЧНЯ ДОКУМЕНТОВ, ОБРАЗУЮЩИХСЯ В ПРОЦЕССЕ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ФЕДЕРАЛЬНОЙ СЛУЖБЫ ПО ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИИ И МОНИТОРИНГУ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

И. И. Кашина¹, А. А. Кузнецов²

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

¹ kii@meteo.ru, ² kuznet@meteo.ru

В соответствии с частью 1 статьи 23 Федерального закона от 22 октября 2004 г. № 125 «Об архивном деле в Российской Федерации» федеральные органы государственной власти, иные государственные органы Российской Федерации должны разрабатывать и утверждать перечни документов, образующихся в процессе их деятельности, а также в процессе деятельности подведомственных организаций.

В поручении Правительства Российской Федерации от 26.03.2020 №ДЧ-П-444-2409, обязывающем Федеральные органы исполнительной власти обеспечить разработку ведомственных перечней документов с указанием сроков хранения, подчёркивается, что ведомственные перечни документов представляют особую значимость для граждан, общества и государства.

Федеральной службой по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (далее – Росгидромет) разработана Перечень документов, образующихся в процессе деятельности Росгидромета, а также в процессе деятельности подведомственных организаций с указанием сроков хранения документов была поручена ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД».

Перечень документов включает перечни типовых архивных документов, образующиеся при осуществлении однотипных управленческих функций, например документы бухгалтерии, отдела кадров и перечни документов, образующиеся в процессе научно-технической и производственной деятельности, с указанием сроков хранения.

Разработка Перечня должна выполняться в два этапа: на первом этапе осуществляется разработка структуры Перечня документов (далее – Перечня), подлежащая согласованию с Центральной экспертно-поверочной комиссией (ЦЭПК) при Федеральном архивном агентстве (Росархиве), на втором – непосредственно Перечень, также подлежащий согласованию с ЦЭПК при Росархиве.

В данной статье рассматривается первый этап – разработка структуры Перечня.

Структура Перечня подготовлена в соответствии с «Методическими рекомендациями по подготовке перечней документов, образующихся в деятельности федеральных органов исполнительной власти, а также в процессе деятельности подведомственных им организаций, с указанием сроков хранения», «Инструкции по применению Перечня типовых управленческих архивных документов, образующихся в процессе деятельности государственных органов, органов местного самоуправления и организаций» [1, 2].

Структура Перечня состоит из двух блоков – схемы его построения и схемы звенности.

Схема построения Перечня – систематизированный перечень функций, осуществляемых Росгидрометом, его территориальными органами и подведомственными организациями. Другими словами, схема построения перечня – это оглавление Перечня. Схема Перечня документов в соответствии с [1] должна содержать не более двух уровней: раздел и подраздел.

Схема звенности Перечня – это классификация организаций, выполняющих основные отраслевые, вспомогательные и обслуживающие функции.

Звено Перечня – организация (группа организаций), осуществляющая определённые функции в Росгидромете с указанием образующихся в них видов документов и сроков их хранения.

Статья Перечня – определённым образом организованные (сгруппированные) сведения о виде документа, сроке его хранения.

Составление схемы Перечня, т. е. определение состава и наименований его разделов и подразделов, представляет собой нетривиальную задачу классификации соответствующей документной базы.

Методическими рекомендациями [1] установлено требование, что схема Перечня должна строиться по функционально-отраслевому принципу. При этом в схеме Перечня можно выделить два класса отображаемых функций – типовые управленческие функции и функции (научно-технические и производственные) в установленной сфере деятельности Росгидромета.

Состав и наименования разделов и подразделов типовых функций Росгидромета соответствует Перечню типовых управленческих архивных документов, образующихся в процессе деятельности государственных органов, органов местного самоуправления и организаций, с указанием сроков их хранения [3]. Поэтому в этой части задача классификации решалась по методу аналогии и не представляла особой сложности.

Что же касается классификации видов документов в установленной сфере деятельности Росгидромета, то для её разработки требовался творческий подход. Поскольку всеобъемлющий перечень видов документов, подлежащих архивному хранению, в Росгидромете до сих пор не создавался, при определении функций в установленной сфере деятельности Росгидромета, их структурировании и выборе соответствующих наименований разделов и подразделов схемы были использованы такие нормативные правовые документы, как Федеральный закон «О Гидрометеорологической службе», Положение о Федеральной службе по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, Перечень работ федерального назначения в области гидрометеорологии и смежных с ней областях [4–6].

Весьма близким по своему назначению к решаемой задаче являлся руководящий документ «РД 52.19.143–2019 Перечень документов архивного фонда данных о состоянии окружающей среды, её загрязнении» [7]. Однако в нём отражена только часть видов документов в установленной сфере деятельности Росгидромета, а их классификация проведена по функциональному основанию на верхнем уровне и тематическому основанию (видам наблюдений) на более низких уровнях иерархической классификации, что не вполне соответствует требованиям, установленным нормативными документами для разрабатываемого Перечня.

Наряду с изучением нормативных документов, документов-прототипов Перечня, также были проведены анализ и обобщение перечней документов, представленных Центральным аппаратом, учреждениями и территориальными органами Росгидромета.

В результате была составлена схема Перечня, содержащая 18 разделов (табл. 1), из которых типовые функции представлены десятью разделами (1–4 и 13–18), а функции в установленной сфере деятельности Росгидромета отражены в разделах 5–12.

Таблица 1

Схема построения перечня документов, образующихся в процессе деятельности Росгидромета

1	Организация системы управления
2	Планирование деятельности
3	Финансирование деятельности
4	Учёт и отчётность
5	Формирование и обеспечение функционирования Государственной наблюдательной сети
6	Обеспечение функционирования системы сбора, обработки и распространения информации по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды
7	Обеспечение единства и сопоставимости методов наблюдений за состоянием окружающей среды, её загрязнением
8	Формирование государственных и ведомственных информационных систем в области гидрометеорологии и мониторинга окружающей среды
9	Гидрометеорологическое и гелиогеофизическое обеспечение государственных органов, Вооружённых сил Российской Федерации, хозяйствующих субъектов, а также населения
10	Осуществление лицензирования отдельных видов деятельности, выдача разрешений на деятельность в Антарктике
11	Научно-исследовательские, опытно-конструкторские и технологические работы
12	Международное сотрудничество
13	Трудовые отношения
14	Кадровое обеспечение
15	Материально-техническое обеспечение
16	Административно-хозяйственное обеспечение деятельности
17	Обеспечение режима безопасности организации, гражданская оборона и защита от чрезвычайных ситуаций
18	Социально-бытовые вопросы

Схема Перечня в части функций в установленной сфере деятельности Росгидромета требует определённых пояснений. В этой части определены 8 разделов (первый уровень классификации) и от 2 до 8 подразделов на втором уровне классификации (кроме одного из разделов, для которого подразделы не определены). Первый (верхний) уровень схемы построен по функциональному принципу, т. е. наименования разделов соответствуют основным функциям Росгидромета. Второй (нижний) уровень сформирован преимущественно по объектному принципу, при котором наименования подразделов соответствуют объектам, в отношении которых применяется функция, или по тому же функциональному принципу, когда функции второго уровня являются частными случаями общей функции первого уровня. Например, функция (раздел Перечня) «Обеспечение функционирования государственной наблюдательной сети» распространяется на объекты – виды наблюдательных сетей, но также содержит такие связанные частные функции (подразделы), как методическое обеспечение наблюдений и охрана сетей.

Раздел 5 «Формирование и обеспечение функционирования государственной наблюдательной сети» содержит документы по организации и обеспечению системы стационарных и подвижных пунктов наблюдений, в том числе постов, станций, лабораторий, центров, предназначенных для наблюдений за состоянием окружающей среды, физическими и химическими процессами, происходящими в окружающей среде, определения её метеорологических, климатических, аэрологических, гидрологических, океанологических, гелиогеофизических, агрометеорологических характеристик, а также для определения уровня загрязнения атмосферного воздуха, атмосферных осадков и снежного покрова, почв, водных объектов, в том числе по гидробиологическим показателям, и околоземного космического пространства.

Раздел также включает технические документы наблюдательных пунктов, документы по их учёту, документы, устанавливающие методы и регламент проведения наблюдений на сети, определяющие порядок сбора данных наблюдений, их обработки и передачи в соответствующие организации по видам наблюдений,

документы научно-экспедиционных исследований и работ по изучению состояния окружающей среды, её загрязнения, в том числе в Мировом океане, Арктике и Антарктике, документы по охране наблюдательной сети, по научно-методическому руководству её деятельностью (планы и акты инспекций, обзоры состояния работ на наблюдательной сети).

Раздел 6 «Обеспечение функционирования системы сбора, обработки и распространения информации по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды» включает документы по работе ведомственной системы телекоммуникаций и автоматизированной системы передачи данных (АСПД), документы по взаимодействию по линии Всемирной метеорологической организации (ВМО) с центрами обработки данных по вопросам автоматизированной обработки метеорологической информации.

Раздел 7 «Обеспечение единства и сопоставимости методов наблюдений за состоянием окружающей среды, её загрязнением» включает документы по организации работ по стандартизации гидрометеорологической деятельности, по метрологическому обеспечению измерений, проводимых на государственной наблюдательной сети, по поверке, сервисному обслуживанию приборов и средств измерений характеристик окружающей среды, её загрязнения, по сертификации метеорологического оборудования, устанавливаемого на сертифицированных аэродромах.

Раздел 8 «Формирование государственных и ведомственных информационных систем в области гидрометеорологии и мониторинга окружающей среды» содержит:

- документы, определяющие порядок формирования Госфонда Росгидромета, документы, создаваемые в процессе его ведения (журналы учёта, каталоги, справки, отчёты, базы данных);
- аналогичные документы справочно-информационных фондов научно-технической информации (НТИ);
- документы по координации работ для обеспечения функционирования Единой государственной системы информации об обстановке в Мировом океане (ЕСИМО);
- документы по координации деятельности Единой государственной автоматизированной системы мониторинга радиационной обстановки на территории Российской Федерации (ЕГАСМРО);

- документы по обеспечению функционирования ведомственных информационных систем (технические задания, положения, руководства, инструкции, протоколы испытаний и приёмки в опытную/промышленную эксплуатацию).

Раздел 9 «Гидрометеорологическое и гелиогеофизическое обеспечение государственных органов, Вооружённых сил Российской Федерации, хозяйствующих субъектов, а также населения» включает:

- документы по обеспечению Президента Российской Федерации, Федерального собрания Российской Федерации, Правительства Российской Федерации, федеральных органов исполнительной власти, органов исполнительной власти субъектов Российской Федерации, органов МЧС, органов суда, прокуратуры и милиции информацией общего назначения, а также экстренной информацией об опасных природных явлениях, о фактических и прогнозируемых резких изменениях погоды и загрязнении природной среды, которые могут угрожать жизни и здоровью населения и наносить ущерб окружающей природной среде в соответствии с Перечнем информационных услуг общего назначения, утверждаемым Правительством Российской Федерации; документы с краткосрочными и долгосрочными прогнозами, режимно-справочные материалы (ежегодники, обзоры, оценки фоновое состояние, таблицы приливов без грифа секретности и прочие), в том числе документы Государственного водного кадастра;

- документы по организации и проведению работ по активным воздействиям на гидрометеорологические процессы, осуществлению государственного надзора за этими работами, в том числе документы по защите объектов федеральной собственности от цунами, снежных лавин; по обеспечению работы противолавинной службы; по защите сельскохозяйственных растений от градобития, регулированию осадков, рассеиванию туманов;

- документы по метеообеспечению гражданской авиации;
- материалы по подготовке и изданию научно-технической и научно-методической литературы;

- материалы по организации и проведению выставок и презентаций, взаимодействию со средствами массовой информации.

Раздел 10 «Осуществление лицензирования отдельных видов деятельности, выдача разрешений на деятельность в Антарктике» содержит реестры лицензий, сведения о лицензиатах, заявки на разрешение деятельности в Антарктике, акты выдачи разрешений.

Раздел 11 «Научно-исследовательские, опытно-конструкторские и технологические работы» включает документы, раскрывающие организацию работ по научно-исследовательским, опытно-конструкторским, технологическим и другим работам для обеспечения государственных нужд в области гидрометеорологии и мониторинга окружающей природной среды (планы НИТР и ОПР Росгидромета, отчёты об их выполнении, документы учёных советов НИУ, диссертационных советов, экспертные заключения, акты, протоколы). В раздел также включены документы по изобретательству и патентно-лицензионной работе (заявки, патенты, свидетельства, учётные формы).

Раздел 12 «Международное сотрудничество» содержит документы, связанные с выполнением работ в соответствии с обязательствами Российской Федерации в рамках международного сотрудничества, в том числе со странами СНГ, по вопросам гидрометеорологии, климата и его изменений, мониторинга загрязнения окружающей природной среды, изучения Мирового океана, Арктики и Антарктики, активного воздействия на метеорологические и другие геофизические процессы, с выполнением обязательств Российской Федерации по международным договорам Российской Федерации, в том числе по Конвенции Всемирной метеорологической организации, рамочной Конвенции ООН об изменении климата и Протоколу по охране окружающей среды к Договору об Антарктике.

Проект структуры Перечня был рассмотрен в управлениях Центрального аппарата Росгидромета, в НИУ Росгидромета и его территориальных органах. Полученные замечания и предложения были рассмотрены и учтены, если они не противоречили принципам построения перечня.

Схема звенности представлена в таблице 2. Она имеет семь граф.

Таблица 2

Схема звенности перечня документов

Номер статьи	Вид документа	Срок хранения документа				Примечание
		В Центральном аппарате	В территориальных органах	В научно-исследовательских и образовательных учреждениях	В других подведомственных организациях	
1	2	3	4	5	6	7

В графе 1 последовательно указываются номера статей, описывающих виды документов.

В графе 2 размещены тексты статей, описывающих виды документов.

В графах 3, 4, 5, 6 указываются сроки хранения документов (одинаково для бумажных и электронных носителей) в каждом звене организационной структуры ведомства.

В первом звене (графа 3) указаны сроки хранения документов в Центральном аппарате Росгидромета, который включает 6 управлений.

Во втором звене (графа 4) указаны сроки хранения документов в территориальных органах Росгидромета, включающие 7 департаментов и 25 УГМС (со своими подведомственными организациями).

В третьем звене (графа 5) указаны сроки хранения документов в 17 НИУ Росгидромета, Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении дополнительного профессионального образования «Институт повышения квалификации руководящих работников и специалистов» (ФГБОУ ДПО «ИПК»), Российском государственном музее Арктики и Антарктики (ФГБУ «РГМАА»).

В четвёртом звене (графа 6) указаны сроки хранения документов в предприятиях и учреждениях, подведомственных Росгидромету, включающие: Главный центр информационных технологий и метеорологического обслуживания авиации Федеральной

службы по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (ФГБУ «Авиаметтелеком Росгидромета»), Главный вычислительный центр Федеральной службы по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (ФГБУ «ГВЦ Росгидромета»), Главный авиаметеорологический центр Федеральной службы по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (ФГБУ «ГАМЦ Росгидромета»), Центр реализации бюджетной политики и обеспечения деятельности Федеральной службы по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (ФГБУ «Гидрометсервис»); Северо-Кавказскую, Краснодарскую, Ставропольскую военизированные службы по активному воздействию на метеорологические и другие геофизические процессы.

Примечания, используемые в схеме звенности (графа 7), комментируют и уточняют сведения о документах: по видам документов; по определённым вопросам; по месту хранения документа; по времени исчисления срока хранения документа; по носителю документа.

Структура перечня Росгидромета представлена на согласование с ЦЭПК при Росархиве.

Второй этап работ предусматривает наполнение представленной структуры перечня текстами статей, описывающих виды документов, и сроки их хранения в соответствии с определёнными категориями организаций Росгидромета – звеньями схемы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Приказ* Федерального архивного агентства от 20 декабря 2019 г. № 237 «Инструкция по применению Перечня типовых управленческих архивных документов, образующихся в процессе деятельности государственных органов, органов местного самоуправления и организаций, с указанием сроков их хранения // Официальный интернет-портал правовой информации (www.pravo.gov.ru) от 14.2.2020, ст. 0001202002140045.

2. *Методические рекомендации* по подготовке перечней документов, образующихся в деятельности федеральных органов исполнительной власти, а также в процессе деятельности подведомственных им организаций, с указанием сроков хранения: подготовлены ВНИИДАД, согласовано ЦЭПК при Росархиве 17 мая 2011 года.

3. *Приказ* Федерального архивного агентства от 20.12.2019 № 236 «Перечень типовых управленческих архивных документов, образующихся в процессе деятельности государственных органов, органов местного самоуправления и организаций, с указанием сроков их хранения» // Официальный интернет-портал правовой информации (www.pravo.gov.ru) от 7.2.2020 г., ст. 0001202002070036.

4. *Федеральный закон* от 19 июля 1998 г. № 113-ФЗ «О Гидрометеорологической службе» // Собрание законодательства Российской Федерации от 1998 г., № 30, ст. 3609.

5. *Постановление* Правительства Российской Федерации от 23.07.2004 № 372 «О Федеральной службе по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды» // Собрание законодательства Российской Федерации от 2004 г., № 31, ст. 3262; «Российская газета» от 29.7.2004, № 160.

6. *Приказ* Росгидромета от 17.10.2000 № 150 «Об утверждении Перечня работ федерального назначения в области гидрометеорологии и смежных с ней областях» // Бюллетень нормативных актов федеральных органов исполнительной власти от 2000 г., № 49.

7. *РД 52.19.143–2019* «Перечень документов архивного фонда данных о состоянии окружающей среды, её загрязнении».

УДК 551.576.2 (470+571)

ЭМПИРИКО-СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ КОЛИЧЕСТВА ОБЩЕЙ ОБЛАЧНОСТИ И ОБЛАЧНОСТИ НИЖНЕГО ЯРУСА НА ТЕРРИТОРИИ РОССИИ

Т. В. Дементьева¹, Н. Н. Коршунова²

*ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский институт
гидрометеорологической информации – Мировой центр данных»,
¹ tedemand@gmail.com, ² nnk@meteo.ru*

Введение

Облака и выпадающие из них осадки принадлежат к числу важнейших метеорологических (атмосферных) явлений и играют заметную роль в формировании климата. Изменяя радиационный режим атмосферы и земной поверхности, облака оказывают воздействие на температурно-влажностный режим тропосферы и приземного слоя воздуха, где протекают жизнь и деятельность человека. В связи с изменчивостью климата очевидным является важность оценки состояния климатической системы, учитывая максимальное число параметров, в том числе облачности.

Согласно программе наблюдений [1] за облаками, на метеорологических станциях и постах определяют количество и форму облаков, высоту нижней границы облаков. В настоящей работе рассмотрены характеристики количества общей облачности и облачности нижнего яруса. Количество облаков определяется наблюдателем визуально по 10-балльной шкале [1]. Отсутствие облаков фиксируется как 0 баллов. Если облаками занята 0,1 часть небосвода, количество облаков оценивается 1 баллом, если половина небосвода – 5 баллами и т. д. Полностью покрытый облаками небосвод кодируется 10 баллами. К нижнему ярусу облачности относятся облака с высотой нижней границы (ВНГ) 2 км от поверхности земли (слоистые, слоисто-дождевые, слоисто-кучевые и облака вертикального развития) [2].

Исследования изменений количества общей облачности и облачности нижнего яруса на территории Российской Федерации

проводились и ранее. Например, в [3] оценивалось среднее многолетнее количество (пространственное распределение) облачности для периода 1936–1980 гг., а также приведена годовая динамика среднемесячного количества облачности для нескольких городов России. Коэффициенты линейного тренда, осреднённые для европейской и азиатской частей России, были рассчитаны в работах [4, 5], захватывая 30- и 50-летние интервалы до 2005 года. В [6] приведена интенсивность трендов среднесезонного и среднегодового количества общей и нижней облачности за разные интервалы 45-летнего периода времени, рассчитанные по данным 60 метеостанций Сибирского сектора.

Целью данной работы является апробация базы данных (далее – БД) «Среднемесячное количество общей облачности и облачности нижнего яруса», разработанной в отделе климата ВНИИГМИ-МЦД, а также исследование изменений количества общей облачности и облачности нижнего яруса на территории Российской Федерации по актуальным данным. Это особенно важно в условиях изменяющегося климата.

Описание и структура специализированного массива

Массив создавался по данным, содержащимся на технических носителях Госфонда Росгидромета. Перед поступлением в Госфонд осуществляется автоматический контроль качества метеорологических данных [7]. БД содержит информацию о среднемесячном количестве общей облачности и облачности нижнего яруса с 1966 по 2019 год для 518 пунктов наблюдений, выбранных на основании Списка станций Росгидромета, включённых в Глобальную сеть наблюдений за климатом (утверждённого Руководителем Росгидромета 25 марта 2004 г.) и Списка реперных метеорологических станций Росгидромета, подготовленного в Главной геофизической обсерватории им. А. И. Воейкова (исп. Зав. ОМРЭИ ГГО В. И. Кондратюк).

Количество облачности кодируется в соответствии с кодом КН-01, где значениями от 0 до 10 кодируют количество фактической облачности, шифр 11 кодирует ситуацию, когда видны только следы облаков (больше 0, но меньше 1 балла), шифр 12 кодирует

наличие облачности с просветами (меньше 10 баллов, но больше 9), 13 означает, что облачность невозможно определить (например, из-за тумана).

В процессе расчёта среднемесячного количества облачности число 11, согласно описанной выше кодировке, соответствует 0,5 балла, 12 соответствует 9,5 баллам. Наблюдения со значением 13 (когда количество облачности невозможно определить) не учитывались.

В массиве каждое значение представлено числом от 0 до 10 включительно с точностью до 0,01 балла. Матрица данных построена таким образом, что для каждого года есть 2 строки, где первая строка («h») включает среднемесячные значения количества общей облачности, вторая («l») – среднемесячные значения количества облачности нижнего яруса.

Массив запатентован, свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2020621717 от 18.09.2020.

Массив планируется регулярно (один раз в год) обновлять.

Эмпирико-статистические оценки облачности, полученные по данным специализированного массива

По данным созданного специализированного массива рассчитаны статистические характеристики среднемесячного количества средней и нижней облачности. Результаты представлены в виде карт, подготовленных с помощью ГИС в регулярной стереографической проекции, в которой используется стандартный метод обратных взвешенных расстояний с коэффициентами, обратно пропорциональными квадрату расстояния. Тренд рассчитывался методом наименьших квадратов, уровень статистической значимости тренда определялся с помощью критерия Стьюдента.

На большей части страны средний балл общей облачности равен 6–7 баллам (рис. 1а). Области со средним баллом общей облачности больше 7 баллов отмечены на севере европейской части России и в центральных районах Восточной Сибири. Всего на 9 метеорологических станциях среднее количество общей облачности превысило 8 баллов. Области с 5–6-балльной облачностью примыкают к границам РФ и занимают центральную

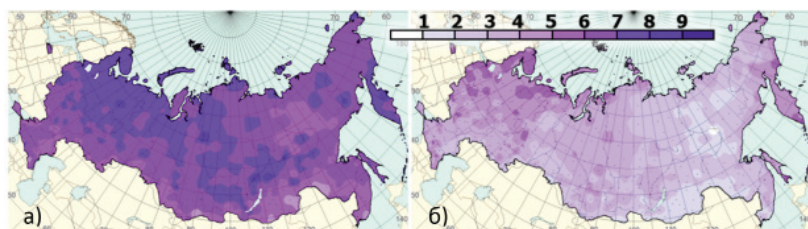


Рис. 1. Среднегодовое количество общей облачности (а) и облачности нижнего яруса (б), балл

часть республики Саха. Южнее 55° с.ш. на отдельных метеорологических станциях среднее количество общей облачности не превышает 5 баллов. Полученное распределение хорошо согласуется с приведённым в [1].

Средний балл нижней облачности (рис. 1б) в северных и северо-западных районах ЕЧР, которые находятся под влиянием атлантических циклонов, составляет 5–6 баллов, что гораздо выше, чем в континентальных районах АЧР, где в течение продолжительного холодного периода преобладает антициклональный характер погоды. На юге Восточной Сибири и в Якутии среднемесячное количество нижней облачности не превышает 3 баллов. В Якутии на метеорологической станции Крест-Хальджай отмечен наименьший среднегодовой балл облачности нижнего яруса 0,92. Увеличение нижней облачности отмечается на дальневосточном побережье страны в зоне влияния тихоокеанских циклонов.

Годовой ход количества общей облачности и облачности нижнего яруса рассчитан как среднее значение для каждого месяца для тех же 12 станций России, что и в [1], где графики были построены для 1936–1980 годов (рис. 2). Сравнение графиков показывает, что спустя 39 лет годовой ход количества общей облачности и облачности нижнего яруса в представленных городах практически не изменился. Отличия обнаружены для Якутска, где в зимние месяцы количество общей облачности стало на 2 балла выше, а нижней облачности на балл ниже. Одной из возможных причин увеличения общего количества облачности в Якутии, по-видимому, является значительное ослабление в последние годы Сибирского

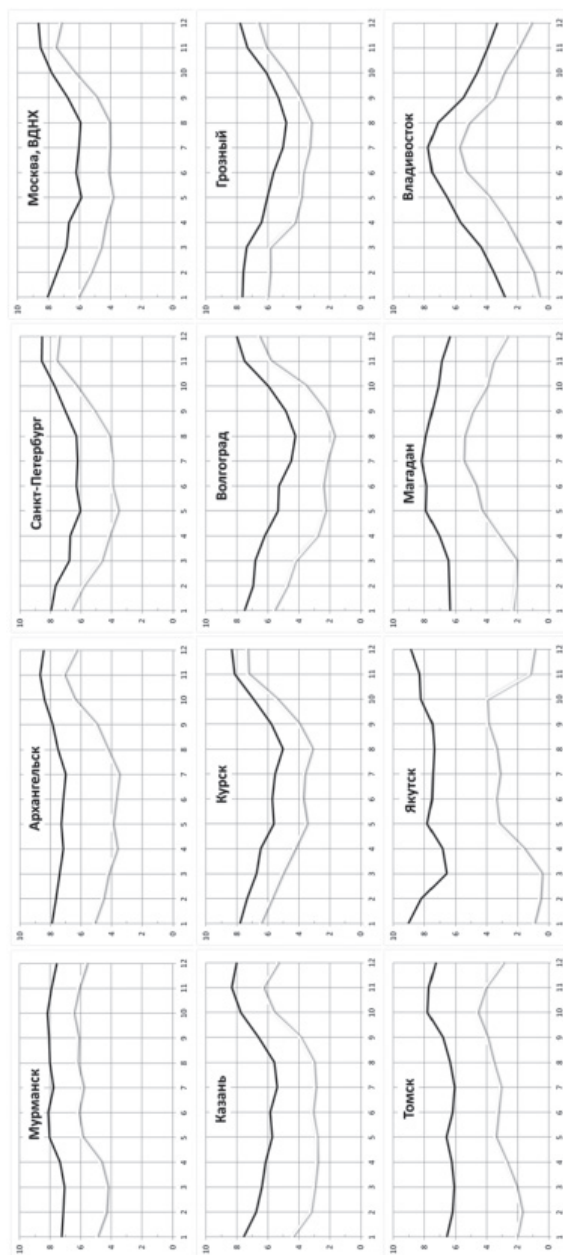


Рис. 2. Годовой ход количества общей облачности — и облачности нижнего яруса —

антициклона. Атлантические циклоны, проникая далеко в глубь материка, оттесняют его основное ядро к югу, на территорию Монголии. Но, возможно, это связано с изменением представлений о классификации облачности у наблюдателей. Так, по опыту одного из авторов в процессе производства наблюдений можно перепутать высокослоистые облака среднего яруса со слоисто-дождевыми (нижний ярус). И из тех, и из других может идти снег.

Поскольку не каждая из станций в БД содержит полный ряд наблюдений, при расчёте коэффициентов линейного тренда рассматривались только те метеорологические станции, где присутствовали 38 и более лет наблюдений. Именно в этом временном интервале отсутствуют выбросы в рядах коэффициентов линейного тренда.

Тенденция количества общей облачности (рис. 3) явно прослеживается только в период календарной зимы. Практически на всей европейской территории России отмечается положительный тренд, а на севере восточной Сибири – отрицательный. В целом для территории России можно сказать, что количество общей облачности, скорее, возросло, как и указано в работах [4, 5]. Следует

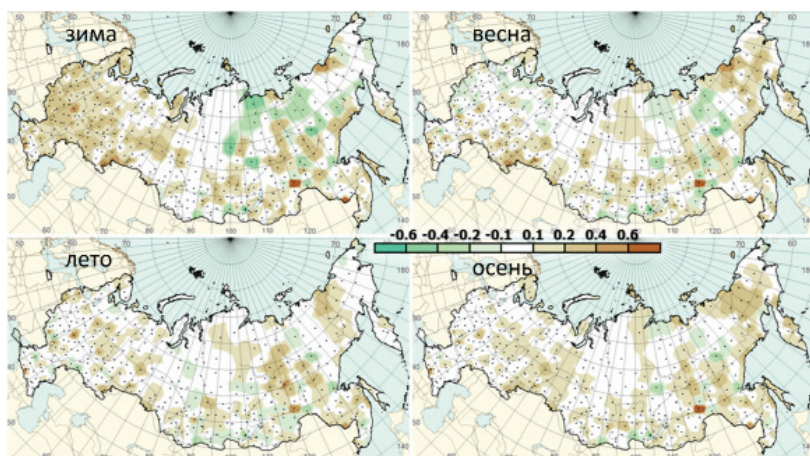


Рис. 3. Распределение коэффициентов линейного тренда (балл/10лет) в рядах среднесезонного количества общей облачности (статистически значимые на 5 %-ном уровне значимости). 1967–2019 годы

отметить заметную тенденцию увеличения общей облачности на северо-востоке Дальневосточного ФО в переходные сезоны. Летом наметилась тенденция, пока очень слабая, уменьшения общей облачности на юге Восточной Сибири и в Забайкалье.

В распределении коэффициентов линейного тренда в рядах количества нижней облачности (рис. 4) отмечаются более высокие по модулю значения. На ЕТР зоны с разнонаправленными тенденциями изменения количества нижней облачности по площади примерно одинаковы во все сезоны, за исключением осени. Осенью во многих районах ЕТР выявлена тенденция уменьшения количества нижней облачности. На азиатской территории заметен положительный тренд, особенно весной и осенью, что соответствует увеличению количества нижней облачности, как и в [5].

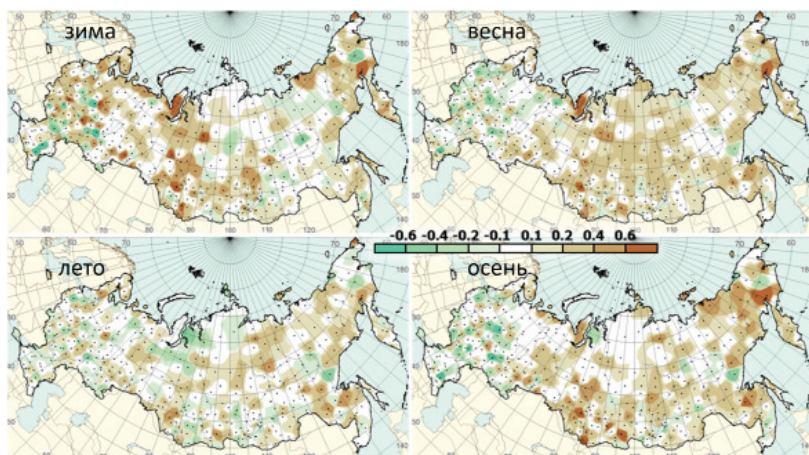


Рис. 4. Распределение коэффициентов линейного тренда (балл/10лет) в рядах среднесезонного количества общей облачности (статистически значимые на 5 %-ном уровне значимости). 1967–2019 годы

Выводы

Эмпирико-статистический анализ количества облачности, проведённый с целью апробации БД, выявил некоторые недостатки в составлении перечня станции: не все пункты, включённые в

список станций, имеют полный ряд наблюдений. Распределение среднегодовых значений количества общей и нижней облачности, а также годовая динамика среднемесячных значений количества общей облачности и облачности нижнего яруса изменились незначительно относительно интервала времени 1936–1980 гг. Однако проведенный анализ позволил выявить некоторые сезонные и региональные особенности, которые согласуются с последними данными мониторинга климатических параметров [8]. Это подтверждает высокое качество специализированного массива «Среднемесячное количество общей облачности и облачности нижнего яруса» и возможность его использования в исследовательских и прикладных целях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Наставления гидрометеорологическим станциям и постам*. Выпуск 3. Часть 1. Л.: Гидрометиздат, 1985 г. 301 с.
2. *Атлас облаков* / Федер. служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (Росгидромет), ГГО им. А. И. Воейкова; [Д. П. Беспалов и др.; ред.: Л. К. Сурыгина]. Санкт-Петербург: Д'АРТ, 2011. 248 с.
3. *Кобышева Н. В. и др. Климат России* // Монография / Под ред. Н. В. Кобышевой. СПб.: Гидрометеиздат, 2001. 654 с.
4. *Байкова И. М., Ефимова Н. А., Строкина Л. А.* Современное изменение облачного покрова над территорией России // Метеорология и гидрология. 2002. № 9. С. 52–61.
5. *Хлебникова Е. И., Салль И. А.* Особенности климатических изменений облачного покрова над территорией России // Метеорология и гидрология. 2009. № 7. С. 5–13.
6. *Комаров В. С.* Региональные особенности долгопериодного изменения облачного покрова в Сибирском секторе Северного полушария за последние 45 лет (1969–2013 гг.) // Оптика атмосферы и океана. 2014. Т. 27. № 12. С. 1079–1084.
7. *Веселов В. М.* Архивы Госфонда на ПЭВМ и технология их организации. Труды ВНИИГМИ-МЦД, 2002. Вып. 170. С. 16–30.
8. *Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2019 год*. Москва, 2020. 99 с.

УДК 551.46.06:681.3.06

РАЗВИТИЕ РЕЖИМНО-СПРАВОЧНЫХ ПОСОБИЙ ПО МОРСКОЙ ПРИРОДНОЙ СРЕДЕ ДЛЯ ИНФОРМАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ МОРСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

А. А. Воронцов¹, В. М. Грузинов^{2*}, А. М. Булыгин^{2}**

¹ ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский институт
гидрометеорологической информации – Мировой центр данных»,
av10921@meteo.ru;

² ФГБУ «Государственный океанографический институт»,
* gruzinov@oceanography.ru, ** bam524@mail.ru

Введение

В последние десятилетия наблюдается активное развитие различных видов морской деятельности, которая в той или иной мере требует различной информационной поддержки. При этом требуется не только оперативная информация, но и полноценная справочная, а также режимно-климатическая информация по району работ или исследований. В части последней можно отметить различные виды информационной продукции, ориентированной на поддержку работ в море. Прежде всего это справочные издания, различные справочно-климатические пособия, ежемесячные и ежегодные обобщения в бумажном виде, такие как:

- специализированные справочные пособия по гидрометеорологии и гидрохимии шельфа морей СССР;
- морские гидрометеорологические ежегодники;
- научно-прикладные справочники по климату;
- книги по климатическому описанию отдельных морей, и многое другое.

Содержательная обработка данных для справочных изданий выполнялась, как правило, в соответствии с принятыми нормативными документами.

Концепция морского климатического справочника

Современные требования изменили наше представление о морских справочных изданиях, а современные компьютерные технологии [1, 2] дали возможность для объединения баз данных, методов и моделей расчётов, программного обеспечения получения стандартизированной выходной продукции в виде интегрированной среды на основе ГИС/СУБД/Интернет и тем самым позволили создавать режимно-справочные пособия более мобильными в плане усвоения новых данных и в плане получения актуальных расчётных характеристик.

Можно считать, что в современном понимании морской справочник должен включать не только полноценную информационную базу, но и полный комплекс программ получения режимно-справочных характеристик. Первые морские электронные справочники предусматривали два варианта реализации: в виде СУБД- и ГИС-приложений [1]. Первые реализации таких справочников были статическими, в них были загружены режимно-справочные материалы, рассчитанные заранее и занесённые в специализированную базу данных в виде комплекта таблиц, графиков, текста, метаданных и тематических карт. Эти материалы пользователь мог только просматривать.

Следующий шаг в развитии электронных справочников – полнофункциональные справочные пособия на основе динамически работающих программных комплексов.

Для получения климатических (режимно-справочных) пособий по морям России разработана отдельная технология [1, 2], предназначенная для получения регламентированной информации на основе распределённой интегрированной базы данных наблюдений в открытом море и на прибрежных территориях, трансформированной в специализированные базы данных: базу климатических данных по метеоусловиям (госрегистрация № 2013620322 от 20.02.2013 г.) и комплексную базу гидрометеорологических данных по Мировому океану и морям России (госрегистрация № 2014621731 от 16.12.2014 г.).

В этих вышеуказанных специализированных базах все используемые гидрометеорологические и гидрохимические данные представлены в виде временной последовательности эквидистантных или неэквидистантных выборочных совокупностей, поэтому для получения режимных статхарактеристик используются различные алгоритмы как из классической статистики (средние арифметическое и экстремальные значения, оценки повторяемости и обеспеченности элементов по градациям, параметры распределения: дисперсия, коэффициенты асимметрии и эксцесса и др.), так и алгоритмы обработки малых выборок (квантильная пятичисловая сводка, трёхсреднее значение, размах и др.).

Такая технология позволила получить серию морских электронных справочников в виде морских атласов «Климат морей России и ключевых районов Мирового океана», доступных в Интернет-среде (http://www.esimo.net/atlas//index_atlas.html). Морской атлас представляет собой режимно-справочное пособие, содержащее сведения о климатических характеристиках морской среды, которые были получены по отечественным и зарубежным данным гидрометеорологических наблюдений, накопленных в Государственном фонде данных ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД» за многолетний период.

В продолжение развития морских справочных изданий была рассмотрена идея подготовки нового морского климатического справочника для повышения эффективности информационного обеспечения морской деятельности [3].

На основе анализа потребностей пользователей гидрометеорологической информации, положений различных РД и рекомендаций ВМО [6] по климатическому обслуживанию были разработаны формы/форматы предоставления климатических и обобщённых характеристик морской среды для обеспечения различных сфер деятельности (строительство, транспортные операции, добыча углеводородов, портовая деятельность, рыболовство, энергообеспечение прибрежных территорий и др.).

Новое издание – морской климатический справочник (МКС) – должно включать как общепринятые нормы, экстремальные значения, характеристики долгопериодной изменчивости, так и назначаемые руководствами ВМО по климатическому обслуживанию,

нормативными документами по строительству (СНИП), РД по проектированию объектов в прибрежной зоне, морским операциям и др. Дополнительно необходимо, чтобы новый МКС позволял обеспечивать адаптацию к изменениям климата, поскольку в последние десятилетия отмечается заметный тренд в климатических характеристиках.

Создание МКС будет осуществляться поэтапно: на первом этапе будет формироваться МКС применительно с традиционными гидрометеорологическими параметрами, на втором этапе будет проводиться расширение параметров за счёт профилирования (включения программных приложений по различным профилям/направлениям морской деятельности).

В обязательном порядке должны будут выполняться требования к технологиям обеспечения потребителей режимной¹ информацией об обстановке в Мировом океане и на прибрежных территориях, а также требования к номенклатуре характеристик морской природной среды.

Наибольшую практическую значимость имеют сведения о режимном состоянии следующих характеристик:

а) метеорологические характеристики:

- температура воздуха;
- атмосферное давление;
- скорость и направление ветра;
- осадки;
- облачность;

¹ Под режимом океана (моря) понимается статистический ансамбль состояний, которые проходит система взаимосвязанных физических, гидрохимических и биологических процессов, вместе с некоторым способом обобщения наблюдаемых и расчётных океанографических характеристик в диапазонах внутрисуточной, синоптической, сезонной и межгодовой изменчивости. Длительность интервала обобщения зависит от решаемой практической задачи и требуемой точности и может изменяться в широком диапазоне значений – от одного месяца до нескольких десятков (20–30) лет. Многолетний режим океана (моря) характеризует его климат. В связи с тем, что применение различных способов обобщения при оценке параметров режима может приводить к количественным различиям, особое значение приобретает стандартизация (унифицированность) методов оценки параметров режима.

- влажность воздуха;
- типы синоптических ситуаций;
- горизонтальная дальность видимости;
- б) гидрологические характеристики:
 - температура воды;
 - солёность воды;
 - уровень моря;
 - течения;
 - морской лёд;
 - волнение;
 - прозрачность и цветность воды;
- в) гидрохимические характеристики:
 - растворённые газы: кислород, сероводород, углекислый газ;
 - биогенные вещества: соединения фосфора, азота и кремния;
 - водородный показатель (рН) и щёлочность;
- д) загрязняющие вещества:
 - синтетические поверхностно-активные вещества (СПАВ);
 - тяжёлые металлы (ТМ);
 - хлорорганические пестициды (ХОП);
 - нефтяные углеводороды (НУ).

Приведённый выше перечень является предварительным. Он будет уточняться по результатам анализа потребностей потенциальных пользователей режимной информационной продукцией.

В отношении перечня статистических параметров режимного состояния морской среды можно сказать, что в настоящее время нет РД, полностью регламентирующих такой перечень.

В справочных пособиях, как правило, указываются только средние значения (среднее многолетнее значение, среднемесячное, среднесезонное и т. п.). Однако для решения многих практических задач этого недостаточно, поэтому при описании режима акватории должен использоваться набор статистических параметров, который, в частности, позволял бы определить вероятность нахождения различных характеристик и/или их комплексов в определённых, интересующих потребителя, пределах значений, а также оценить ошибку определения этой вероятности. В связи с этим режимное состояние характеристик морской

среды должно описываться как на основе традиционного подхода (средних месячных значений для конкретного года и/или средних многолетних значений), так и функций плотности распределения (или обеспеченности) значений отдельных характеристик и их комплексов и других нетрадиционных подходов.

В соответствии с рекомендациями ВМО [6] параметрами режимного состояния морской среды являются:

- эмпирическая функция распределения, получаемая в виде накопленной повторяемости значений исследуемой характеристики;

- математическое ожидание, среднее квадратическое отклонение, коэффициенты асимметрии и эксцесса данной характеристики и ошибки их оценок для каждого месяца (или сезона, в зависимости от объёма данных);

- оценки параметров изменчивости: межгодовой (как регулярной, в виде многолетних трендов, так и нерегулярной) и синоптической;

- повторяемость комплексов различных физических, химических и биологических характеристик состояния морской среды, либо коэффициенты корреляции между ними;

- временные автокорреляционные функции, характеризующие тесноту связи между значениями данной океанографической или метеорологической величины в разные моменты времени (в случае эквидистантных временных рядов);

- спектры временных колебаний океанографических и метеорологических величин, характеризующие значения дисперсии колебаний в заданном диапазоне длин волн (в случае эквидистантных временных рядов);

- средняя непрерывная продолжительность значений характеристики выше и ниже заданного уровня для различных месяцев или сезонов (в случае эквидистантных временных рядов).

Приведённый перечень является типовым.

С точки зрения области применения режимная информационная продукция о состоянии Мирового океана и морей РФ используется в целом ряде областей государственного управления и экономической деятельности (охрана окружающей среды,

фундаментальные и стратегические исследования, гидрографические изыскания и картографирование, судоходство, буксировка и навигация, портовые операции, подводное плавание, оборона, спасательная служба, в том числе защита от наводнений, строительство, включая строительство морских платформ и других сооружений, прокладка кабелей и трубопроводов, производство энергии, разведка и добыча природных ресурсов, рыболовство и др.).

Одно из требований к МКС – это использование унифицированных форм представления режимной информации. На основе анализа потребностей пользователей гидрометеорологической информации предлагается следующая структура МКС:

Физическая география:

- общие сведения;
- геолого-геоморфологические особенности дна моря;
- морфометрическая характеристика бассейна;
- климат;
- экономико-географическое описание;
- история изучения.

Метеорология:

- факторы формирования метеорологического режима;
- схема размещения береговых гидрометеорологических станций и поквadrатной обработки судовых метеорологических данных;
- сведения о пунктах гидрометеорологических наблюдений;
- параметры метеорологического режима:

• **ветер:**

- характеристика исходных данных о ветре;
- методы расчётов параметров режима ветра по береговым станциям и в открытом море;
- многолетний ход средней скорости ветра в центральные месяцы сезонов на побережье;
- повторяемость (%) направления ветра и штилей на побережье;
- повторяемость (%) направления ветра и штилей в различные часы суток на побережье;
- повторяемость (%) скорости ветра по градациям (в % от общего количества случаев) на побережье;

- повторяемость (%) скорости ветра по градациям в различные часы суток на побережье;
- повторяемость (%) ветра различной скорости по направлениям на побережье;
- наибольшая скорость ветра редкой повторяемости (возможная один раз в год, в 5, 10, 25 и 50 лет) на побережье;
- средняя и максимальная продолжительность штормов различной силы (не менее 10, 15, 20 м/с) на побережье;
- среднее квадратическое отклонение продолжительности штормов различной силы (не менее 10, 15, 20 м/с) на побережье;
- повторяемость (%) скоростей ветра по направлениям в открытом море;
- скорости ветра, возможные один раз в год, в 5, 10, 25, и 50 лет в открытом море;
- **температура воздуха:**
 - характеристика базы исходных данных о температуре воздуха;
 - методы расчёта параметров режима температуры воздуха;
 - многолетний ход средней месячной температуры воздуха в центральные месяцы сезонов на побережье;
 - средняя месячная и экстремальная температура воздуха на побережье;
 - среднее квадратическое отклонение температуры воздуха на побережье;
 - квантили (25 %, 50 %, 75 %) функции распределения средней месячной температуры воздуха на побережье;
 - среднее квадратическое отклонение средней суточной температуры воздуха на побережье;
 - средняя месячная температура воздуха в открытом море в центральные месяцы сезонов;
 - среднее квадратическое отклонение средней месячной температуры воздуха в открытом море;

- средняя непрерывная продолжительность периодов с температурой воздуха ниже заданного предела на побережье;
- среднее квадратическое отклонение продолжительности периодов с температурой воздуха ниже заданного предела на побережье;
- **относительная влажность воздуха:**
 - характеристика базы исходных данных об относительной влажности воздуха;
 - методы расчёта статистических параметров режима относительной влажности воздуха;
 - средняя месячная и годовая относительная влажность воздуха на побережье;
 - квантили (25 %, 50 %, 75 %) функции распределения средней месячной влажности воздуха на побережье;
 - средняя месячная относительная влажность воздуха в открытом море;
 - средняя месячная и годовая относительная влажность воздуха в открытом море;
 - многолетний ход средних месячных значений влажности воздуха в центральные месяцы сезонов за весь период наблюдений на побережье;
- **облачность и осадки:**
 - характеристика базы исходных данных об облачности;
 - характеристика базы исходных данных об осадках;
 - методы расчёта статистических параметров режима облачности;
 - средняя месячная и годовая общая облачность на побережье;
 - средняя месячная и годовая общая облачность в открытом море;
 - средняя месячная и годовая нижняя облачность на побережье;
 - повторяемость (%) ясного (0–2 б), полuyасного (3–7 б) и пасмурного (8–10 б) состояния неба по общей и нижней облачности на побережье и в квадратах открытого моря;

- повторяемость (%) осадков в открытом море;
- повторяемость (%) количества осадков по градациям на побережье;
- суточный максимум осадков различной обеспеченности по месяцам;
- **туманы и ограниченная видимость:**
 - число дней с туманами на побережье;
 - непрерывная продолжительность туманов;
 - повторяемость (%) горизонтальной видимости, равной или менее 2 км в открытом море;
 - повторяемость (%) горизонтальной видимости, равной или менее 1 км в открытом море;
 - средняя непрерывная продолжительность периодов с горизонтальной видимостью ниже заданных пределов на побережье;
- **грозы:**
 - среднее число дней с грозой;
 - средняя продолжительность гроз, часы;
 - комплексные метеорологические параметры;
 - методы расчёта комплексных метеорологических параметров;
 - повторяемость (%) сочетаний низкой температуры воздуха (ниже 0 °С) и скорости ветра на побережье;
 - повторяемость (%) сочетаний относительной влажности и положительной температуры воздуха на побережье;
- **типовые синоптические ситуации:**
 - карты синоптических ситуаций различных типов;
 - повторяемость (%) синоптических ситуаций различных типов.

Гидрология:

- факторы формирования гидрологического режима;
- схема размещения береговых гидрометеорологических станций и поквадратной обработки судовых гидрологических данных;
- сведения о пунктах гидрометеорологических наблюдений;
- параметры гидрологического режима:

- **уровень моря:**

- характеристика базы исходных данных об уровне моря;
- схема расположения пунктов наблюдений над уровнем моря;
- взаимное положение горизонтов отсчёта и реперов пунктов наблюдений за уровнем моря;
- средний месячный и годовой уровень моря;
- экстремальные уровни моря редкой повторяемости;
- многолетняя изменчивость среднего годового уровня моря;

- **волнение:**

- база данных для получения фоновых характеристик;
- методы получения фоновых характеристик;
- база данных для получения расчётных значений редкой повторяемости;
- методы получения расчётных значений редкой повторяемости;
- фоновые характеристики волнения;
- годовые и многолетние маргинальные функции распределения высот волн (средних и т. д.) или альтернативный набор квантилей этих функций;
- аналогичные функции распределения индивидуальных высот волн или набор их квантилей;
- среднемесячные, среднесезонные и среднегодовые значения квантилей высот волн;
- максимальные за сезон и за год значения этих квантилей;
- двумерные и условные распределения высот и периодов волн;
- месячные, сезонные, годовые и многолетние розы волнения;
- распределения высот волн по румбам;
- климатические частотные спектры;
- показатели ширины углового распределения энергии волн в двумерном спектре (среднеквадратичное круговое отклонение, параметр узконаправленности, кинематический коэффициент и др.);
- статистика штормов и окон погоды, в том числе количество штормов с высотами волн более заданных пороговых значений;

- среднегодовые значения потока волновой энергии и функции распределения этой величины;
- расчётные значения характеристик волн редкой повторяемости;
- высоты волн (средние и др.), определяемые по всей картушке компаса;
- высоты волн в наиболее сильном шторме названной повторяемости с указанием направления распространения;
- средний период волн, период максимума в спектре;
- среднее (или наиболее вероятное) значение периода волны, обладающей максимальной, средней и характерной высотой (ассоциированные периоды);
- кинематический коэффициент;
- возвышение гребня максимальной волны;
- спектры волн в экстремальном шторме;
- **течения:**
 - расположения пунктов наблюдений над течениями;
 - методы расчёта параметров режима по данным наблюдений за течениями;
 - методы расчётов режимных параметров течений с помощью математического моделирования;
 - повторяемость (%) скорости и направления течений по румбам на стандартных горизонтах;
 - расчётные направления и скорости течения на стандартных горизонтах при средних многолетних ветровых условиях;
- **температура воды:**
 - характеристика базы исходных данных о температуре воды;
 - методы расчёта параметров режима температуры воды;
 - средняя месячная и годовая температура воды на побережье;
 - квантили (25 %, 50 %, 75 %) функции распределения средней месячной температуры воды на побережье;
 - средняя месячная и годовая температура воды в открытом море;

- среднее квадратическое отклонение температуры воды в открытом море;
- средний многолетний суточный ход температуры воды на побережье;
- многолетний ход средней месячной температуры воды на побережье в центральные месяцы сезонов;
- **солёность:**
 - характеристика базы исходных данных о солёности;
 - методы расчёта параметров режима солёности;
 - средняя месячная и годовая солёность в открытом море на стандартных горизонтах;
 - среднее квадратическое отклонение солёности в открытом море на стандартных горизонтах.
- **Морской лёд:**
 - факторы формирования ледового режима;
 - схема размещения береговых гидрометеорологических станций и поквадратной обработки судовых данных;
 - сведения о пунктах гидрометеорологических наблюдений;
 - параметры ледового режима:
- **лёд (в неарктических морях):**
 - характеристика базы исходных данных о ледовых условиях;
 - методы расчёта параметров режима льда;
 - продолжительность и сроки навигационного периода;
 - характеристики сезонной изменчивости, сплочённости, размеров льдин, границ дрейфующего и припайного льда;
- **лёд (в арктических морях):**
 - характеристика базы исходных данных о ледовых условиях;
 - методы расчёта параметров режима льда;
 - продолжительность и сроки навигационного периода;
 - характеристики сезонной изменчивости, сплочённости, размеров льдин, границ дрейфующего и припайного льда;
 - сезонная изменчивость торосистого льда и стамух;

- параметры торосов и стамух: масса, высота паруса и глубина кия, параметры гряд, толщина консолидированной части, количество на 1 кв. км;
- изменчивость толщины ровного и наслоённого льда;
- сезонная изменчивость и количественные характеристики дрейфа льда;
- физико-механические свойства льда.

Гидрохимия:

- факторы формирования гидрохимического режима;
- схема размещения береговых гидрометеорологических станций и поквadratной обработки судовых гидрохимических данных;
- сведения о пунктах гидрохимических наблюдений;
- параметры гидрохимического режима:

- **водородный показатель:**

- характеристика базы исходных данных о водородном показателе;
- методы расчёта параметров режима водородного показателя;
- средние месячные и годовое значения водородного показателя в открытом море на стандартных горизонтах;
- среднее квадратическое отклонение значений водородного показателя в открытом море на стандартных горизонтах;

- **растворённый кислород:**

- характеристика базы исходных данных о растворённом кислороде;
- методы расчёта параметров режима растворённого кислорода;
- средние месячные и годовые значения концентрации растворённого кислорода в открытом море на стандартных горизонтах;
- среднее квадратическое отклонение значений концентрации растворённого кислорода солёности в открытом море на стандартных горизонтах;

- **редко используемые параметры:**

- характеристика базы исходных данных;
- методы расчёта параметров режима;

- средние месячные и годовое значения заданного параметра в открытом море на стандартных горизонтах;
- экстремумы значения заданного параметра в открытом море на стандартных горизонтах;
- среднеквадратическое отклонение значений заданного параметра в открытом море на стандартных горизонтах.

Помимо вышеперечисленных показателей, к климатическим показателям относятся глобальные и региональные показатели, которые представляют несомненный интерес потребителей, особенно исследователей.

Методики и алгоритмы получения выходной продукции МКС

Режимное состояние природной среды в МКС в первую очередь предлагается описывать с помощью ряда статистических параметров.

Для скалярных характеристик: среднее значение, стандартная ошибка среднего значения, среднее квадратическое отклонение, стандартная ошибка среднеквадратического отклонения, минимальное значение, 25, 50 и 75 % квантили функции распределения, максимальное значение, объём выборки, расчётные значения редкой повторяемости (возможные один раз в год, в 5, 10, 25 и 50 лет).

Для векторных характеристик: совместная повторяемость скорости и направления.

Для расчётов использованы данные измерений в прибрежной зоне моря, полученные по результатам срочных наблюдений на сети морских береговых гидрометеорологических станций (ГМС) и постов (ГМП), и данные океанографических и морских судовых гидрометеорологических наблюдений в открытой части морей России, включая станции вековых разрезов.

В силу того, что обрабатываемые материалы – данные наблюдений – могут быть регулярными (эквидистантными) во времени и пространстве (к ним относятся наблюдения на станциях и постах) или нерегулярными (неэквидистантными) во времени и пространстве (океанографические наблюдения и судовые

гидрометеорологические наблюдения), то методики расчётов разделены по типам наблюдений (временные ряды и нерегулярные данные), соответственно.

Для нерегулярных данных (температура воды и воздуха по судовым данным, солёность, плотность морской воды, скорость звука, содержание кислорода, характеристики ветра, волнения и др.) выполняется статистическое оценивание вероятностных характеристик [4, 5], таких как квартили функции распределения. Определяются минимальные и максимальные значения и даты их наблюдений.

Квартили функции распределения заданной характеристики определяются как значения, которые данная характеристика не превышает в 25, 50 и 75 % случаев.

Квартиль 50 % является серединой распределения и называется медианой.

Медиана (Me) вычисляется по правилу:

$$Me = X_{(n+1)/2}, \text{ если } n \text{ нечётное,}$$

$$Me = 0,5(X_{n/2} + X_{n/2 + 1}), \text{ если } n \text{ чётное.}$$

Квартили 25 и 75 % ($X_{0,75}$ и $X_{0,25}$) определяются как медианы соответствующих половин ранжированного ряда. Дополнительно проводится расчёт повторяемости характеристик, которая является выборочной оценкой вероятности и определяется как

$$f = n_k / N \quad k = 1, 2, 3, \dots, s,$$

где s – количество градаций; n_k – количество значений характеристики, попадающих в данную градацию; N – общее количество наблюдений.

Выбор градаций при расчёте повторяемости значений каждой характеристики проводится на основе анализа традиционных справочников и практики.

Для всей акватории выполняется осреднение по многолетним месяцам для одноградусных трапеций Марсдена и для каждой трапеции определялись экстремальные значения. Среднее месячное значение характеристики в данном месяце определяется как среднее арифметическое, медиана или трёхсреднее всех значений X в пределах пространственно-временного осреднения. Выбор процедуры зависит от объёма данных и вида функции

(закона) распределения, причём ко всем квадратам должна применяться одна и та же процедура. Если количество измерений n хотя бы в одном квадрате находится в интервале $5 < n < 20$, то в качестве среднего месячного значения принимается медиана функции распределения данных. Если количество измерений в данном квадрате не превышает 5, то осреднение данных вообще не производится и считается, что в данном квадрате в данном месяце данного года вообще нет данных.

Трёхсреднее обладает большей устойчивостью к выбросам, рассчитывалось оно через квантили распределения:

$$X_{TC} = (X_{0,75} + X_{0,25} + 2Me)/4.$$

Далее для всей акватории выполняется сглаживание средних по многолетним месяцам для одноградусных трапеций Марсдена. Для сглаживания применяется девятиточечный фильтр, общий вид которого может быть записан как

$$y(t) = \sum h(t-T)x(T),$$

где $h(t-T)$ – весовая функция.

Для регулярных данных ГМС/ГМП (температура морской воды и воздуха, солёность морской воды, уровень моря, характеристики ветра, волн и др.) выполняется статистическое оценивание [5] вероятностных характеристик, таких как квантили функции распределения, среднее арифметическое значение, определяются экстремальные значения и даты их наблюдений.

Среднее арифметическое значение определялось по выражению:

$$\bar{X} = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N X_j,$$

где N – число значений.

Схема расчёта среднего: определение среднесуточных значений по срочным данным – вычисление среднемесячных значений по среднесуточным – расчёт многолетних среднемесячных значений по среднемесячным – определение среднегодовых значений по среднемесячным – расчёт значений среднемноголетнего года по среднегодовым величинам.

Характеристики $X_{0,75}$ и $X_{0,25}$ для временных рядов рассчитываются в следующем порядке:

1) вычисляется повторяемость элементов за необходимый период наблюдения;

2) далее вычисляется оценка $F(x)$ функции распределения, причём значение $F_i(x_i)$ определяется для середины интервалов, по которым рассчитывалась повторяемость;

3) дискретная функция распределения заменяется непрерывно кусочно-линейной функцией, используя линейную интерполяцию, при этом $F(x_{\min} - E) = 0$, $F(x_{\max} + E) = 0$;

4) далее определяются квантили $X_{0,75}$ и $X_{0,25}$ функции распределения из условия $F(X_p) = P$. Дополнительно проводится расчёт повторяемости характеристик по вышеприведённым алгоритмам.

По ряду параметров может быть рассчитан многолетний линейный тренд, который характеризует монотонную систематическую многолетнюю изменчивость заданной характеристики.

Для береговых ГМС/ГМП расчёт таблиц проводится по месячным рядам срочных прибрежных данных, накопленных за весь период наблюдений. Для акватории открытого моря основные статистические характеристики вычисляются по рядам данных глубоководных и попутных судовых наблюдений, накопленным по одноградусным трапециям Марсдена за весь период наблюдений.

Схема расчёта для всех видов наблюдений одна и та же. Сначала, например за календарный январь, как среднеарифметические определяются среднесуточные значения параметра, далее по среднесуточным – среднедекадные характеристики, по среднедекадным – среднемесячные значения. Среднемноголетнее месячное значение определяется как общая сумма среднемесячных значений параметра за все январы, делённая на количество январей.

Экстремальные значения параметра выбираются из всего ряда значений параметра за многолетний январь. Годовые характеристики получаются аналогично, но по годовым (а не месячным) рядам данных.

При проведении расчётов проводится оценивание ошибок расчёта параметров режима по общепринятым методикам. Полученные оценки стандартных ошибок можно сопоставить с их типовым

значением. Так, например, для уровня моря – не более 1 см, для температуры воды – не более 0,1 °С, для солёности – 0,05 ‰, для концентрации растворённого кислорода – 0,05 мг/л и т. п.

Всё вышесказанное относится практически к уже ставшей стандартной схеме обработки гидрометеорологических данных. Естественно, возникают вопросы улучшения информации о состоянии климата, и в частности вопросы о предоставлении не только оценки климата, но и оценки его изменения – прогноз. Такое смещение акцента климатологической обработки приводит к принципиальному изменению требований к методам климатических обобщений. Другими словами, необходимо определять текущее состояние климата и его возможные значения в перспективе. Всё это необходимо всесторонне изучить тщательно и обоснованно. Похоже, работы в этом направлении – вопросы нашего будущего, решение которых потребует определённых усилий и времени.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Воронцов А. А.* Новая технология подготовки электронных морских Атласов для научной и практической деятельности в Единой государственной системе информации об обстановке в Мировом океане // Успехи современного естествознания. 2009. № 8. С. 82–84.
2. *Воронцов А. А.* Практическая реализация информационной системы обеспечения данными по морской природной среде на основе современных отечественных ГИС и СУБД // Новые информационные технологии. М.: МГАПИ, 2005. С. 21–27.
3. *Воронцов А. А., Степаненко С. Р.* О развитии обслуживания гидрометеорологической информацией // Актуальные вопросы современной науки. Новосибирск: СИБПРИНТ, 2013. С. 15–26.
4. *Микулинская С. М. и др. / С. М. Микулинская, Н. Н. Михайлов, В. А. Рожков, И. С. Шпайер.* Метод анализа сезонной изменчивости неэквидистантных временных рядов гидролого-гидрохимических данных // Режимообразующие факторы, информационная база и методы её анализа. Л.: Гидрометеоиздат, 1989. С. 109–132.
5. *Рожков В. А.* Теория и методы статистического оценивания случайных величин и функций с гидрометеорологическими примерами. СПб.: Гидрометеоиздат, 2001–2002. 998 с.
6. *Руководящие указания ВМО по расчёту климатических норм.* ВМО-№ 1203. ВМО, 2017. 32 с.

Сборник научных трудов

Труды ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД». Выпуск 187

Подписано к печати 29.12.2020 г. Формат 60×84/16.

Печать офсетная. Печ. л. 13,95. Тираж 300 экз. Заказ № 52.

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

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

Оценки долговременных тенденций в изменении стока крупнейших рек арктического бассейна России в связи с произошедшими и ожидаемыми изменениями климата. Гниломедов Е. В. Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2020. Вып. 187. С. 5 – 18.

В статье изложен метод расчёта годового стока воды по данным прогнозных значений осадков. Суть метода состоит в нахождении максимально высокой корреляции между стоком и осадками путём исключения из расчётов участков водосбора, где связь между количеством осадков и количеством воды, поступившей в речную сеть, искусственно нарушена вследствие сооружения водохранилищ и водозаборных сооружений либо является сложной по естественным причинам.

Также в статье приведены анализ данных рядов наблюдений за осадками и гидрологическим режимом рек арктического бассейна России, расчёты по выявлению зависимости стока воды от определяющих его факторов средствами ГИС и специально созданных программ, прогностические оценки водности крупнейших рек арктического бассейна на территории России до 2052 года.

Ключевые слова: сток воды, бассейн реки, водосбор, количество осадков, трендовые оценки стока рек, среднегодовые расходы воды, тенденции в изменении стока рек.

Ил. 6. Библиогр. 11.

УДК 551.501.771

Особенность изменчивости относительной влажности воздуха на территории России за последние десятилетия. Кузнецова В. Н., Швець Н. В. Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2020. Вып. 187. С. 19 – 33.

Проведён анализ изменчивости относительной влажности воздуха по данным 516 станций по квазиоднородным климатическим районам России за период 1966–2019 гг. Получены сезонные и годовые коэффициенты линейного тренда по районам. Рассмотрены некоторые особенности изменения режима относительной влажности воздуха на территории России в зависимости от сезона года и географического района. Показано, что годовые изменения влажности на территории России незначительные, тенденция увеличения влажности отмечается лишь зимой, а уменьшение – весной, летом и осенью тенденции разнонаправлены в зависимости от района. Обнаружены районы, имеющие общие закономерности изменения относительной влажности воздуха. Показано, что больший вклад в изменения влажности вносит последнее тридцатилетие.

Ключевые слова: изменение климата, квазиоднородные климатические районы, линейный тренд, влажность воздуха, изменчивость относительной влажности воздуха.

Ил. 6. Табл. 2. Библиогр. 16.

УДК 551.576.1:551.58

Долгопериодные пространственно-временные изменения числа восстановленных по радиозондовым профилям облачных слоёв для российских станций. Черных И.В., Алдухов О.А. Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2020. Вып. 187. С. 34–60.

Статья содержит информацию о долгопериодных пространственно-временных изменениях числа облачных слоёв, восстановленных по срочным радиозондовым наблюдениям в слое атмосферы от уровня земли до высоты 10 км, проводимых на 58 станциях территории РФ и соседних регионов за период 1964–2019 гг. Они получены с использованием СЕ-метода, разработанного для определения границ и количества облачности по профилям температуры и влажности на основе данных срочных радиозондовых наблюдений. Результаты могут быть использованы для проведения прикладных и исследовательских работ по изучению климата и его изменений.

Ключевые слова: число облачных слоёв, вертикальная макроструктура, данные радиозондирования атмосферы, пространственно-временные изменения, территория РФ и соседних регионов.

Ил. 6. Табл. 8. Библиогр. 58.

УДК 551.583.13

Цикличность изменения температуры воздуха в Европе по данным многолетних наблюдений в Центральной Англии. Шерстюков Б.Г., Салугашвили Р.С. Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2020. Вып. 187. С. 61–68.

Анализировались сглаженные по скользящим 11-летиям значения зимней температуры в Центральной Англии за 1800–2020 годы. Выявлен линейный тренд потепления на всём интервале лет за более чем 200-летнюю историю анализируемого ряда. Тренд потепления объясняется фундаментальным природным фактором формирования климата Земли. Методом спектрального анализа в остатках ряда после исключения тренда выделены достоверные составляющие колебаний температуры с периодами 73,3; 44,0 и 24,4 года. Построена модель колебаний температуры, состоящая из суперпозиции трёх синусоид с подобранными начальными фазами и амплитудами. Вместе с трендом модель описала 97 % долгопериодных изменений климата Центральной Англии. Сделан вывод о том, что повышение температуры в последней четверти XX века являлось очередной восходящей фазой природных колебаний, не связанных с антропогенным влиянием.

Ключевые слова: температура воздуха, долгопериодные колебания, изменения климата, антропогенный фактор.

Ил. 3. Табл. 1. Библиогр. 9.

УДК 504.423

О связи вариаций температуры поверхности океана с циклическими изменениями притока солнечной радиации. Шерстюков Б.Г., Федоров В.М., Шерстюков А.Б. Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2020. Вып. 187. С. 69 – 77.

Рассматривались проявления межгодовых изменений инсоляционного климата Земли в многолетних изменениях температуры поверхности Мирового океана. Выполнены расчёты инсоляции по данным высокоточных астрономических эфемерид для всей поверхности Земли (без учёта атмосферы). Привлекались данные о температуре поверхности океана в узлах географической сетки и ряд данных индекса Nino4 за 1950–2019 годы. Анализировались сглаженные по скользящим пятилетиям значения инсоляции, температуры и Nino4. Вычислены коэффициенты асинхронной корреляции температуры с вариациями инсоляции. Показано, что наилучшие значимые коэффициенты корреляции температуры океана с вариациями инсоляции наблюдаются преимущественно на приэкваториальных широтах в западной и центральной частях Тихого океана в районах появления Эль-Ниньо и Ла-Нинья. Наилучшие связи обнаружены при запаздывании изменений температуры поверхности океана на 6 лет относительно вариаций инсоляции. Значимые асинхронные коэффициенты корреляции между вариациями инсоляции и индексом Nino4 подтвердили связь Эль-Ниньо Модоки с вариациями инсоляции при многолетних изменениях наклона оси вращения Земли.

Ключевые слова: инсоляция, температура океана, Эль-Ниньо.

Ил. 4. Библиогр. 20.

УДК 551.506.7

Каталог аэрологических станций по архивам Единого государственного фонда данных. Хохлова А.В., Тимофеев А.А., Руденкова Т.В. Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2020. Вып. 187. С. 78 – 90.

Приведено описание комплекса «Каталог аэрологических станций», основанного на метаданных аэрологических станций и характеристиках качества зондирования. В последние входят ежемесячное количество зондирований, среднемесячные значения минимального давления, максимальной высоты и количества уровней в зондированиях для каждой станции.

Ключевые слова: аэрологические станции, данные радиозондирования, архивы, каталоги, метаданные.

Ил. 5. Табл. 2. Библиогр. 14.

УДК 551.509.331

Сезонные прогнозы температуры воздуха на территории России по методу экстраполяции ритмов с заблаговременностью девять-одиннадцать месяцев. Шерстюков Б. Г. Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2020. Вып. 187. С. 91 – 112.

Предложены основные принципы авторского метода сезонных прогнозов температуры воздуха большой заблаговременности. Описаны оценки успешности авторских ретроспективных прогнозов, выполненных за последние 20 лет по 180 станциям России. Выполнено их сравнение с успешностью оперативных прогнозов Северо-Евразийского климатического центра Росгидромета (СЕКЦ), составляемых с нулевой заблаговременностью. Наименьшая среднеквадратическая ошибка авторских прогнозов была летом (1,14 °C), наибольшая – зимой (2,14 °C). Ошибка прогноза среднегодовой температуры составила 0,99 °C.

По оценкам ρ экспериментальные прогнозы ВНИИГМИ-МЦД на зимний, весенний и осенний сезоны оказались успешнее прогнозов СЕКЦ, а летние прогнозы оказались более успешными в СЕКЦ. Преимуществом сезонных прогнозов ВНИИГМИ-МЦД также является их заблаговременность 9 месяцев по сравнению с нулевой заблаговременностью прогнозов СЕКЦ.

Оценки успешности прогнозов по каждой станции и по каждому сезону отдельно показали, что метод сезонных прогнозов ВНИИГМИ-МЦД позволяет составлять сезонные прогнозы в большинстве регионов России с оправдываемостью от 70 до 80 %. Более успешными прогнозы оказались в районах более сильного взаимодействия атмосферы с океанами. Прогноз среднегодовой температуры оправдывается в 80–99 % почти на всей территории страны.

Ключевые слова: сезонный прогноз, долгосрочный прогноз, температура, оправдываемость прогноза.

Ил. 12. Табл. 2. Библиогр. 12.

УДК 551.501:004

Некоторые особенности типологического анализа состава электронных документов Единого государственного фонда данных о состоянии окружающей среды, её загрязнении (ЕГФД). Сомов С. В., Николенко И. Ф. Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2020. Вып. 187. С. 113 – 124.

Рассматриваются наиболее актуальные направления и задачи совершенствования методического обеспечения ЕГФД, связанные с характерными классами, видами и форматами электронных документов.

Ключевые слова: ЕГФД, электронный документ, постоянное и долговременное хранение документов, виды и форматы электронных документов.

Библиогр. 13.

УДК 004.6:551.5:004.9

Технология формирования базы данных детальных метаописаний объектов хранения ЕГФД. Михеев Н.Ю., Колесников Е.В. Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2020. Вып. 187. С. 125 – 142.

Настоящая статья посвящена проблеме мониторинга полноты и качества структурированных данных объектов хранения Единого государственного фонда данных о состоянии окружающей среды, её загрязнении (ЕГФД), хранящихся в формате специализированного языка описания данных ЯОД на электронных носителях.

Основная цель данной работы – выделить актуальность проблемы мониторинга гидрометеорологической информации и подготовить технические решения в виде программного инструмента оперативного получения актуальной достоверной информации о состоянии полноты и качества фонда гидрометеорологических данных с целью проведения различных типов анализа.

В данной работе представлены: описание текущего состояния информатизации ЕГФД по заданной проблематике, модель описания объектов хранения ЕГФД, общая функциональная схема, концептуальная модель базы данных, а также описание рабочего макета предлагаемой системы.

Ключевые слова: Росгидромет, Единый государственный фонд данных о состоянии окружающей среды, её загрязнении (ЕГФД), перезапись фонда данных, язык описания данных (ЯОД), технология формирования и хранения метаописаний, база данных, удалённый доступ, жизненный цикл объекта хранения, поисковый запрос, полнота и качество данных.

Ил. 4. Табл. 1. Библиогр. 2.

УДК 551.501:629.7:004

Динамика роста экономического эффекта специализированного гидрометеорологического обеспечения авиации. Воробьева Л.Н., Коршунов А.А., Рыбанова А.Ю., Фокичева А.А., Шевченко О.И. Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2020. Вып. 187. С. 143 – 157.

Рассматриваются некоторые аспекты динамики изменения экономического эффекта гидрометеорологического обеспечения информационной продукцией организаций Росгидромета отрасли Гражданской авиации. Подчёркнута важность получения этой информации, результатов научных исследований и дополнительных статистических и экономических данных, позволяющих оценить опасность воздействия опасных гидрометеорологических явлений и неблагоприятных условий погоды на авиацию.

Ключевые слова: Гражданская авиация (авиация), опасные гидрометеорологические явления, неблагоприятные условия погоды, социально-экономическая система, экономический эффект.

Ил. 3. Табл. 2. Библиогр. 14.

УДК 551.524

Оценка результатов гомогенизации температуры воздуха по данным станций России. Финаев А.Ф., Разуваев В.Н. Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2020. Вып. 187. С. 158 – 169.

В статье представлен анализ результатов гомогенизации данных среднемесячной температуры воздуха для 518 станций России с использованием пакета RHTests. Показана статистическая информация при сравнении однородных и неоднородных рядов данных и моделированных карт.

Ключевые слова: климат, метеорология, температура воздуха, гомогенизация, однородные ряды.

Ил. 9. Табл. 3. Библиогр. 9.

УДК 551.510.522

Изменение повторяемости температурных инверсий на станции Астрахань за последние годы. Козлова Л.Ф. Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2020. Вып. 187. С. 170 – 177.

Выполнен анализ повторяемости приземных температурных инверсий по данным радиозондовых измерений на российской станции Астрахань за период 1988–2019 гг. Проведено сравнение со справочными характеристиками за период 1959–1968 годов.

Ключевые слова: приземный слой атмосферы, климат, температурные инверсии, радиозондовые наблюдения.

Ил. 4. Библиогр. 12.

УДК 551.524.77

Массив характеристик тропопauзы по данным радиозондирования в арктическом регионе. Козлова Л.Ф., Руденкова Т.В., Хохлова А.В. Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2020. Вып. 187. С. 178 – 185.

Массив статистических характеристик тропопauзы получен в ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД» по данным 39 относительно полных и длиннорядных аэрологических станций территории РФ, расположенных севернее 60° с. ш. за период 1978–2019 гг. Файлы данных включают статистические данные метеорологических величин (температуры, высоты и давления) на уровне нижней границы полярной тропопauзы, а также характеристики их годового хода и тренды.

Ключевые слова: аэрологические наблюдения, тропопauза, климат, тренды, арктический регион, радиозондовые данные.

Ил. 1. Табл. 1. Библиогр. 9.

УДК [551.501 + 556.043 + 551.46] : 43

Разработка структуры перечня документов, образующихся в процессе деятельности Федеральной службы по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды. Кашина И.И., Кузнецов А.А. Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2020. Вып. 187. С. 186 – 196.

В статье представлена структура Перечня документов, образующихся в процессе деятельности Федеральной службы по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (Росгидромет), её территориальных органов и подведомственных организаций с указанием сроков хранения документов. Структура Перечня состоит из двух блоков – схемы его построения и схемы звенности. Схема Перечня включает типовые функции (управленческие и научно-технические) и функции в сфере деятельности Росгидромета. Схема звенности (классификации) организаций, выполняющих основные отраслевые, вспомогательные и обслуживающие функции, включает четыре звена: Центральный аппарат Росгидромета, территориальные органы, научно-исследовательские и образовательные учреждения, другие подведомственные организации.

Ключевые слова: архив, структура перечня архивных документов, гидрометеорология, мониторинг окружающей среды.

Табл. 2. Библиогр. 7.

УДК 551.576.2 (470+571)

Эмпирико-статистический анализ количества общей облачности и облачности нижнего яруса на территории России. Дементьева Т.В., Коршунова Н.Н. Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2020. Вып. 187. С. 197 – 204.

Приводится описание созданного для свободного доступа специализированного массива «Среднемесячное количество общей облачности и облачности нижнего яруса». С целью проверки качества данного массива получены статистические характеристики количества общей и нижней облачности. Проведено сравнение полученных результатов с ранее опубликованными. Выявлена тенденция к росту количества облачности во все сезоны на значительной территории РФ.

Ключевые слова: облачность, количество облачности, количество общей и нижней облачности, тренды количества облачности, среднемесячное количество общей облачности и облачности нижнего яруса.

Ил. 4. Библиогр. 8.

УДК 551.46.06 : 681.3.06

Развитие режимно-справочных пособий по морской природной среде для информационного обеспечения морской деятельности. Воронцов А.А., Грузинов В.М., Булыгин А.М. Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2020. Вып. 187. С. 205 – 223.

В статье рассмотрены вопросы развития современных режимно-справочных пособий по морской природной среде и переход на новое электронное издание – морской климатический справочник (МКС). Показан состав и основное наполнение МКС для отдельно взятого моря. Приведены схемы использования потребителями МКС как информационной продукции для обеспечения морской деятельности.

Ключевые слова: климат моря, режим, гидрометеорология, океанография, метеорология, гидрохимия, морской справочник.

Библиогр. 6.

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

Assessment of long-term trends in the flow of the largest rivers in the Arctic basin of Russia due to past and expected climate changes. Gnilyomedov E.V. Proceedings of RIHMI-WDC. 2020. N 187. P. 5 – 18.

The article describes a method for calculating annual water flow based on forecast precipitation values. The method consists in finding the highest correlation between runoff and precipitation by excluding from the calculations the sections of the catchment, where the relationship between rainfall and amount of water received by the river network is artificially disrupted by the construction of reservoirs and intake structures or the relationship is complex for natural reasons.

The article also provides an analysis of data from series of observations of precipitation and hydrological regime of rivers in the Arctic basin of Russia, calculations to identify the dependence of water flow on determining factors using GIS and specially created programs, and prognostic estimates of the water content of the largest rivers in the Arctic basin in Russia until 2052.

Keywords: water flow, river basin, catchment area, precipitation, trend estimates of river flow, mean annual water discharge, river flow trends.

Fig. 6. Ref. 11.

UDC 551.501.771

Variability of relative air humidity over the Russian territory in the past decades. Kuznetsova V.N., Shvets N.V. Proceedings of RIHMI-WDC. 2020. N 187. P. 19 – 33.

Variability of relative air humidity is analyzed for Russian quasi-homogeneous climatic regions for the period 1966–2019 based on the data from 516 stations. Seasonal and annual linear trend coefficients are obtained for each region. Specific features of changes in relative air humidity over the Russian territory are considered in relation to season and geographical region. It is shown that annual air humidity variations over the Russian area are insignificant. A trend for air humidity increase is only recorded in winter, while in spring, air humidity decreased. In summer and autumn, the trends are directed differently depending on region. Regions with the common patterns of relative air humidity variability are found. The past three decades are shown to make the largest contribution to air humidity variability.

Keywords: climate change, quasi-homogeneous climatic regions, linear trend, air humidity, relative air humidity variability.

Fig. 6. Tab. 2. Ref. 16.

UDC 551.576.1:551.58

Long-term space-time changes of the number of cloud layers reconstructed from radiosonde observations for Russian stations. Chernykh I.V., Aldukhov O.A. Proceedings of RIHMI-WDC. 2020. N 187. P. 34–60.

The paper contains information on long-term space-time changes in the number of cloud layers reconstructed from hourly radiosonde observations in the atmospheric layer from the surface to the 10-km height. The observations were conducted at 58 stations on the Russian territory and the neighboring regions in the period 1964–2019. The observations employed CE-method developed to determine boundaries and amount of clouds from temperature and humidity profiles based on hourly radiosonde observations. The results can be used in performing applied work and climate and climate change research.

Keywords: number of cloud layers, vertical macrostructure, upper air data, space-time changes, Russian Federation and neighbor regions.

Fig. 6. Tab. 8. Ref. 58.

UDC 551.583.13

Cyclicity of air temperature variations in Europe according to long-term observations in central England. Sherstyukov B.G., Salugashvili R.S. Proceedings of RIHMI-WDC. 2020. N 187. P. 61–68.

We analyzed winter temperatures smoothed over 11-year moving averages in central England for 1800–2020. A linear warming trend was revealed over the entire interval of years for more than 200 years of history of the analyzed series. The warming trend is explained by a fundamental natural factor in the formation of the Earth climate. The method of spectral analysis in the residuals of the series after excluding the trend was used to identify reliable components of temperature fluctuations with periods of 73.3, 44.0, and 24.4 years. A model of temperature fluctuations is constructed, which consists of a superposition of three sinusoids with selected initial phases and amplitudes. Along with the trend, the model described 97% of the long-term climate changes in central England. It is concluded that the rise in temperature in the last quarter of the twentieth century was another upward phase of natural fluctuations not associated with anthropogenic impact.

Keywords: air temperature, long-term fluctuations, climate change, anthropogenic factor.

Fig. 3. Tab. 1. Ref. 9.

UDC 504.423

On the relation of ocean surface temperature variations to cyclic changes in the solar radiation flow. Sherstyukov B.G., Fedorov V.M., Sherstyukov A.B. Proceedings of RIHMI-WDC. 2020. N 187. P. 69–77.

The manifestations of interannual changes in the Earth insolation climate in the perennial changes in the Global Ocean surface temperature were considered. The insolation was calculated from data of high-precision astronomical ephemeris for the entire surface of the Earth (excluding the atmosphere). Grid-point data on ocean surface temperature and Nino4 index data for 1950–2019 were used. The values of insolation, temperature, and Nino4 smoothed over moving five-year periods were analyzed. Coefficients of asynchronous temperature correlation with insolation variations are calculated. It was shown that the best significant coefficients of ocean temperature correlation with insolation variations are observed mainly at the near-equatorial latitudes in the western and central Pacific Ocean in the areas of El Niño and La Niña. The best relations were found when the changes in ocean surface temperature were delayed by 6 years relative to insolation variations. Significant asynchronous correlation coefficients between insolation variations and the Nino4 index confirmed the relationship between El Niño Modoki and insolation variations with long-term changes in the inclination of the Earth's rotation axis.

Keywords: insolation, ocean temperature, El Nino.

Fig. 4. Ref. 20.

UDC 551.506.7

Catalogue of upper-air stations in the aerological archives of the Unified State Environmental Data Fund. Khokhlova A.V., Timofeev A.A., Rudenkova T.V. Proceedings of RIHMI-WDC. 2020. N 187. P. 78–90.

The article describes the «Catalogue of upper-air stations» based on metadata of upper-air stations and characteristics of sounding quality. The latter includes the monthly number of soundings, monthly average values of minimum pressure, maximum altitude and the number of levels in soundings for each station.

Keywords: upper-air stations, radio sounding data, archives, catalogue, metadata.

Fig. 5. Tab. 2. Ref. 14.

UDC 551.509.331

Seasonal forecasts of air temperature in Russia using the method of extrapolation of rhythms with a lead time of nine to eleven months. Sherstyukov B. G. Proceedings of RIHMI-WDC. 2020. N 187. P. 91 – 112.

The basic principles of the author's method of seasonal air temperature forecasts with a long lead time are proposed. The skills of the author's retrospective forecasts made over the past 20 years for 180 stations in Russia are estimated. They were compared with the skills of the operational forecasts of the North Eurasian Climate Center of Roshydromet (NECC) that were made with zero lead time. The smallest root-mean-square error of the author's forecasts was in summer (1.14 °C), while the largest one – in winter (2.14 °C). The forecast error of the mean annual temperature was 0.99 °C.

According to ρ estimates, the experimental forecasts of RIHMI-WDC for the winter, spring and autumn seasons turned out to be more successful than the NECC forecasts, while summer forecasts were more successful in NECC. The other advantage of RIHMI-WDC seasonal forecasts is their lead time of 9 months in comparison with the zero lead time of the NECC forecasts.

Estimates of the success of forecasts for each station and for each season separately showed that the method of seasonal forecasts of RIHMI-WDC makes it possible to make seasonal forecasts in most regions of Russia with an accuracy of 70 to 80 %. The predictions were more successful in the areas of the stronger atmosphere–ocean interaction. The mean annual temperature forecast shows the 80 to 90-percent accuracy almost throughout the country.

Keywords: seasonal forecast, long-term forecast, temperature, forecast validity.

Fig. 12. Tab. 2. Ref. 12.

UDC 551.501:004

Some features of the typological analysis of the composition of electronic documents of the Unified State Environmental Data Fund (USED F). Somov S. V., Nikolenko I. F. Proceedings of RIHMI-WDC. 2020. N 187. P. 113 – 124.

The most relevant issues and tasks of improving the methodical support for USED F pertaining to the specific classes, types and formats of electronic documents are considered.

Keywords: USED F, electronic document, permanent and long-term storage of documents, types and formats of electronic documents.

Ref. 13.

UDC 004.6:551.5:004.9

The technology of forming a database of detailed meta-descriptions of storage objects of Unified State Environmental Data Fund. Mikheev N.Yu., Kolesnikov E.V. Proceedings of RIHMI-WDC. 2020. N 187. P. 125 – 142.

This article is devoted to the problem of monitoring the completeness and quality of structured data of storage facilities of the Unified State Environmental Data Fund (USED F), which are stored in the format of a specialized language for nuclear weapon data description on electronic media.

The main goal of this work is to highlight the relevance of the problem of monitoring hydrometeorological information and to prepare technical solutions in the form of a software tool for promptly obtaining relevant and reliable information on the completeness and quality of the hydrometeorological data fund in order to conduct various types of analysis.

This paper presents a description of the current state of informational support of the USED F for the problems specified, a model for describing storage objects of the USED F, a general functional diagram, a conceptual database model, and a description of the working model of the proposed system.

Keywords: ROSHYDROMET, Unified State Environmental Data Fund, Data fund rewriting, data description language (DDL), forming and storing meta-descriptions technology, database, remote access, storage object lifecycle, searching request, completeness and quality of data.

Fig. 4. Tab. 1. Ref. 2.

UDC 551.501:629.7:004

Dynamic growth in benefits of specialized hydrometeorological support of aviation. Vorobyova L.N., Korshunov A.A., Rybanova A.Yu., Fokicheva A.A., Shevchenko O.I. Proceedings of RIHMI-WDC. 2020. N 187. P. 143 – 157.

Some aspects of dynamic change in benefits of hydrometeorological information support of Roshydromet organizations related to aviation are considered. The importance of hydrometeorological information, research results and additional statistical and economic data are emphasized since these make it possible to estimate the danger of the impact of hydrometeorological hazards and severe weather on aviation.

Keywords: civil aviation, hydrometeorological hazards, severe weather, socio-economic system, benefits.

Fig. 3. Tab. 2. Ref. 14.

UDC 551.524

Assessment of air temperature data homogenization for meteorological stations of Russia. Finaev A.F., Razuvaev V.N. Proceedings of RIHMI-WDC. 2020. N 187. P. 158 – 169.

The article discusses results of the analysis of average monthly air temperature data homogenization for 518 weather stations in Russia using RHTests package. Statistical information is shown in comparing homogeneous and heterogeneous data series with simulated maps.

Keywords: climate, meteorology, air temperature, homogenization, homogeneous data series.

Fig. 9. Tab. 3. Ref. 9.

UDC 551.510.522

Changes in the frequency of temperature inversions at the Astrakhan station in recent years Kozlova L.F. Proceedings of RIHMI-WDC. 2020. N 187. P. 170 – 177.

The analysis of the frequency of surface temperature inversions based on radiosonde measurements at the Russian station Astrakhan for the period 1988–2019 is performed. Comparison with reference characteristics for the period 1959–1968 is made.

Keywords: Roshydromet, surface layer of the atmosphere, climate, temperature inversions, radiosonde observations.

Fig. 4. Ref. 12.

UDC 551.524.77

Dataset of tropopause characteristics based on radiosounding data in the Arctic region. Kozlova L.F., Rudenkova T.V., Khokhlova A.V. Proceedings of RIHMI-WDC. 2020. N 187. P. 178 – 185.

A dataset of statistical characteristics of the tropopause is obtained in RIHMI-WDC for 39 upper-air stations located to the north of 60° N on the territory of the Russian Federation for the period 1978–2019. The dataset includes traditional ordinal statistics of the meteorological elements (temperature, height and pressure) at the lower boundary of the tropopause and the characteristics of the annual variation and trends.

Keywords: aerological observations, tropopause, climate, trends, Arctic region, upper-air data.

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

UDC [551.501+556.043+551.46]:43

Design of the structure of documents drawn up by the Federal Service for Hydrometeorology and Environmental Monitoring. Kashina I.I., Kuznetsov A.A. Proceedings of RIHMI-WDC. 2020. N 187. P. 186 – 196.

The article presents the structure of the List of documents drawn up by the Federal Service for Hydrometeorology and Environmental Monitoring (Roshydromet), its territorial bodies and subordinate organizations, with the terms of the document storage indicated. The structure of the List consists of two blocks-the scheme of its construction and the scheme of links. The scheme of the List includes typical functions (managerial, scientific and technical) and functions in the field of the Roshydromet activity. The scheme of links (classification) of organizations that perform the main industry, auxiliary and service functions includes four links: the Central office of Roshydromet, territorial bodies, research and educational institutions, and other subordinate organizations.

Keywords: archive, structure of the list of archival documents, hydrometeorology, environmental monitoring.

Tab. 2. Ref. 7.

UDC 551.576.2 (470+571)

Empirical and statistical analysis of the amount of total and lower-level clouds cover on the territory of Russia. Dementieva T.V., Korshunova N.N. Proceedings of RIHMI-WDC. 2020. N 187. P. 197 – 204.

Specialized free-access data set «Mean monthly amount of total and lower-level clouds» is described. In order to check the quality of this array, statistical characteristics of the amount of total and lower clouds cover were obtained. The results obtained were compared with those previously published. A trend for the increase in the amount of clouds in all seasons over a large territory of the Russian Federation is found.

Keywords: clouds, amount of clouds, amount of total and lower clouds, trends in the amount of clouds, mean monthly amount of total and low-level clouds.

Fig. 4. Ref. 8.

UDC 551.46.06 : 681.3.06

Development of regime reference manuals on the marine environment for information support of marine activities. Vorontsov A.A., Gruzinov V.M., Bulygin A.M. Proceedings of RIHMI-WDC. 2020. N 187. P. 205 – 223.

The article discusses the development of modern regime reference manuals for the marine environment and the transition to a new electronic publication – Marine Climate Reference Book. The composition and main content of the Reference Book for the individual sea are shown. The schemes of application of the Marine Climate Reference Book as information products by users for ensuring maritime activities are presented.

Keywords: marine climate, regime, hydrometeorology, oceanography, meteorology, hydrochemistry, marine reference book.

Ref. 6.