

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИИ И МОНИТОРИНГУ  
ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

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



*Под редакцией  
доктора физико-математических наук А. М. Стерина*

ОБНИНСК  
2021

---

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

*Редакционная коллегия*

*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 ведётся публикация статей, подготовленных сотрудниками ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД». Публикации посвящены различным направлениям научной и научно-оперативной деятельности института в контексте задач, поручаемых институту планами Росгидромета, задач, связанных с обеспечением деятельности Росгидромета, а также задач других программ и проектов, в которых участвуют специалисты института.

Рассматриваются аспекты развития технологий Госфонда и применения материалов и технологий Госфонда для обслуживания потребителей гидрометеорологической информацией, в том числе информацией об опасных гидрометеорологических явлениях и их влиянии на конкретные отрасли экономики. Рассматриваются различные технологии управления данными об окружающей среде. Представлены методические и технологические вопросы ведения фондов данных Госфонда и фондов научно-технической информации. Описаны некоторые новые массивы климатических данных и результаты их эмпирико-статистического анализа. Проблеме меняющегося климата, проявлениям изменений различных компонент климата, улучшению качества климатических данных посвящены несколько публикаций. Ряд публикаций содержит сведения справочно-методического характера, необходимые для сотрудников Росгидромета, в первую очередь, для работников сетевых организаций.

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

The collection contains publications of articles prepared by employees of RIHMI-WDC. The publications are devoted to various areas of scientific and scientific-operational activities of the Institute in the context of the tasks entrusted to the Institute by the plans of Roshydromet, the tasks related to ensuring the activities of Roshydromet, as well as the tasks of other programs and projects in which the specialists of the Institute participate.

Aspects of the development of the State Data Fund technologies and the use of materials and technologies of the State Data Fund for providing users with hydrometeorological information, including information on hydrometeorological hazards and their impact on specific sectors of the economy, are considered. Various environmental data management technologies are considered. The methodological and technological issues of maintaining the data funds of the State Data Fund and the funds of scientific and technical information are presented. Some new sets of climatic data and the results of their empirical and statistical analysis are described. Several publications are devoted to the problem of changing climate, the manifestations of changes in various climate components, and the improvement of the quality of climate data. A number of publications contain information of reference and methodological nature that is necessary for Roshydromet employees, primarily for employees of network organizations.

The collection will be useful to a wide range of specialists interested in using information on the natural environment.

## СОДЕРЖАНИЕ

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |     |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <i>Михайлов Н. Н., Белов С. В., Вязилов Е. Д., Лобачёв П. С., Кузнецов А. А., Баталкина С. А., Белова К. В., Вязилова Н. А., Ибрагимова В. И., Козловцев А. В., Мельников Д. А., Пузова Н. В., Нефёдова Г. И.</i> Концепция гидрометеорологического обеспечения морской деятельности на основе Единой государственной системы информации об обстановке в Мировом океане в контексте цифровой трансформации Росгидромета..... | 5   |
| <i>Гниломедов Е. В.</i> Оценки тенденций стока воды в половодье на реках в бассейнах Енисея и Лены.....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | 35  |
| <i>Коршунов А. А., Шаймарданов В. М., Шаймарданов М. З.</i> Технология обеспечения пользователей данными об опасных и неблагоприятных гидрометеорологических явлениях.....                                                                                                                                                                                                                                                   | 59  |
| <i>Гниломедов Е. В.</i> Оценки тенденций стока воды в половодье и паводочный период на реках Камчатки, Забайкалья и бассейна Амура.....                                                                                                                                                                                                                                                                                      | 72  |
| <i>Рыбанова А. Ю., Шамин С. И.</i> Частота воздействия опасных гидрометеорологических явлений на экономику и население Российской Федерации за 1991–2020 годы.....                                                                                                                                                                                                                                                           | 93  |
| <i>Белова К. В., Михайлов Н. Н.</i> Модель интеграции приложений и её реализация в Единой государственной системе информации об обстановке в Мировом океане.....                                                                                                                                                                                                                                                             | 103 |
| <i>Коршунова Н. Н., Давлетшин С. Г.</i> Изменение индексов экстремальности на территории России.....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | 116 |
| <i>Руденкова Т. В., Тимофеев А. А.</i> Результаты мониторинга полноты и содержания опытных файлов нового массива текущих аэрологических данных, поступающих из сети ГСТ в кодовых формах BUFR.....                                                                                                                                                                                                                           | 128 |
| <i>Шерстюков Б. Г., Шерстюков А. Б.</i> Площадь морского льда в Северном Ледовитом океане: изменения, прогноз.....                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | 137 |
| <i>Салугашвили Р. С.</i> Сезонная изменчивость толщины изотермического слоя в Мировом океане.....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | 152 |
| <i>Воронцов А. А., Грузинов В. М., Баталкина С. А., Булыгин А. М., Нефёдова Г. И.</i> Практическая реализация морского климатического справочника на примере Чёрного моря.....                                                                                                                                                                                                                                               | 167 |
| <i>Мельников Д. А., Михайлов Н. Н., Вязилов Е. Д.</i> Разработка прикладных сервисов гидрометеорологического обеспечения морской деятельности Единой государственной системы информации об обстановке в Мировом океане.....                                                                                                                                                                                                  | 175 |
| <i>Черных И. В., Алдухов О. А.</i> Тренды числа восстановленных облачных слоёв над разными широтными зонами по глобальным данным радиозондирования атмосферы за 1964–2018 гг. ....                                                                                                                                                                                                                                           | 189 |
| <i>Кузнецова В. Н., Швец Н. В.</i> Некоторые сезонные особенности изменений относительной влажности воздуха в различных природно-климатических зонах России.....                                                                                                                                                                                                                                                             | 220 |
| <i>Финаев А. Ф., Разуваев В. Н.</i> Гомогенизация суточных данных температуры воздуха.....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 233 |
| <i>Кашина И. И., Кузнецов А. А., Рябова Е. А.</i> Формирование Перечня документов, образующихся в процессе деятельности Федеральной службы по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды.....                                                                                                                                                                                                                          | 248 |

## CONTENTS

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |     |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <i>Mikhailov N. N., Belov S. V., Vyazilov E. D., Lobachev P. S., Kuznetsov A. A., Batalkina S. A., Belova K. V., Vyazilova N. A., Ibragimova V. I., Kozlovtssev A. V., Melnikov D. A., Puzova N. V., Nefedova G. I.</i> Concept of hydrometeorological support of marine activities on the basis of the Unified State System of Information on the World Ocean in the context of digital transformation of Roshydromet ..... | 5   |
| <i>Gnilomedov E. V.</i> Estimates of trends in water flow in high water on rivers in the basins of Yenisei and Lena .....                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | 35  |
| <i>Koshunov A. A., Shaimardanov V. M., Shaimardanov M. Z.</i> Technology of providing users with data on hazardous and unfavorable hydrometeorological events .....                                                                                                                                                                                                                                                          | 59  |
| <i>Gnilomedov E. V.</i> Estimates of water flow trends in high water and flood period on the rivers of Kamchatka, Transbaikalia and the Amur basin .....                                                                                                                                                                                                                                                                     | 72  |
| <i>Rybanova A. Yu., Shamin S. I.</i> Frequency of hydrometeorological hazards that affected the economy and population in 1991–2020 .....                                                                                                                                                                                                                                                                                    | 93  |
| <i>Belova K. V., Mikhailov N. N.</i> Application integration model and its implementation in the Unified State System of Information on the World Ocean .....                                                                                                                                                                                                                                                                | 103 |
| <i>Korshunova N. N., Davletshin S. G.</i> Changes in extremity indices on the territory of Russia .....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | 116 |
| <i>Rudenkova T. V., Timofeev A. A.</i> Results of the monitoring of the content and completeness of pilot files of the new set of upper-air data arriving from the GTS network in the BUFR code forms .....                                                                                                                                                                                                                  | 128 |
| <i>Sherstyukov B. G., Sherstiukov A. B.</i> Sea ice area in the Arctic Ocean: changes, forecast .....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | 137 |
| <i>Salugashvili R. S.</i> Seasonal variability of the isothermal layer depth in the World Ocean .....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | 152 |
| <i>Vorontsov A. A., Gruzinov V. M., Batalkina S. A., Bulygin A. M., Nefedova G. I.</i> Practical implementation of the maritime climate reference book by the example of the Black Sea .....                                                                                                                                                                                                                                 | 167 |
| <i>Melnikov D. A., Mikhailov N. N., Vyazilov E. D.</i> Development of applied services for hydrometeorological support of maritime activities within the Unified State System of Information on the World Ocean .....                                                                                                                                                                                                        | 154 |
| <i>Chernykh I. V., Aldukhov O. A.</i> Trends of the number of reconstructed cloud layers by global data of radiosonding of the atmosphere in 1964–2018 for different latitude zones .....                                                                                                                                                                                                                                    | 189 |
| <i>Kuznetsova V. N., Shvets N. V.</i> Seasonal features of relative air humidity change in different natural and climatic zones of Russia .....                                                                                                                                                                                                                                                                              | 220 |
| <i>Finaev A. F., Razuvaev V. N.</i> Homogenization of daily air temperature data .....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | 233 |
| <i>Kashina I. I., Kuznetsov A. A., Ryabova E. A.</i> Formation of the list of documents produced by the Federal Service for Hydrometeorology and Environmental Monitoring .....                                                                                                                                                                                                                                              | 248 |

УДК 551.46.09

**КОНЦЕПЦИЯ  
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ  
МОРСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ НА ОСНОВЕ  
ЕДИНОЙ ГОСУДАРСТВЕННОЙ СИСТЕМЫ ИНФОРМАЦИИ  
ОБ ОБСТАНОВКЕ В МИРОВОМ ОКЕАНЕ  
В КОНТЕКСТЕ ЦИФРОВОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ  
РОСГИДРОМЕТА**

***Н. Н. Михайлов<sup>1</sup>, С. В. Белов<sup>2</sup>, Е. Д. Вязилов<sup>3</sup>, П. С. Лобачёв<sup>4</sup>,  
А. А. Кузнецов<sup>5</sup>, С. А. Баталкина<sup>6</sup>, К. В. Белова<sup>7</sup>,  
Н. А. Вязилова<sup>8</sup>, В. И. Ибрагимова<sup>9</sup>, А. В. Козловцев<sup>10</sup>,  
Д. А. Мельников<sup>11</sup>, Н. В. Пузова<sup>12</sup>, Г. И. Нефёдова<sup>13</sup>***

*ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский институт  
гидрометеорологической информации – Мировой центр данных»,  
<sup>1</sup> nodc@meteo.ru, <sup>2</sup> belov@meteo.ru, <sup>3</sup> vjaz@meteo.ru, <sup>4</sup> plobachev@meteo.ru,  
<sup>5</sup> kuznet@meteo.ru, <sup>6</sup> slim@meteo.ru, <sup>7</sup> christy@meteo.ru, <sup>8</sup> nav@meteo.ru,  
<sup>9</sup> ibr@meteo.ru, <sup>10</sup> akozlovcev@meteo.ru, <sup>11</sup> melnikov@meteo.ru,  
<sup>12</sup> cbmd@meteo.ru, <sup>13</sup> gin@meteo.ru*

**Введение**

Гидрометеорологическое обеспечение морской деятельности [1–4] ориентировано на предоставление информации о гидрометеорологических, ледовых и экологических условиях, координатно-объектовой информации об обстановке в океанах и морях, прибрежных территориях. Информация используется на федеральном, региональном и объектовом уровнях морской деятельности: мореплавание, портовые работы, рыболовство; поиск и спасение на море; спорт и отдых и др.

Цель настоящей статьи состоит в формулировании концепции гидрометеорологического обеспечения морской деятельности (далее – Концепция) на основе Единой государственной системы информации об обстановке в Мировом океане (ЕСИМО) [5, 6] в контексте цифровой трансформации Росгидромета. Концепция представляет собой совокупность основополагающих решений по

реорганизации средств, технологий и бизнес-процессов гидрометеорологического обеспечения морской деятельности (ГМОМД) посредством применения цифровой платформы<sup>1</sup>.

В ходе исследований применены методы цифровой трансформации, рекомендуемые национальной программой «Цифровая экономика Российской Федерации» [7]. Концепция согласована с решениями ведомственной программы цифровой трансформации Росгидромета.

В результате цифровой трансформации ГМОМД будет обеспечен качественно новый уровень информационного сопровождения объектов и бизнес-процессов морской деятельности.

### **1. Состояние вопроса**

Гидрометеорологическое обеспечение морской деятельности производится преимущественно территориальными управлениями и научно-исследовательскими учреждениями Росгидромета в рамках работ по государственным заказам и договорам [8, 9]. Интенсивно развиваются соответствующие услуги в коммерческих организациях. При этом в системе ГМОМД применяются различные технические решения, формы и протоколы доведения информации потребителям. Действующие средства и технологии фактически несовместимы. Это вынуждает использовать неполную информацию одного поставщика, налаживать процессы её подготовки в каждом отдельном случае, что приводит к дублированию работ, увеличению совокупных затрат. В связи с этим актуальной является цифровая трансформация ГМОМД, которая обеспечит качественно новый уровень информационного обслуживания на основе единых решений по сбору, интеграции и предоставлению информации в среде цифровых технологий.

Задачи интегрированного управления данными являются ключевыми в контексте цифрового ГМОМД. Эти задачи также решаются в ЕСИМО, постоянная эксплуатация которой производится

---

<sup>1</sup> Понятия «цифровая платформа ГМОМД» и «цифровая платформа ЕСИМО» являются синонимами и обозначают один и тот же объект – ЕСИМО. В последующем тексте используется термин «цифровая платформа ГМОМД» или «цифровая платформа», если не требуется уточнения.

с 2014 года. Операторами единой системы являются 19 центров и 15 поставщиков информации единой системы, представляющие МЧС России, Минобороны России, Минобрнауки России, Минприроды России, Росгидромет, Минпромторг России, Минтранс России, Минэнерго России, Госкорпорации «Роскосмос», Росрыболовство. Ресурсы ЕСИМО будут составлять информационную, организационно-функциональную и программно-техническую инфраструктуру цифрового ГМОМД.

Примерами зарубежных инициатив служат проекты Европейского сообщества (ЕС): EMODNet – европейская сеть морских наблюдений и данных (URL:<https://emodnet.eu/en>), COPERNICUS – система оперативного мониторинга состояния морской среды в европейских морях и Арктике (URL:<https://marine.copernicus.eu/>).

## **2. Прикладные задачи цифрового гидрометеорологического обеспечения морской деятельности**

Под прикладными задачами ГМОМД понимаются требования к бизнес-процессам информационной поддержки морской деятельности. Задачи разделяются по видам: мореплавание, добыча нефти и газа на шельфе, рыболовство и др. и районам деятельности: а) открытое море; б) прибрежные районы и побережье.

Потребителям предоставляются наборы данных и(или) прикладных сервисов под задачу. В ЕСИМО реализовано несколько макетов прикладных сервисов [10].

В таблице приведены характеристики прикладных задач (ПЗ) ГМОМД.

Т а б л и ц а

### **Обобщённые спецификации прикладных задач цифрового ГМОМД**

| Назначение прикладной задачи                                                          | Состав данных                                                                                                                                                                                                           |
|---------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>1. Гидрометеорологическое обеспечение (ГМО) плавания судов и морских перевозок</b> |                                                                                                                                                                                                                         |
| Обеспечение планирования мореплавания и грузоперевозок, плавания на судоходных путях. | Прогностическая и климатическая информация, данные опасных или неблагоприятных явлений (ОЯ/НЯ), по штормовой активности, морскому льду и течениям, сведения о местоположении судов, о портах и других морских объектах. |

## Продолжение табл.

| Назначение прикладной задачи                                                                                                                     | Состав данных                                                                                                                                                                                                  |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>2. ГМО портовой деятельности</b>                                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                |
| Поддержка перемещения судов, погрузочно-разгрузочных работ и другой портовой деятельности.                                                       | Согласно ПЗ 1 с дополнением информации по скорости ветра, включая порывы, грозы, шквалы, об уровне приливов и отливов.                                                                                         |
| <b>3. ГМО поисково-спасательных операций</b>                                                                                                     |                                                                                                                                                                                                                |
| Предоставление потребителям сведений о гидрометеорологической и ледовой обстановке в районе инцидента.                                           | Согласно ПЗ 1 с дополнением информации по скорости и направлению дрейфа, температуре поверхности воды, о местоположении и движении судов в районе аварии и о ближайших портах.                                 |
| <b>4. ГМО рыбохозяйственной деятельности</b>                                                                                                     |                                                                                                                                                                                                                |
| Предоставление информации для планирования и осуществления рыбного промысла.                                                                     | Согласно ПЗ 1 с дополнением информации по температуре, плотности и солёности воды, содержанию кислорода и течениям.                                                                                            |
| <b>5. ГМО добычи нефти и газа на шельфе морей</b>                                                                                                |                                                                                                                                                                                                                |
| Обеспечение работ на шельфе: исследования, проектирование и эксплуатация площадок, логистика.                                                    | Сведения об ОЯ/НЯ, информация по штормовой активности, морскому льду и течениям, о местоположении и движении судов в районе буровой платформы.                                                                 |
| <b>6. ГМО судостроительной деятельности</b>                                                                                                      |                                                                                                                                                                                                                |
| Обслуживание потребителей в области судостроения и судоремонта.                                                                                  | Данные наблюдений, прогностическая и климатическая информация: ветер и волны, температура воздуха и воды, течения, обледенение, морские льды.                                                                  |
| <b>7. Мониторинг загрязнения моря</b>                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                                |
| Предоставление оценок воздействия хозяйственной деятельности на морскую среду в акваториях и прибрежных территориях морей России.                | Данные наблюдений, климатическая и прогностическая информация по гидрометеорологическим и ледовым условиям, гидробиологическим условиям и загрязняющим веществам.                                              |
| <b>8. ГМО долгосрочного планирования и инженерной индустрии</b>                                                                                  |                                                                                                                                                                                                                |
| Поддержка макромасштабного планирования морской деятельности, а также исследований, проектирования и изготовления объектов морской деятельности. | Климатическая информация с оценками вероятностей редкой повторяемости по ОЯ/НЯ и штормовой активности, влияющим параметрам окружающей среды: ветер и волны, температура воздуха и воды, течения, морские льды. |

Окончание табл.

| Назначение прикладной задачи                                                                   | Состав данных                                                                                                                                                                              |
|------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>9. ГМО отдыха и спортивных мероприятий на воде</b>                                          |                                                                                                                                                                                            |
| Поддержка планирования и осуществления туризма, спортивных мероприятий и отдыха на воде.       | Информация применительно к заданному району и виду деятельности: о погоде, по штормовой активности, ветру и волнам, морскому льду и течениям, а также прогнозов и климатических обобщений. |
| <b>10. Исследования морей и океанов</b>                                                        |                                                                                                                                                                                            |
| Поддержка морских научных исследований, создания атласов и другой продукции.                   | Данные наблюдений и обобщений по метеорологии, гидрологии, гидрофизике и другим дисциплинам.                                                                                               |
| <b>11. Оценка риска воздействия цунами</b>                                                     |                                                                                                                                                                                            |
| Предоставление информации цунамирайонирования защищаемой территории на Дальнем Востоке России. | Данные по зонам заливания, временному режиму заливания, высотам волн при накате на берег, времени заливания, скорости течения.                                                             |

### **3. Бизнес-модель цифровой трансформации гидрометеорологического обеспечения морской деятельности**

Ожидается, что цифровая трансформация внесёт в действующие процессы гидрометеорологического обеспечения морской деятельности множественные изменения. Поэтому в ходе цифровой трансформации должна быть применена бизнес-модель ГМОМД, ориентированная на применение цифровых технологий и ЕСИМО.

Для рассмотрения бизнес-моделей часто используется «канва бизнес-модели» А. Остервальдера [11], отражающая логику процесса создания и распространения продукции в виде взаимосвязанных блоков: продукция, взаимодействие с потребителем, инфраструктура, финансовая эффективность.

#### **3.1. Цифровая продукция**

Цифровая продукция ГМОМД, рассмотренная в предыдущем разделе, представляет собой ценностное предложение в виде преимуществ, которые будут доступны потребителям:

- новизна: применение комплексной, полной и унифицированной информации (услуг), которой раньше не существовало.

Осуществление на практике требований Всемирной метеорологической организации (ВМО) и Росгидромета в полном объёме;

- гармонизация: условия качественного применения и многократного использования данных и сервисов ГМОМД потребителями в отличие от разобщённых и дублирующих друг друга средств и технологий;

- производительность: сокращение времени и других затрат по подготовке продукции и доступа к ней за счёт использования цифровых технологий;

- интегрированность: предоставление «одного окна» доступа к данным и сервисам ГМОМД, подготовка информации(услуг) с применением всего потенциала Росгидромета;

- экономия средств: сокращение расходов потребителей информации(услуг) за счёт снижения расходов в условиях применения цифровых технологий;

- снижение риска: минимизация вероятности отказов и низкого качества ГМОМД за счёт участия ведущих учреждений Росгидромета, применения системы управления качеством и цифровых технологий;

- доступность: расширение доступности информации (услуг) ГМОМД на основе применения цифровых технологий и ЕСИМО;

- удобство/применимость: реализация «дружественных пользователю» графических интерфейсов средств обслуживания, реализация бесшовных схем доведения информации до потребителя.

Реализация цифрового ГМОМД позволит преодолеть следующие недостатки и недочёты:

- разнородность и организационная «замкнутость» информации в области гидрометеорологии и загрязнения морской среды;

- отсутствие возможностей по применению информационных ресурсов ЕСИМО для получения «новой» продукции;

- слабая персонализация предоставления данных и сервисов под задачу потребителей;

- невозможность совместного применения данных и сервисов из нескольких или всех имеющихся источников данных Росгидромета без дополнительных затрат в каждом отдельном случае.

### **3.2. Потребители информации (услуг)**

Цифровое ГМОМД предусматривает несколько секторов потребителей:

- федеральный потребительский сектор ориентирован на использование продукции для решения задач макромасштабного планирования и проектирования морской деятельности;
- региональный потребительский сектор связан с применением продукции для планирования и поддержки морской деятельности в регионе;
- объектовый (локальный) потребительский сектор использует продукцию непосредственно на объектах для принятия решений на местах.

### **3.3. Каналы взаимодействия**

Каналы взаимодействия поставщиков и потребителей информации (услуг) на площадке цифрового ГМОМД обеспечивают:

- сведения: свободный доступ потребителей к каталогам данных и сервисов ЕСИМО с описаниями продукции (общего назначения и специализированной);
- оценка: доступ потребителей к тестовым образцам продукции для оценки её применимости и качества;
- предоставление: выбор данных (сервисов) по каталогам, заказы на подготовку и получение специализированной информации (услуг), мониторинг исполнения заказов;
- доставка: получение продукции через личные кабинеты пользователей ЕСИМО, по электронной почте, ftp, программным путём (API, веб-сервисы, геосервисы), её интеграция в системы потребителей;
- сопровождение: поддержка процессов применения продукции потребителем посредством обучения и консультаций.

Доступ к информации (услугам) цифрового ГМОМД основан на категорировании: информация общего назначения (открытого доступа); информация, предоставляемая по договору (соглашению) (информация ограниченного, например корпоративного, доступа или специализированная информация по заказу потребителей). При этом доступ к метаданным и демонстрационным

данным (сервисам) ГМОМД предоставляется без ограничений. Категории информации отмечаются в метаданных в процессе регистрации информационных ресурсов ЕСИМО центрами (поставщиками информации) единой системы. Средства цифровой платформы отслеживают полномочия пользователя по доступу к информации (услугам), блокируют доступ к данным и сервисам, на который у пользователя отсутствуют права.

### **3.4. Взаимоотношения с потребителями**

Предусматривается применить следующие типы взаимоотношений с потребителями информации (услуг) цифрового ГМОМД:

- автоматизированное обслуживание: сервисы, обеспечивающие процессы выбора (заказа) продукции, мониторинг подготовки специализированной информации (услуг), доведение продукции до потребителей, поддержка взаиморасчётов;
- персональная поддержка: возможность общаться напрямую с представителями операторов ГМОМД, получая от них помощь и консультации;
- совместное создание: формирование продукции совместно с потребителем, например привлекая клиентов к созданию дизайна продукции или производству контента.

Рассмотренные типы взаимоотношений реализуются в ходе обслуживания следующих категорий: обслуживание общего назначения, специализированное обслуживание по регламентам и запросам.

Обслуживание общего назначения осуществляется посредством предоставления доступа потребителей к информации (услугам) общего назначения или к информации (услугам) ГМОМД других категорий при наличии разрешений обладателя.

Обслуживание по регламентам применяется в условиях, когда состав и содержание данных и сервисов, формы и способы их предоставления определяются фиксированными потребностями групп пользователей. Регламенты обслуживания, требуемые данные и сервисы разрабатываются в процессе цифровой трансформации ГМОМД на основании договоров (соглашений).

Обслуживание по запросам осуществляется при необходимости получения информации (услуг), не обеспечиваемых обслуживанием общего назначения и по регламенту. Состав информации (услуги) определяется заказом, работы осуществляются на основании договоров (соглашений).

### **3.5. Инфраструктура**

Ключевые ресурсы, используемые в ходе цифрового ГМОМД, можно классифицировать следующим образом:

- материальные ресурсы: вычислительное и телекоммуникационное оборудование, находящееся в распоряжении центров (поставщиков информации) ЕСИМО;
- интеллектуальные ресурсы: информация, защищённая правами собственности, патенты и авторские права на базы данных и программное обеспечение;
- информационные ресурсы: данные, предоставляемые в единую систему для обеспечения морской деятельности;
- персонал: специалисты центров (поставщиков информации) ЕСИМО.

Ключевые виды деятельности включают:

- платформа: разработка и совершенствование средств и технологий цифровой платформы на основе средств и технологий ЕСИМО;
- производство: создание и предоставление целевой информации (услуг) ГМОМД;
- разрешение проблем: поиск и реализация проблем потребительских сегментов и конкретных клиентов из их состава.

### **3.6. Финансовая устойчивость**

Издержки на цифровую трансформацию ГМОМД можно разделить на следующие категории:

- фиксированные издержки для создания цифровой платформы и её внедрения;
- переменные издержки для ведения данных и сервисов ГМОМД, технического сопровождения цифровой платформы.

Рассматривается несколько способов получения финансовых средств для реализации (поддержания) цифрового ГМОМД:

- государственная поддержка: финансовые средства со стороны отраслевых программ ведомств – участников ЕСИМО;
- оплата продукции: финансовые средства за работы по получению и предоставлению специализированной информации (услуг) ГМОМД;
- оплата использования: финансовые средства за работы по предоставлению экземпляров данных (сервисов), требующих циклического обновления и контроля;
- оплата сопровождения: финансовые средства за работы по информационно-техническому сопровождению цифровой платформы.

#### **4. Цифровая платформа гидрометеорологического обеспечения морской деятельности**

Средой цифрового ГМОМД является цифровая платформа, представляющая собой организационный, технический и информационный профиль ЕСИМО. Применяя подход к проектированию открытых информационных систем [12], детализируем видение цифровой платформы посредством рассмотрения её ссылочной модели с разных точек зрения,

##### **4.1. Социально-экономическое представление**

С социально-экономической точки зрения цифровая платформа представляет собой площадку взаимодействия поставщиков и потребителей информации (услуг) ГМОМД.

Снижение издержек ожидается за счёт широкомасштабного применения автоматических и автоматизированных технологий работы с данными и вовлечение в процессы ГМОМД максимально доступного числа участников и минимизацию числа взаимодействий между ними.

##### **4.2. Организационно-функциональное представление**

Цифровая платформа ГМОМД выполняет следующие функции (рис. 1): сбор и интеграция данных, информационное производство, информационное обслуживание, информационная безопасность, управление ресурсами.

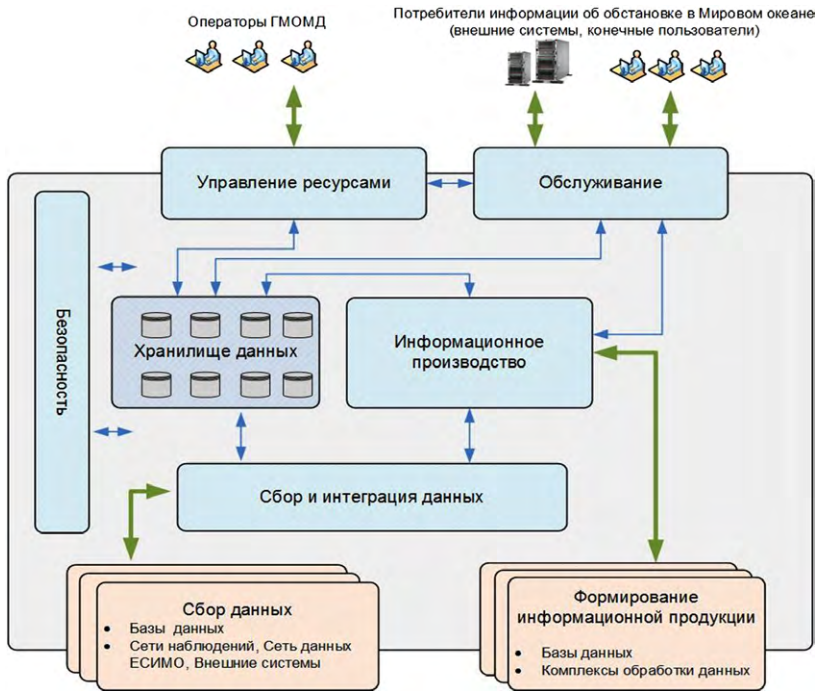


Рис. 1. Функциональная структура цифровой платформы ГМОМД

Сбор и интеграция данных представляет собой ключевое условие цифровизации в контексте формирования единого информационного пространства (ЕИП) ГМОМД и включает процессы:

- взаимодействие с источниками данных наблюдений и продукции Росгидромета и других ведомств – участников ЕСИМО, внешних систем;
- объединение разнородных данных из различных источников и их представление в унифицированном виде.

Для их выполнения планируется использовать наработки ЕСИМО [13, 14], решения по систематизации данных и метаданных Интегрированной глобальной системы наблюдений [15] и Информационной системы ВМО [16].

Информационное производство ориентировано на подготовку продукции для выполнения прикладных задач ГМОМД.

Формирование продукции дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) предусматривается производить на основе объединения спутниковых данных (температура поверхности земли, уровень моря, ледовые условия, загрязнение моря), имеющихся в центрах ЕСИМО Росгидромета и Роскосмоса.

Для подготовки прогностической информации используется оперативный модуль ЕСИМО [17]. Его развитие состоит во внедрении интегрированной технологии обработки данных и прогнозирования. Этот подход основан на взаимосвязях глобальных, региональных и локальных расчётно-моделирующих комплексов (РМК) с различным пространственно-временным охватом и разрешением [18, 19]. Интегрированность технологии заключается в том, что глобальные комплексы поставляют информацию в региональные комплексы, а те в свою очередь – в локальные. Таким образом достигается высокое качество и разрешение, а также устойчивость получаемых результатов.

Цифровизация климатической составляющей ЕСИМО основана на развитии технологии подготовки электронных климатических пособий [20] на основе положений Глобальной рамочной основы для климатического обслуживания ВМО [21]. Это позволит различным секторам морской деятельности получить персонализированные климатические данные, а также информацию по изменчивости климата в сезонном и многолетнем масштабе.

В процессе информационного производства осуществляется «обогащение» данных ГМОМД сопутствующей информацией, включая индикацию ОЯ/НЯ по видам (объектам) морской деятельности, добавление предсказательной и предписывающей аналитики по процессам ОЯ/НЯ, изменениям климата. Эти работы ведутся согласно предписаниям ВМО [4, 19, 21] и опыту ЕСИМО в этой области [22].

**Информационное обслуживание** направлено на обеспечение потребителей следующими возможностями:

- авторизация и аутентификация прав пользователей, предоставление доступа к информации согласно их правам;
- получение сведений о наличии и условиях получения информации (услуг) общего назначения и специализированной информации (услуг);

- управление заказами на подготовку информации(услуг) (оформление, мониторинг, предоставление);

- доступ к информации (услугам) по различным каналам взаимодействия, включая прикладные сервисы ГМОМД.

Клиентоориентированность цифровой платформы ЕСИМО достигается посредством применения широкомасштабной персонализации данных и сервисов ГМОМД – от профиля конечного пользователя до экземпляра цифровой платформы для предприятия.

**Информационная безопасность** ГМОМД обеспечивается посредством выполнения требований Федеральной службы по техническому и экспортному контролю России [23]:

- защита от несанкционированного доступа к информации; обеспечение безопасного межсетевого взаимодействия, антивирусная защита, обнаружение вторжений;

- контроль защищённости информации, доступности информации, криптографическая защита информации.

**Управление цифровой платформой** включает процессы:

- управление заказами на подготовку информации (услуг);
- мониторинг технических, информационных и программных ресурсов ЕСИМО и обеспечение их работоспособности;

- обратная связь с потребителями информации (услуг) ГМОМД;
- ведение отчётности о состоянии и производительности цифровой платформы.

Роль операторов цифрового ГМОМД выполняют центры и поставщики информации ЕСИМО согласно зонам ответственности [1, 24].

Функции операторов ГМОМД классифицируются по категориям виртуальных узлов ЕСИМО в составе цифровой платформы:

- операторы ведомственных узлов ведут сбор и загрузку данных наблюдений в единую систему, обработку данных и формирование продукции, в том числе по заказу потребителей, информационное обслуживание локального или регионального уровня;

- операторы региональных узлов выполняют сбор и интеграцию данных, информационное производство и обслуживание согласно зоне ответственности (заказам), поставляют региональные данные и сервисы в единое информационное пространство (ЕИП);

- оператор центрального узла ЕСИМО обеспечивает сбор и интеграцию данных в ЕИП, получение и предоставление в единую систему продукции по зоне ответственности (заказам), выполняет обслуживание пользователей на федеральном уровне, а также управление работой цифровой платформы.

В качестве поставщиков информации (услуг) ГМОМД могут быть привлечены учреждения ведомств, коммерческие предприятия, не являющиеся центрами (поставщиками информации) ЕСИМО и обеспечивающие предоставление продукции, используя цифровую платформу в качестве площадки взаимодействия с потребителями.

Партнёрские отношения строятся на основе «Положения о Единой государственной системе информации об обстановке в Мировом океане» [5]. В ходе цифровой трансформации проводится развитие нормативной базы ГМОМД.

#### ***4.4. Программно-техническое представление***

В программно-техническом плане цифровая платформа реализуется как «система систем» или многокомпонентная экосистема цифровых сервисов. Цифровая платформа (рис. 2) будет основана на гибридной модели облачных вычислений:

- IaaS (Infrastructure as a Service) в форме ресурсов, предоставляемых в рамках пилотного проекта Гособлака [25];
- SaaS (Software as a Service) в форме программного обеспечения платформы, размещаемого на ресурсах Гособлака.

**Вычислительные ресурсы.** Инфраструктура ЕСИМО в Гособлаке задействует оборудование следующих суммарных мощностей: виртуальный процессор vCPU – 650 физических ядер со средней тактовой частотой 2,7 ГГц; виртуальная оперативная память vRAM – 1500 ГБ; виртуальное дисковое пространство типа «vSAS» – 15,5 ТБ.

**Телекоммуникационные ресурсы.** В этой части решения ориентируются на применение защищённых каналов связи цифровой платформой с поставщиками и потребителями информации (услуг), а также наличие контролируемого доступа из публичных сетей к ресурсам ЕСИМО. В качестве основного оборудования, удовлетворяющего вышеназванные требования, могут быть

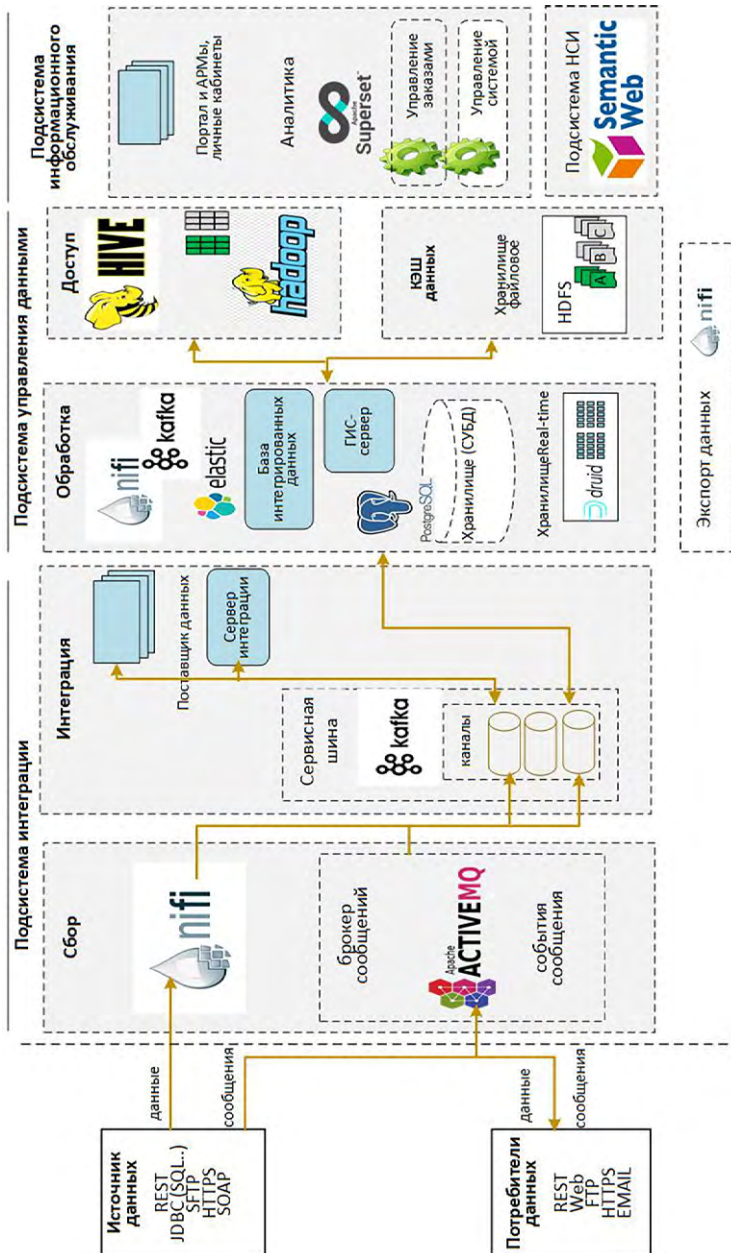


Рис. 2. Обобщённая программно-техническая архитектура цифровой платформы ГМОМД на основе ЕСИМО

использованы сертифицированные шлюзы безопасности VipNet Coordinator.

**Общее программное обеспечение (ОПО).** Предполагается использовать программные продукты российского производства или с открытой лицензией при отсутствии отечественного аналога. Предварительный стек продуктов ОПО составят:

- операционная система AstraLinux; среда функционирования – LibericaJDK, OpenJDK; сервер приложений – WildFly;
- хранилище больших данных – Apache Hadoop; хранилище потоковых данных – Apache Druid; хранилище файловых данных – HDFS; средства выполнения запросов и анализа данных – Apache Hive; исследования и визуализация данных – Apache Superset;
- платформа управления данными и сообщениями – Apache Nifi; платформа диспетчеризации сообщений и микросервисов – Apache Kafka, Apache ActiveMQ;
- система управления базами данных – PostgresPro; среда индексирования информации – Elastic; ГИС-сервер и пакеты программ представления геоданных – Geoserver и Leaflet/OpenLayers; платформа портала – Life Ray;
- система мониторинга аппаратных и программных ресурсов – Zabbix.

**Средства сквозных цифровых технологий** образуют программное обеспечение промежуточного слоя цифровой платформы [26, 27]. Для цифрового ГМОМД наиболее актуальными являются:

- облачная технология, предоставляющая базовые методы и средства построения новой архитектуры ЕСИМО в плане цифровой платформы;
- технология контейнеризации, обеспечивающая эффективное применение аппаратных ресурсов Гособлака посредством минимизации состава виртуальных машин цифровой платформы;
- технология микросервисов, позволяющая решить проблемы развития монолитных программных комплексов ЕСИМО посредством применения независимых и не связанных между собой сервисов;
- технология параллельного использования сервисов цифровой платформы для работы операторов ГМОМД одновременно;

- технология W3C Semantic Web, предоставляющая возможность организовать связанные модели данных на основе их семантики и унификации каталогов данных и справочников ЕСИМО;
- технология больших данных (Big Data), реализующая хранение и обработку большого объёма структурированной и неструктурированной информации ГМОМД в реальном времени;
- технология искусственного интеллекта, применяющая средства представления знаний в виде экспертных систем в контексте ГМОМД и машинное обучение для реализации алгоритмов и средств интерактивного отображения информации сервисами цифровой платформы.

Направления больших данных и искусственного интеллекта являются наиболее сложными и ёмкими, поскольку в настоящий момент в области гидрометеорологии отсутствуют необходимые компетенции. Одним из вариантов является государственно-частное партнёрство с ИТ-компаниями России, имеющими достаточный опыт и компетенции в этой области.

**Специальное программное обеспечение (СПО)** состоит из программных приложений, выполняющих функции платформы:

- тематические цифровые сервисы – средства и технологии формирования продукции ГМОМД;
- общесистемные цифровые сервисы – средства и технологии функционирования цифровой платформы ГМОМД;
- прикладные цифровые сервисы – средства и технологии обслуживания посредством реализации прикладных задач ГМОМД.

Причём не менее 60 % программного обеспечения представляют собой существующие компоненты ЕСИМО, модернизируемые в ходе цифровой трансформации ГМОМД. Новые разработки будут направлены на достижение функционала, который не поддерживается ЕСИМО в настоящее время: информационное производство, управление заказами, большие данные, искусственный интеллект. Предусматривается две схемы применения такого СПО:

- удалённое применение программных комплексов (приложений), размещаемых на площадках поставщиков СПО, и информационно-программное взаимодействие с цифровой платформой;

- применение программных комплексов (приложений), размещаемых в составе ресурсов ЕСИМО, в рамках процессов цифровой платформы непосредственно.

Цифровая платформа ГМОМД будет интегрирована с отраслевой цифровой платформой Росгидромета и взаимодействовать с цифровыми платформами и системами министерств и агентств – участников ЕСИМО.

Отметим, что отсутствие взаимосовместимости баз данных, сервисов и систем являются основной преградой для формирования единого информационного пространства (ЕИП) в области ГМОМД. В ЕСИМО эта задача частично решена посредством применения общих моделей данных и метаданных, кодов и классификаторов, а также технологии ETL (Extract, Transformation, Loading), обеспечивающей трансформацию локальных данных в общую модель данных [28, 29].

Цифровые сервисы платформы будут связаны между собой и внешними (партнёрскими) цифровыми сервисами и системами, потребителями на основе экосистемных принципов, подразумевающими бесшовные информационно-программные взаимодействия. Для этих целей реализуется специальное платформенное решение посредством развития средств взаимодействия и взаимосовместимости ЕСИМО [13] на основе спецификаций EC FAIR (Findable, обнаруживаемость, Accessible, доступность, Interoperability, взаимосовместимость, Reusable, повторное использование) [30] и стандартов в области управления данными.

Экосистемный подход позволит операторам ГМОМД и другим учреждениям (предприятиям) создавать и использовать «свои» виртуальные федерации данных, осуществлять получение продукции, обслуживание, выполнение заказов на специализированную информацию и взаиморасчёты, другие процессы в среде цифровой платформы ГМОМД.

#### **4.5. Информационное представление**

С информационной точки зрения цифровая платформа – это распределённое хранилище интегрированных данных наблюдений и продукции в области ГМОМД, представляющее собой единое информационное пространство (рис. 3).



Рис. 3. Схема единого информационного пространства ГМОМД

Данные ГМОМД систематизируются в виде двух образований – репозитория файлов данных как результат накопления всех (в том числе и «сырых») данных ГМОМД (озеро данных) и производных хранилищ интегрированных данных, формируемых на основе озера данных и применяемых для решения задач ГМОМД. Причём физически хранилища данных могут иметь разное содержание (наблюдения, прогнозы, климат, знания), быть структурированы с применением различных моделей и размещаться в центральном, региональных или локальных хранилищах или оставаться в источниках данных.

В плане доступа данные оформляются в виде виртуальных федераций данных ЕИП, которые доступны как одно интегрированное хранилище данных. При запросе происходит обращение к сервисам, которые связаны с источниками данных, хранилищами данных, прикладными задачами и сервисами ГМОМД на основе метаданных.

Хранилища будут обновляться и пополняться автоматически (например данные гидрометеорологических наблюдений текущего дня или обновляемые прогностические данные), использоваться для производства новой продукции, выполнения прикладных задач ГМОМД.

Цифровая платформа ГМОМД будет ориентирована на применение информации со следующими характеристиками:

- источники данных: базы данных в составе информационных систем ведомств – участников ЕСИМО и организаций – участников ГМОМД;
- дисциплинарный состав: информация о состоянии морской среды (метеорология, гидрология, гидрофизика, гидрохимия, аэрология, океанография и др.) и информация о состоянии морской деятельности (сведения о портах, судах, предприятиях и др.) (рис. 4);
- формы представления: буквенно-цифровые данные; пространственные (векторные и растровые) данные; изображения, документы и мультимедийные файлы; приложения – веб-страницы, веб-сервисы, геосервисы;
- уровень обработанности: данные наблюдений, прогностическая информация, климатическая информация, аналитические материалы;



Рис. 4. Состав целевых данных ГМОМД

- доступ к информации: информация общего назначения (открытого доступа); информация, предоставляемая по договору (соглашению).

Значительное развитие получит применение нормативно-справочной информации, включая общие коды и классификаторы, словарь параметров, сведения о сетях наблюдений, массивах данных и других объектах. Высокий приоритет будет придан вопросам управления океанографической и другой информацией в морских научных экспедициях. Планируется развитие электронной картографической основы ЕСИМО для повышения качества и иллюстративности предоставления данных и сервисов потребителям.

Цифровая платформа будет открыта для подключения данных и сервисов как ведомственных систем федеральных органов исполнительной власти – участников ЕСИМО, так и других внешних информационных систем.

## **5. Сценарии осуществления цифрового гидрометеорологического обеспечения морской деятельности**

Сценарии осуществления цифрового ГМОМД представляют изложение содержания процессов предоставления потребителям информации (услуг) общего назначения по регламентам и заказам, а также по цифровизации предприятия.

При этом процессы сбора и интеграции данных, формирования информационной продукции, управления работой системы составляют предусловия и считаются выполненными штатным порядком.

### **5.1. Информационные услуги общего назначения**

Схема обслуживания включает выполнение следующих процессов:

- пользователь обращается к одному из порталов ЕСИМО в зависимости от потребностей и других предпочтений;
- пользователь просматривает каталоги данных и сервисов ГМОМД и формулирует запрос по своим требованиям;

- запрос выполняется, и пользователь имеет доступ к метаданным, может просмотреть данные и скачать их на свой компьютер или обратиться к сервисам прикладных задач ГМОМД;
- пользователь инициирует сервис подписки и получает обновления назначенной информации.

### ***5.2. Информационные услуги по регламентам***

Схема обслуживания предусматривает выполнение следующих процессов:

- потребитель обращается к предписанному прикладному сервису ГМОМД на портале ЕСИМО;
- пользователь, используя таблично-графическое и картографическое отображение данных, анализирует обстановку и накапливает соответствующие материалы;
- пользователь может осуществить загрузку и применение дополнительных данных и сервисов с серверов ЕСИМО:
- пользователь может уточнить условия и выполнить (повторить неоднократно) работу сервиса для получения необходимых материалов;
- все действия пользователя регистрируются в журнале работы прикладного сервиса и используются для рассмотрения инцидентов;
- осуществляется предоставление результатов работы прикладного сервиса в виде документов, файлов данных, геосервисов, API (application programming interface);
- предоставляются консультации экспертов для качественного применения результатов ГМОМД.

### ***5.3. Информационные услуги по заказам***

Схема обслуживания состоит из следующих процессов:

- потребитель на основе сведений о потенциале ГМОМД формирует запрос (заказ) на предоставление информации (услуги);
- потребитель направляет заказ через «единое окно» центрального портала ЕСИМО, операторы ГМОМД вырабатывают решения относительно ответственного исполнителя и соисполнителей заказа, состава работ;

- оператор ГМОМД – ответственный исполнитель заказа оформляет взаимоотношения с потребителем и соисполнителями работ;
- операторы ГМОМД – участники работ осуществляют подготовку заказанной информации (услуги), регистрируют в ЕСИМО новые данные и сервисы, настраивают и запускают прикладные сервисы;
- средства ЕСИМО проводят мониторинг выполнения заказа и информируют потребителя о его выполнении, потребителю направляется отчёт о его выполнении;
- потребитель осуществляет оплату работы и оператор ГМОМД – ответственный исполнитель заказа осуществляет оплату работы соисполнителей согласно договорам.

#### **5.4. Цифровизация предприятия**

Схема цифровизации предприятия предусматривает выполнение следующих процессов:

- готовится и согласуется техническое задание на цифровизацию предприятия посредством внедрения цифровой платформы ГМОМД;
- создаётся виртуальный узел предприятия в составе цифровой платформы;
- дополнительные источники данных предприятия регистрируются в ЕСИМО и виртуальная федерация данных предприятия подключается к цифровой платформе;
- проводится настройка средств обслуживания (подпортал, личные кабинеты) предприятия. Осуществляется регистрация пользователей сегмента. Запускаются бизнес-процессы предприятия.

### **6. Программа цифровой трансформации**

#### **6.1. Направления работ**

Направления цифровой трансформации ГМОМД охватывают полный жизненный цикл средств, технологий и процессов гидрометеорологического сопровождения морской деятельности (рис. 5).

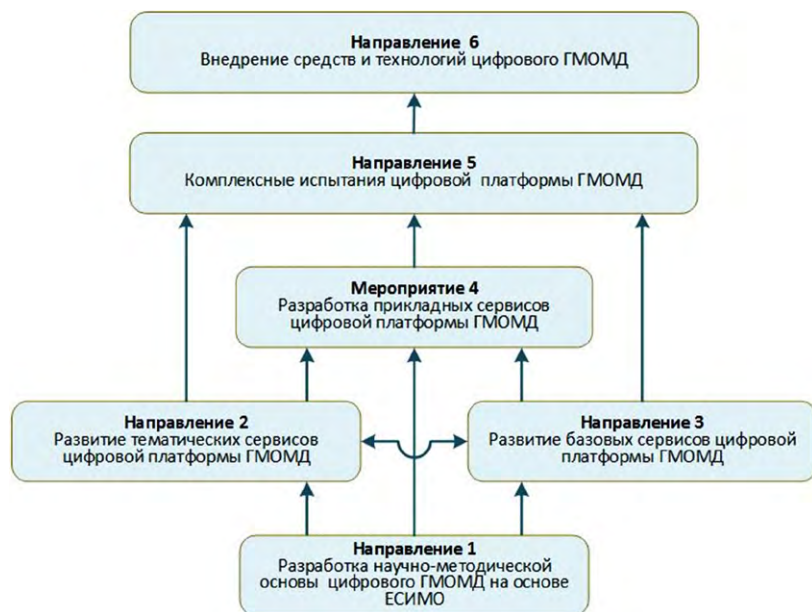


Рис. 5. Направления цифровой трансформации ГМОД на основе ЕСИМО

**Направление 1 «Разработка нормативной и методической основы цифрового ГМОД».**

В части методического обеспечения планируется проводить постоянный анализ потребностей в ГМОД, разработать (усовершенствовать):

- Концепцию цифровой трансформации ГМОД на основе ЕСИМО;
- спецификации цифрового ГМОД, включая применение сквозных цифровых технологий;
- модели и форматы данных, цифровые сервисы и другие средства взаимодействия и совместимости единой системы;
- модель и спецификации обогащения данных ГМОД новой информацией;
- правила и процедуры осуществления цифрового ГМО морской деятельности на основе ЕСИМО;

- порядок взаимоотношений центров (поставщиков информации) ЕСИМО, внешних производителей (поставщиков) и потребителей информации(услуг);
- политики обеспечения информационной безопасности цифровой платформы ГМОМД;
- спецификации обучения специалистов, участвующих в ГМОМД, и развития их компетенций;
- положение о центрах компетенций цифрового ГМОМД.

**Направление 2 «Развитие тематических средств и технологий цифровой платформы ГМОМД»** ориентировано на модернизацию средств и технологий операторов ГМОМД по сбору данных наблюдений и формированию информационной продукции ГМОМД. Развитию подлежат следующие процессы технологий:

- взаимодействие с источниками данных Росгидромета и других ведомств, формирование файлового репозитория и хранения данных наблюдений;
- реализация технологий обработки данных, оценки и прогнозирования, получения целевой продукции для реализации прикладных задач ГМОМД;
- ведение хранилищ интегрированных данных, их регистрация в качестве информационных ресурсов ЕСИМО, поддержка их доступности и актуальности.

**Направление 3 «Развитие общесистемных средств и технологий цифровой платформы ГМОМД»** включает работы по совершенствованию средств и технологий управления метаданными и данными ГМОМД по направлениям: сбор и интеграция, информационное производство, информационное обслуживание, информационная безопасность и управление работой единой системы.

**Направление 4 «Разработка прикладных средств и технологий цифровой платформы ГМОМД»** обеспечит создание средств и технологий для решения прикладных задач ГМОМД с применением сквозных цифровых технологий, а также поддержку каналов взаимодействия поставщиков и потребителей информации (услуг).

**Направление 5 «Комплексные испытания цифровой платформы ГМОМД»** предусматривает подготовку целевого набора данных ГМОМД путём реализации тематических технологий, проведение пилотных проектов по выбранным прикладным задачам и районам ГМОМД, испытания (предварительные, опытная эксплуатация, приёмочные) средств и технологий цифровой платформы ГМОМД.

**Направление 6 «Цифровизация ГМОМД»** включает следующие работы:

- образование центра (центров) компетенций по вопросам внедрения цифровых решений и сопровождения процессов цифровой трансформации ГМОМД;
- формирование экспериментальных полигонов и пилотных зон внедрения и отработка применения цифровых решений ГМОМД;
- разработка единых реестров и каталогов цифровых данных и сервисов, источников данных, потребителей и платформ их деятельности, аппаратно-программных комплексов и других цифровых объектов;
- формирование системы обучения участников ГМОМД и её применения для обеспечения компетенций в области средств и технологий платформы ГМОМД.

## **6.2. Реализация программы**

Цифровую трансформацию ГМОМД планируется осуществлять в нескольких проектах:

- Программы создания государственной единой облачной платформы (Гособлако);
- Программы Росгидромета по цифровой трансформации как часть федерального проекта по цифровизации экономики;
- Программы министерств (агентств) – участников ЕСИМО – по цифровой трансформации как части федерального проекта по цифровизации экономики;
- Программы научных и технологических работ Росгидромета в части совершенствования методов, средств и технологий функционирования ЕСИМО в области гидрометеорологии и океанографии.

## 7. Преимущества и риски

Ключевыми преимуществами применения цифрового ГМОМД являются:

- единая нормативная, программно-техническая и информационная среда взаимодействия участников ГМОМД в виде цифровой платформы;
- возможность объединения в едином информационном пространстве данные и сервисы участников ГМОМД;
- возможность применения общих вычислительных и информационных ресурсов и технологий для получения новых продуктов ГМОМД, снижение издержек за счёт применения цифровых технологий работы с данными.

Использование цифровой платформы ГМОМД на основе ЕСИМО позволит повысить оперативность предоставления информации и качество продукции, а также качество предоставления услуг морским отраслям. С другой стороны, упомянутые выше услуги и интерфейсы могут быть созданы и без применения цифровой платформы. В этих условиях ГМОМД будет осуществляться разрозненно, в каждом отдельном случае потребует разработки и внедрение средств и технологий подготовки продукции, обмена информацией и доступа к ней.

Возможные риски, которые могут возникнуть при применении ЕСИМО в качестве цифровой платформы ГМОМД, включают:

- риск невозможности повышения качества информационного обеспечения морской деятельности. Для минимизации этого риска предусматривается разработка спецификаций прикладных задач и услуг ГМОМД, их согласование с потенциальными потребителями;
- риск отсутствия мотивации использования цифровой платформы ЕСИМО. Минимизация риска достигается посредством планируемого постоянного мониторинга потребностей пользователей и целевого наращивания потенциала ЕСИМО;
- риск дублирования и несогласованности выполнения работ в рамках Концепции и других работ информационно-технического направления. Этот риск минимизируется возможностями ЕСИМО

по образованию экосистемы на основе интеграции данных и сервисов внешних информационных систем и комплексов.

### **Заключение**

В статье сформулированы концептуальные подходы по организации цифрового гидрометеорологического обеспечения морской деятельности, а также рассмотрены эскизные проектные решения по построению цифровой платформы на базе ЕСИМО. При этом использован системный подход, что позволило сформулировать решения в контексте социально-экономического, организационно-функционального, технического и информационного представлений системы.

В работе также исследованы и рекомендованы направления работ по осуществлению собственно цифровой трансформации ГМОМД. Впервые предлагается использование цифровой платформы для организации непрерывного ГМОМД от наблюдения до принятия решений.

Цифровизация ГМОМД позволит повысить оперативность и качество предоставления данных наблюдений и продукции, а также информационных услуг морским отраслям экономики, вооружённым силам, МЧС России. Зрелость ЕСИМО и её готовность выполнять роль цифровой платформы ГМОМД определяют обоснованность Концепции.

### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. *РД 52.27.881–2019* Руководство по гидрометеорологическому обеспечению морской деятельности. М.: ФГБУ «Гидрометцентр России», 2019. 132 с.
2. *Руководство* по выпуску метеорологической и ледовой информации в рамках Глобальной морской системы связи при бедствии и для обеспечения безопасности по зонам ответственности Российской Федерации. СПб., 2018. 44 с.
3. *Руководство* по морскому метеорологическому обслуживанию // ВМО. 2018. № 471. 82 с.
4. *Руководящие* принципы ВМО обслуживания прогнозами опасных явлений с учётом воздействий и предупреждениями о них // ВМО, Комиссия по основным системам. 2014. 27 с.

5. *Постановление* Правительства РФ от 29 декабря 2005 г. № 836 «Об утверждении Положения о Единой государственной системе информации об обстановке в Мировом океане».

6. Михайлов Н. Н., Вязилов Е. Д., Воронцов А. А., Белов С. В. Единая государственная система информации об обстановке в Мировом океане и её применение для информационной поддержки морской деятельности Российской Федерации // Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2014. Вып. 177. С. 95–118.

7. *Распоряжение* Правительства РФ от 28.07.2017 г. № 1632-р «Об утверждении программы «Цифровая экономика Российской Федерации».

8. *Федеральный закон* от 19.07.1998 г. № 113-ФЗ «О гидрометеорологической службе».

9. *Постановление* Правительства РФ от 15 ноября 1997 г. № 1425 (редакция 2008 года) «Об информационных услугах в области гидрометеорологии и мониторинга загрязнения окружающей природной среды».

10. Viazilov E., Mikhailov N., Melnikov D., Smolyanitskiy V. The new user interface for the development of hydrometeorological support based on integrated data. IMDIS 2021 International Conference on Marine Data and Information Systems. 12–14 April 2021 – Online. Organised by NIOZ jointly with IFREMER, OGS, IOC/IODE, in the frame of SeaDataCloud project. An International Journal of Earth Sciences // Bollettino di Geofisica teorica ed applicata. V. 62 – SUPPLEMENT1. P. 157–158.

11. *Бизнес-модель* А. Остервальда. URL: <https://vc.ru/s/productstar/135102-biznes-model-ostervaldera-chto-eto-takoe> (дата обращения: 11.02.2022).

12. *Открытые системы*. ISOEC-7498-11994. Information technology. Open systems interconnection. Basic reference model. URL: <https://www.iso.org/standard/20269.html> (дата обращения: 15.03.2022).

13. Вязилов Е. Д., Михайлов Н. Н. Интеграция гетерогенных информационных ресурсов в области морской деятельности: информационные, технологические и организационные аспекты. Вычислительные технологии. 2005. Том. 10. Часть 1: Специальный выпуск. С. 21–29.

14. Белов С. В. Методы интеграции структурированных и слабоструктурированных информационных ресурсов. Технология интеграции информационных ресурсов ЕСИМО (E2EDM) // Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2007. Вып. 172. С. 69–78.

15. *Наставление* по Глобальной интегрированной системе наблюдений ВМО. Дополнение VIII к Техническому регламенту ВМО. Издание 2015 г., обновлено в 2017 г. // ВМО NP – 1160. 105 с.

16. *Наставление* по Информационной системе ВМО. № 1060. 2012. 40 с.

17. Зеленько А. А. Оперативный модуль ЕСИМО – система гидрометобеспечения нового поколения // Труды VI Российской научно-технической конференции «Современное состояние и проблемы навигации и океанографии» («НО-2007»), 23–25 мая 2007 г. Санкт-Петербург, 2007. С. 473–479.

18. *Оперативное океанографическое обслуживание* / З. К. Абузаров, И. О. Думанская, Е. С. Нестеров. М.; Обнинск: «ИГ-СОЦИН», 2009. 287 с.

19. *Наставление* по Глобальной системе обработки данных и прогнозирования. Дополнение IV к Техническому регламенту ВМО. № 485. 2017. 132 с.

20. *Воронцов А. А., Олейников С. А., Баталкина С. А., Нефёдова Г. И.* Создание электронных справочных пособий с помощью технологий Единой государственной системы информации об обстановке в Мировом океане для научной и практической деятельности // Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2010. Вып. 174. С. 322–329.

21. *Руководящие* указания по поэтапному созданию национальной рамочной основы для климатического обслуживания // ВМО. 2018. № 1206. 59 с.

22. *Viazilov E.* New Paradigm of Hydrometeorological Support for Consumers. *Advances in Intelligent Systems and Computing* Vol. 1363. Kohei Arai Editor. *Advances in Information and Communication Proceedings of the 2021 Future of Information and Communication Conference (FICC)*, Volume 1. Publish House «Springer». URL: <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-030-73100-7> (дата обращения: 11.03.2022).

23. *Приказ* Федеральной службы по техническому и экспортному контролю от 11.02.2013 № 17 «Об утверждении требований по защите информации, не составляющей государственную тайну, содержащейся в Государственных информационных системах». URL: <https://fstec.ru/component/attachments/download/566> (дата обращения: 11.03.2022).

24. *Атлас* районирования морей и океанов для гидрометеорологического обеспечения морской деятельности. URL: [http://wdc.aari.ru/wmo/jcomm/gmdss/roshydromet\\_docs/Atlas\\_MD\\_2009.pdf](http://wdc.aari.ru/wmo/jcomm/gmdss/roshydromet_docs/Atlas_MD_2009.pdf) (дата обращения: 11.02.2022).

25. *Распоряжение* Правительства Российской Федерации от 28 августа 2019 г. № 1911-р. Концепция создания государственной единой облачной платформы.

26. *Акаткин Ю. М., Ясиновская Е. Д.* Цифровая трансформация государственного управления. Датацентричность и семантическая интероперабельность. М.:ДПК Пресс, 2018. 542 с.

27. *Цифровые технологии в российской экономике* / К. О. Вишневский, Л. М. Гохберг, В. В. Деметьев и др.; под ред. Л. М. Гохберга; Нац. исслед. ун-т «Высшая школа экономики». М.: НИУ ВШЭ, 2021. 116 с. URL: <https://conf.hse.ru/mirror/pubs/share/462987994.pdf> (дата обращения: 15.03.2022).

28. *White C.* Data Integration: Using ETL, EAI, and EII Tools to Create an Integrated Enterprise // *DMReview*. 2005. N 11. P. 25–53.

29. *Belova K., Mikhailov N.* Data integration of the Russian segment of the integrated Arctic observing system // *Bollettino di Geofisica*. V. 62 – sup. 1. IMDIS 2021-International Conference on Marine Data and Information Systems, 12–14 April, 2021. P. 107–110.

30. *Wilkinson M. D. et al.* The FAIR Guiding Principles for scientific data management and stewardship. DOI: 10.1038/sdata.2016.18 (2016), URL: <https://www.nature.com/articles/sdata201618> (дата обращения: 11.02.2022).

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

## ОЦЕНКИ ТЕНДЕНЦИЙ СТОКА ВОДЫ В ПОЛОВОДЬЕ НА РЕКАХ В БАСЕЙНАХ ЕНИСЕЯ И ЛЕНЫ

**Е. В. Гниломедов**

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

Увеличение количества опасных наводнений характерно для рек горных и предгорных районов южной части бассейнов Енисея и Лены, где запасы воды в снежном покрове зимой обычно большие. При повысившейся температуре и учатившемся выпадении жидких и смешанных осадков весной снеготаяние происходит более интенсивно и одновременно в нескольких высотных поясах, что и способствует формированию высоких половодных наводнений с затоплением прибрежных территорий [1, 2]. Также в бассейнах Лены и Енисея сохраняется наибольшая опасность наводнений при ледяных заторах [3].

Избежать последствий опасных наводнений в будущем возможно при заблаговременной подготовке к изменениям гидрологического режима рек. Созданные во ВНИИГМИ-МЦД методы расчёта прогностических оценок количества осадков на ближайшие десятилетия дают возможность определить направленность и интенсивность изменений водности рек во время половодий и паводков, что в свою очередь позволяет предотвратить надвигающиеся риски. Выполнение поставленной задачи состоит из нескольких этапов: подготовка рядов многолетних данных стока воды в половодье на незарегулированных участках рек в местах расположения промышленно и социально значимых объектов в бассейнах Енисея и Лены и количества осадков в их водосборах; сравнительный анализ изменения стока в половодье и количества осадков и получение регрессионных зависимостей; вычисление на ближайшие десятилетия ожидаемых изменений половодного

стока указанных рек на основе регрессионных соотношений с прогностическими оценками количества осадков в их водосборах.

### **1. Подготовка рядов многолетних данных стока рек в половодье в местах расположения промышленно и социально значимых объектов в бассейнах Енисея и Лены**

Основной приток воды в русловую сеть в бассейнах рассматриваемых рек формируется в период таяния снежного покрова на равнине с добавлением атмосферных осадков, а на некоторых реках – ещё и талых вод наледей, высокогорных снежников и ледников. Поэтому главной фазой водного режима является весенне-летнее половодье [4].

Питание изучаемых рек от выпадения дождей происходит повсеместно, однако доля их участия значительно изменяется по территории – 15–50 % от годовой величины стока. Подземные воды имеют большое значение в питании рек в зимний период. Многие реки бассейнов Енисея и Лены имеют либо снеговое, либо смешанное питание с преобладанием того или иного типа. В формировании стока половодья участвуют талые, дождевые и подземные воды [5].

Выбор гидрологических постов для дальнейшего исследования основывался на следующих требованиях:

- 1) данные, получаемые на гидрологическом посту, должны характеризовать ситуацию с водным режимом в окрестностях расположения промышленно и социально значимых объектов;
- 2) в полученных данных должны присутствовать сведения о суточных, среднедекадных или хотя бы среднемесячных расходах воды за срок, достаточный для построения корреляционных зависимостей и уравнений регрессии;
- 3) сток в реке в месте расположения гидрологического поста не должен быть зарегулирован.

Ситуация с зарегулированным стоком особенно актуальна для верховьев бассейна Енисея. Здесь расположены такие крупные водохранилища, как Красноярское, Саяно-Шушенское, Майнское, Богучанское, Усть-Илимское, Братское, Иркутское. По этой

причине из крупных населённых пунктов, расположенных в верховьях бассейна Енисея на больших и средних реках с естественным гидрологическим режимом и наличием необходимых данных по расходам воды, были выделены для дальнейшего изучения города Кызыл, Абакан (пост в посёлке Райков) и Канск (табл. 1).

Зарегулированность водного режима верховьев Енисея и Ангарты чётко выражена вплоть до их слияния и ниже. Поэтому паводочная ситуация в районе города Енисейск, расположенного в средней части бассейна Енисея, также не отражает естественный ход событий и не может быть принята для дальнейшего изучения.

В нижнем течении Енисея относительно крупным населённым пунктом с гидрологическим постом, обладающим достаточной изученностью, является город Игарка.

Водосбор озера Байкал тоже является частью бассейна Енисея. Но реки, впадающие в озеро Байкал, не рассмотрены в этой работе.

Из числа гидрологических постов, расположенных на реке Лене и её притоках, учитывая изложенные выше требования, к дальнейшему изучению были отобраны семь, которые характеризуют гидрологическую ситуацию в окрестностях городов Бодайбо (пост в городе Бодайбо), Вилуйск (пост в посёлке Хатырык-Хомо), Усть-Кут (пост в селе Таюра), Киренск (пост в деревне Змеиново), Ленск (пост Крестовский), Олёкминск (пост в селе Солянка), Якутск (пост в селе Табага) (табл. 1).

Таблица 1

## Список гидрологических постов, выбранных для дальнейших расчётов

| Название водного объекта и пункта наблюдений | Код пункта наблюдений | Расстояние (км) от |       | Площадь водосбора, кв. км | Период действия: число, месяц, год |         |
|----------------------------------------------|-----------------------|--------------------|-------|---------------------------|------------------------------------|---------|
|                                              |                       | истока             | устья |                           | открыт                             | закрыт  |
| р. Абакан – пос. Райков                      | 09213                 | 475                | 38,0  | 31300                     | 12.09.1953                         | Действ. |
| р. Кан – г. Канск                            | 09337                 | 399                | 230   | 23000                     | 01.10.1932                         | то же   |
| р. Енисей – г. Кызыл                         | 09002                 | 1                  | 3486  | 115000                    | 28.04.1926                         | «»      |
| р. Енисей – г. Игарка                        | 09803                 | 2790               | 697   | 2440000                   | 03.02.1936                         | «»      |
| р. Витим – г. Бодайбо                        | 03106                 | 1543               | 294   | 186000                    | 04.09.1911                         | «»      |
| р. Вилуй – пос. Хатырык-Хомо                 | 03329                 | 2528               | 122   | 452000                    | 01.01.1953                         | «»      |
| р. Лена – с. Таюра                           | 03014                 | 909                | 3385  | 74500                     | 14. 3.1975                         | «»      |

Окончание табл. 1

| Название водного объекта и пункта наблюдений | Код пункта наблюдений | Расстояние (км) от |       | Площадь водосбора, кв. км | Период действия: число, месяц, год |        |
|----------------------------------------------|-----------------------|--------------------|-------|---------------------------|------------------------------------|--------|
|                                              |                       | истока             | устья |                           | открыт                             | закрыт |
| р. Лена – д. Змеиново                        | 03021                 | 1155               | 3139  | 140000                    | 31. 5.1913                         | « »    |
| р. Лена – г.п. Крестовский                   | 03029                 | 1639               | 2655  | 440000                    | 01.09.1932                         | « »    |
| р. Лена – с. Солянка                         | 03036                 | 2216               | 2078  | 770000                    | 12.03.1933                         | « »    |
| р. Лена – с. Табага                          | 03042                 | 2767               | 1527  | 897000                    | 16.05.1937                         | « »    |

Следующим этапом работ было определение сроков прохождения половодья на каждом выбранном гидрологическом посту и приведение их к некому единому многолетнему значению. Поставленная задача была решена путём программной обработки и анализа гидрографов стока на изучаемых постах за последние 40 лет (с 1981 года). Причём, учитывая тот факт, что наибольшую опасность окружающим объектам несёт пик половодья, было решено ограничиться в расчётах полутора-двухмесячным сроком прохождения максимальных расходов воды. Дать прогностические оценки максимальных расходов воды на более короткий промежуток времени (по сути спрогнозировать пик половодья) затруднительно, поскольку требуется учитывать большее количество исходных прогнозных данных, помимо количества осадков. Так, максимальные расходы воды на самом пике половодья зависят не только от количества выпавшего за зиму снега в водосборе и текущих осадков, но и от того, насколько интенсивно тает снег. А это уже требует прогнозов по температуре воздуха.

В случае же полутора-двухмесячного пикового периода прохождения максимальных расходов воды температурный режим воздуха не так важен, поскольку практически в любом случае к завершению указанного пикового периода процесс снеготаяния, как правило, окончен. Таким образом, исключив влияние температуры, планируется достигнуть более высоких корреляционных зависимостей между стоком воды в пиковый период половодья и количеством накопленных за зиму осадков.

Для определения временных рамок пиковых периодов половодья учитывались расходы воды, превышающие средний годовой

в два раза. Причём брался в расчёт первый пик половодья, сформированный талыми водами с наложением осадков, выпавших во время таяния снега. В некоторые годы пики дождевых паводков на изучаемых реках превышают максимальные расходы воды, вызванные талыми водами. Также, например, водный режим в верхнем течении Енисея принадлежит к алтайскому типу, с растянутым до осени половодьем, с несколькими пиками вследствие таяния снегов на различных высотах в горах. Однако все эти летние паводки не обладают достаточной повторяемостью и временной привязкой, чтобы брать их в расчёт для дальнейших прогностических оценок.

Таким образом, в дальнейших расчётах будет фигурировать период стока воды с момента, когда на подъёме половодья расход превысил в два раза средний годовой, и до даты на спаде первого пика половодья, когда расход воды вновь опустился ниже двукратного уровня среднего годового (в дальнейшем – «пиковый период половодья или период пика половодья  $Q_{ппп}$ »). В бассейнах Енисея и Лены (с притоками) – это, как правило, май–июнь или май–июль (табл. 2).

Таблица 2

**Средние многолетние временные рамки и расход воды периода прохождения максимального стока (пика) половодья**

| <b>Название водного объекта и пункта наблюдений</b> | <b>Средние многолетние временные рамки периода пика половодья</b> |
|-----------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|
| р. Абакан – пос. Райков                             | 3 декада 04 – 3 декада 06                                         |
| р. Кан – г. Канск                                   | 1 декада 05 – 3 декада 06                                         |
| р. Енисей – г. Кызыл                                | 2 декада 05 – 3 декада 06                                         |
| р. Енисей – г. Игарка                               | 3 декада 05 – 1 декада 07                                         |
| р. Витим – г. Бодайбо                               | 3 декада 05 – 1 декада 07                                         |
| р. Вилуй – пос. Хатырык-Хомо                        | 2 декада 05 – 1 декада 07                                         |
| р. Лена – с. Таюра                                  | 1 декада 05 – 2 декада 06                                         |
| р. Лена – д. Змеиново                               | 2 декада 05 – 1 декада 07                                         |
| р. Лена – г.п. Крестовский                          | 2 декада 05 – 1 декада 07                                         |
| р. Лена – с. Солянка                                | 2 декада 05 – 1 декада 07                                         |
| р. Лена – с. Табага                                 | 2 декада 05 – 1 декада 07                                         |

В табл. 2 указание временных рамок, например «2 декада 05 – 1 декада 07», означает со второй декады мая до первой

декады июля. Стоит учесть, что временные рамки этого периода в определённые годы могут сдвигаться в зависимости от температурных условий как в одну, так и в другую сторону. А многолетние ряды стока воды в половодье (рис. 1–4) были построены с учётом фактических ежегодных временных рамок периода пика половодья, а не по осреднённым, как в табл. 2.

В табл. 3 приведены средние многолетние расходы воды в пиковые периоды половодья  $Q_{ппп}$  за 1981–2017 гг., и приведённые к десятилетнему отрезку времени тренды их изменения за тот же период.

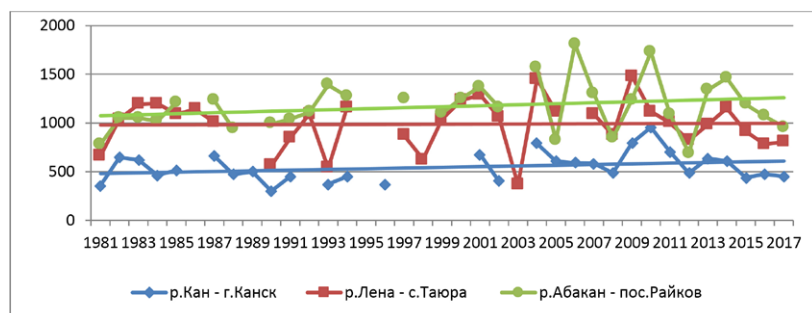


Рис. 1. Средние расходы воды периода пика половодья  $Q_{ппп}$  на гидрологических постах р. Кан – г. Канск, р. Лена – с. Таяра, р. Абакан – пос. Райков

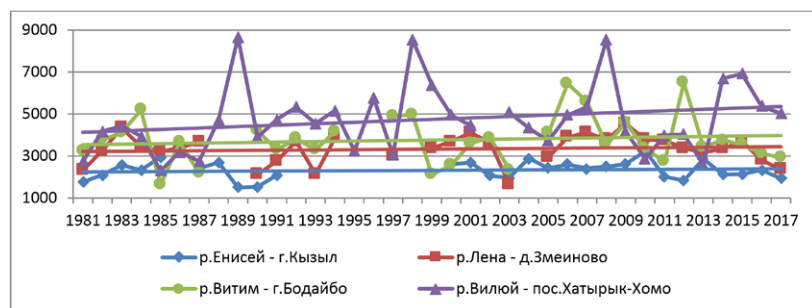


Рис. 2. Средние расходы воды периода пика половодья  $Q_{ппп}$  на гидрологических постах р. Енисей – г. Кызыл, р. Лена – д. Змеиново, р. Витим – г. Бодайбо, р. Вилюй – пос. Хатырык-Хомо

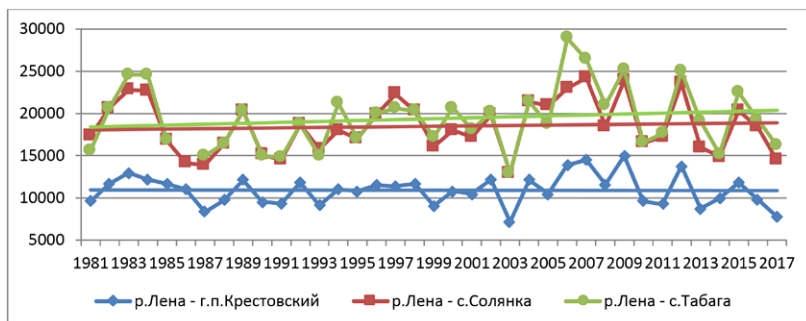


Рис. 3. Средние расходы воды периода пика половодья  $Q_{ппп}$  на гидрологических постах р. Лена – г.п. Крестовский, р. Лена – с. Солянка, р. Лена – с. Табага

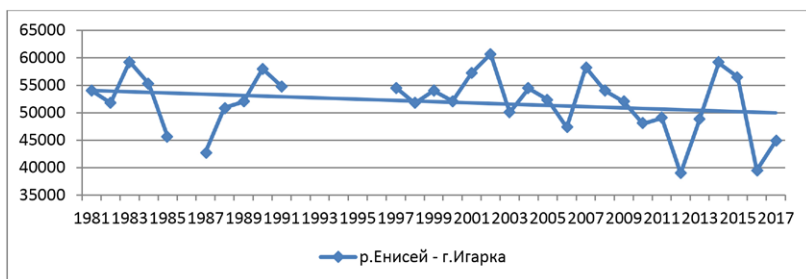


Рис. 4. Средние расходы воды периода пика половодья  $Q_{ппп}$  на гидрологическом посту р. Енисей – г. Игарка

Таблица 3

**Характеристики средних расходов воды периода прохождения максимального стока (пика) половодья  $Q_{ппп}$  (по данным за 1981–2017 гг.)**

| Название водного объекта и пункта наблюдений | Средний многолетний расход воды за период пика половодья, $\text{м}^3/\text{с}$ | Тренд изменения среднего расхода воды за период пика половодья, % за 10 лет |
|----------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------|
| р. Абакан – пос. Райков                      | 1200                                                                            | +3,7                                                                        |
| р. Кан – г. Канск                            | 538                                                                             | +4,0                                                                        |
| р. Енисей – г. Кызыл                         | 2370                                                                            | +0,4                                                                        |
| р. Енисей – г. Игарка                        | 52400                                                                           | -1,9                                                                        |

Окончание табл. 3

| Название водного объекта и пункта наблюдений | Средний многолетний расход воды за период пика половодья, м <sup>3</sup> /с | Тренд изменения среднего расхода воды за период пика половодья, % за 10 лет |
|----------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------|
| р. Витим – г. Бодайбо                        | 3720                                                                        | +3,2                                                                        |
| р. Вилюй – пос. Хатырык-Хомо                 | 4880                                                                        | +4,9                                                                        |
| р. Лена – с. Таюра                           | 931                                                                         | +0,5                                                                        |
| р. Лена – д. Змеиново                        | 3300                                                                        | +3,1                                                                        |
| р. Лена – г.п. Крестовский                   | 11000                                                                       | +0,2                                                                        |
| р. Лена – с. Солянка                         | 18400                                                                       | +1,4                                                                        |
| р. Лена – с. Табага                          | 19200                                                                       | +2,8                                                                        |

Как видно из табл. 3, почти на всех гидрологических постах наблюдается положительный тренд, что является предпосылкой к затоплению прилегающих пойменных территорий. Исключением является ситуация в низовьях Енисея (город Игарка). Здесь на водность пикового периода половодья оказывают снижающее воздействие расположенные выше по течению реки водохранилища.

Полученные выводы были сопоставлены с результатами, полученными другими исследователями как в отношении изменений стока воды в половодье, так и годового стока (поскольку главной фазой водного режима на изучаемых реках также является половодье [4]). Сотрудниками Института географии РАН были выявлены долговременные фазы пониженного и повышенного стока воды крупнейших рек водосбора Северного Ледовитого океана (в том числе Енисея и Лены). Их продолжительность изменялась от 20 до 50 лет. Показано, что, начиная с 1930–1940-х гг. до начала XXI века, условно-естественный годовой и сезонный сток характеризовался двумя основными долговременными фазами изменений. Фаза снижения стока, начавшаяся в 1930–1940-х гг. и продолжавшаяся несколько десятилетий, сменилась в 1970–1980-х гг. долговременным повышением годового стока и стока половодья, что было 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. При

этом наибольшее увеличение стока произошло на Енисее и Лене [6, 7], хотя к 2010 году в их бассейнах наблюдалось уменьшение зимних осадков [8].

В предыдущем абзаце выводы о росте стока с 1970–1980-х гг. были сделаны по восстановленному стоку (как если бы не было влияния водохранилищ). Фактически же на Енисее ситуация иная. Те же авторы утверждают, что на сток половодья Енисея преобладающее влияние оказывают антропогенные факторы (расположенные выше по течению водохранилища), и он снижается. Во всех остальных случаях на рассматриваемых реках преобладает влияние природно-климатических факторов, которое приводит к росту стока [6]. Такие же результаты были получены и автором данной работы (табл. 3).

На географическом факультете МГУ им. М. В. Ломоносова также было выявлено, что главная особенность многолетних колебаний стока воды (в том числе в половодье) большинства арктических рек – его увеличение в последние 30–40 лет. Тренд существует в основном за счёт увеличения расходов воды со второй половины 1980-х гг. [4].

## **2. Подготовка рядов многолетних данных по осадкам в водосборах изучаемых рек**

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 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 одиннадцати отобранных на предыдущем этапе гидрологических постов на реках в бассейнах Енисея и Лены (рис. 5).

При достаточно редкой сети метеостанций для расчёта суммы осадков на некоторых участках использовались данные с метеостанций, расположенных за пределами изучаемых водосборов, как наиболее точно отражающие ситуацию.

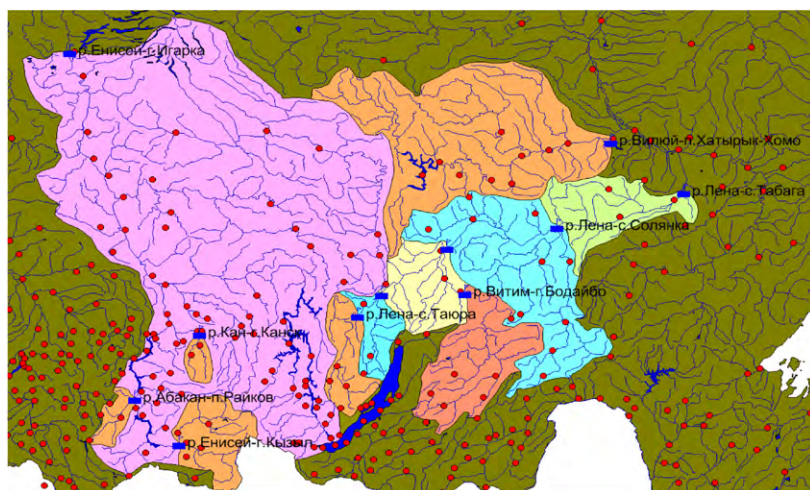


Рис. 5. Водосборы исследуемых рек с расположением гидрологических постов (синие прямоугольники с флажком) и метеостанций (красные кружки)

В процессе дальнейшей обработки рядов ежемесячных данных по осадкам были забракованы явно ошибочные данные. В конечном итоге многолетние ряды ежемесячных данных по осадкам по каждой отобранной станции были просуммированы за периоды с начала ледостава и до окончания периода пика половодья. Суммирование проводилось по осреднённым за многолетний период датам (за 1981–2017 гг.). Такой расчёт суммы осадков в наибольшей степени соответствует условиям формирования стока воды в половодье. Далее при помощи ГИС метеостанции были распределены по водосборам.

### **3. Сравнительный анализ изменения стока воды в половодье на исследуемых гидрологических постах 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 [9].

В процессе работ водосборы этих рек были разделены на участки. Для водосборов гидрологических постов р. Енисей – г. Игарка и р. Лена – с. Табага из-за больших площадей водосбора и значительного количества метеостанций на них был применён метод квадратов [10]. 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. 6).

Как видно из рис. 6, некоторые квадраты в пределах водосбора Енисея вовсе не имеют метеостанций. В этом случае использовались данные по осадкам с ближайших к квадрату метеостанций, в том числе и с расположенных за пределами водосбора.

Для остальных гидрологических постов был выбран метод взвешивания [10], который более подходит для небольших водосборов или водосборов с ограниченным числом метеостанций (рис. 7). Здесь участок строится вокруг каждой отдельной

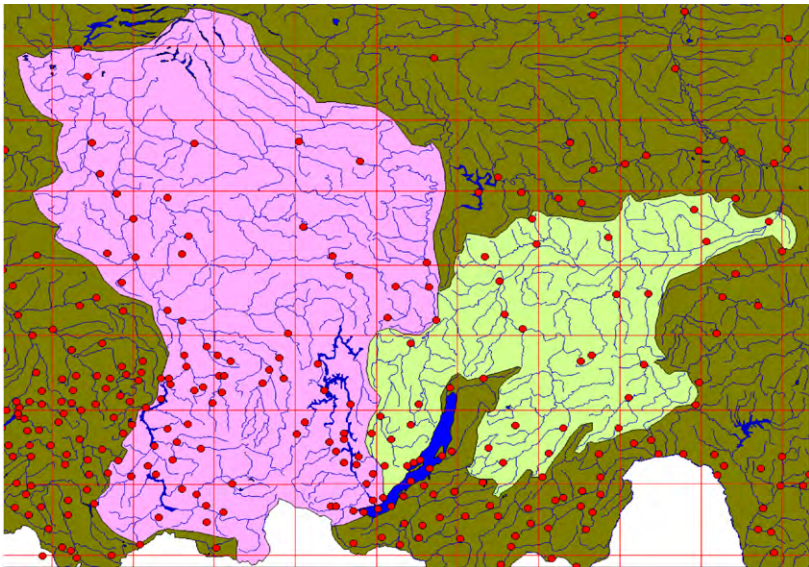
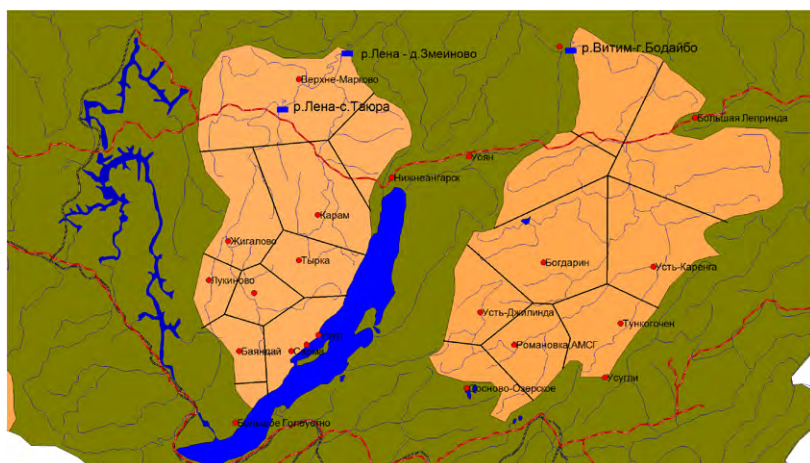


Рис. 6. Разделение водосборов р. Енисей – г. Игарка и р. Лена – с. Табага на участки методом квадратов (красными кружками показано расположение метеостанций)



*Рис. 7. Разделение водосборов р. Витим – г. Бодайбо и р. Лена – д. Змеиново на участки методом взвешивания (красными кружками показано расположение метеостанций)*

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. При использовании этого метода для некоторых участков также использовались данные с метеостанций, расположенных за пределами изучаемого водосбора (например метеостанция Большая Лепринда на рис. 7).

После того, как водосборы были разбиты на участки тем или иным способом, были рассчитаны средние слои осадков за периоды с начала ледостава и до окончания периода пика половодья в каждом из участков по данным метеостанций, находящихся в пределах участка как среднее арифметическое. Расчёт проводился отдельно для каждого года за весь многолетний период (с 1981 по 2017 год включительно). Как уже отмечалось, в некоторых случаях попадались участки, не имеющие на своей территории ни одной метеостанции (рис. 6 и 7). 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 слой осадков за период с начала ледостава и до окончания периода пика половодья (в миллиметрах), выпавших в пределах водосбора.

Таким образом, стало возможным сопоставить характеристику  $R$  со средним расходом воды пикового периода половодья  $Q_{ппп}$  в замыкающем водосбор створе. Однако не весь объём воды, поступивший в пределы водосбора в виде осадков, участвует в формировании стока воды в половодье. Значительная часть испаряется или аккумулируется в естественных и искусственных водоёмах, подземных водах, ледниках и поступает в речное русло в периоды, следующие за расчётным (период стока воды с момента, когда на подъёме половодья расход превысил в два раза средний многолетний (за 1981–2017 гг.), и до даты на спаде первого пика половодья, когда расход воды вновь опустился ниже двукратного уровня среднего многолетнего). Тем самым влияние количества осадков на сток воды усложняется, что снижает корреляцию рядов многолетних значений  $R$  и  $Q_{ппп}$ . 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, поступившем 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 были проведены соответствующие расчёты. Их суть 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 количества осадков, образуя значение  $R$ . Далее находится коэффициент корреляции между рядами величины  $R$ , полученной по участкам водосбора в данной комбинации, и стоком воды в половодье  $Q_{ппп}$ . В итоге максимальный коэффициент корреляции определяет тот состав участков водосбора, который характеризует максимально тесную зависимость  $Q_{ппп}$

от  $R$ . Кроме того, заданный алгоритм автоматически исключает участки водосбора с недостоверными данными по осадкам, которые могут возникнуть по причине редкой сети метеостанций или в результате ошибок в данных по осадкам.

Таким образом из расчётов были исключены участки водосборов с нарушенной связью между количеством осадков за период с начала ледостава и до окончания периода пика половодья  $R$  и естественным речным стоком в период пика половодья  $Q_{ппп}$  или недостаточным количеством метеостанций по одиннадцати водосборам гидрологических постов на реках в бассейнах Енисея и Лены. По оставшимся участкам были посчитаны коэффициенты корреляции между  $Q_{ппп}$  и  $R$ . Как видно из табл. 4, полученные коэффициенты корреляции между  $Q_{ппп}$  и  $R$  колеблются в диапазоне от 0,71 до 0,85, что говорит о достижении устойчивой связи между значениями.

В третьем столбце табл. 4 указано количество участков, оставленных в расчётах из общего количества участков в водосборе. В четвёртом столбце указаны длины рядов  $Q_{ппп}$  и  $R$ , по которым проводились расчёты коэффициентов корреляции между этими величинами и в дальнейшем – уравнений регрессии  $Q_{ппп} = f(R)$ .

Специалистами ФГБУ «Арктический и Антарктический научно-исследовательский институт» была исследована связь между климатическими условиями в областях водосборов Енисея и Лены и их стоком в Северный Ледовитый океан [11]. 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.

В расчётах, проведённых в данной работе, максимальный коэффициент корреляции между осадками и стоком периода пика половодья также был получен в бассейне реки Лены и равнялся 0,85 (табл. 4). Добиться более высокой корреляционной связи стало возможным, во-первых, благодаря применению в расчётах не среднегодовых значений осадков, а за период с начала ледостава и до окончания периода пика половодья, что в большей степени соответствует условиям формирования стока воды

в половодье в текущем году на исследуемых реках; во-вторых, за счёт исключения участков водосбора, с нарушенной связью между количеством осадков и количеством воды, поступившем в речную сеть. Выше этот процесс описан подробнее.

Таблица 4

**Характеристики сравнительного анализа стока воды  
в период пика половодья  $Q_{ппп}$  по гидрологическим постам  
на реках в бассейнах Енисея и Лены и количества осадков  
за период с начала ледостава и до окончания периода  
пика половодья  $R$  в их водосборах**

| Река – пост                | Количество метеостанций в расчётах | Количество участков в расчётах из общего количества | Длина рядов $Q_{ппп}$ и $R$ | Коэффициент корреляции между $R$ и $Q_{ппп}$ |
|----------------------------|------------------------------------|-----------------------------------------------------|-----------------------------|----------------------------------------------|
| р. Абакан – пос. Райков    | 5                                  | 4 из 5                                              | 1981–2017                   | 0,78                                         |
| р. Кан – г. Канск          | 2                                  | 2 из 2                                              | 1981–2017                   | 0,75                                         |
| р. Енисей – г. Кызыл       | 5                                  | 5 из 5                                              | 1981–2017                   | 0,71                                         |
| р. Енисей – г. Игарка      | 79                                 | 25 из 31                                            | 1981–2017                   | 0,77                                         |
| р. Витим – г. Бодайбо      | 10                                 | 7 из 9                                              | 1981–2017                   | 0,85                                         |
| р.Вилуй – пос.Хатырык-Хомо | 13                                 | 8 из 12                                             | 1981–2017                   | 0,81                                         |
| р. Лена – с. Таюра         | 7                                  | 4 из 5                                              | 1981–2017                   | 0,79                                         |
| р. Лена – д. Змеиново      | 12                                 | 7 из 10                                             | 1981–2017                   | 0,78                                         |
| р. Лена – г.п. Крестовский | 21                                 | 7 из 11                                             | 1981–2017                   | 0,79                                         |
| р. Лена – с. Солянка       | 34                                 | 12 из 16                                            | 1981–2017                   | 0,75                                         |
| р. Лена – с. Табага        | 39                                 | 13 из 18                                            | 1981–2017                   | 0,72                                         |

Также стоит отметить, что установление зависимости между осадками и стоком в какую-либо из фаз водного режима (в нашем случае – в половодье) заведомо более сложная задача, чем установление зависимости между осадками и годовым стоком, как в [11]. Сложность заключается в правильном нахождении временных границ фазы водного режима и той части осадков, которая участвует в её формировании.

#### 4. Вычисление на ближайшие годы тенденций изменений стока воды в половодье рек бассейна Енисея и Лены 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  $Q_{ппп}$  и  $R$ , стало возможным получить уравнения регрессии  $Q_{ппп} = f(R)$ , где  $Q_{ппп}$  – сток воды периода пика половодья в м<sup>3</sup>/с,  $R$  – слой осадков в миллиметрах за период с начала ледостава и до окончания периода пика половодья, выпавших на расчётных участках водосбора (табл. 5). Также приведены коэффициенты детерминации, показывающие долю тех изменений величины расхода  $Q_{ппп}$ , которая в данной зависимости определяется колебанием значений слоя осадков  $R$ .

Таблица 5

##### Уравнения регрессии $Q_{ппп} = f(R)$ и коэффициенты детерминации

| Река – пост                  | Уравнение регрессии      | Коэффициент детерминации |
|------------------------------|--------------------------|--------------------------|
| р. Абакан – пос. Райков      | $Q_{ппп} = 4,59R - 356$  | 0,61                     |
| р. Кан – г. Канск            | $Q_{ппп} = 2,43R + 15$   | 0,57                     |
| р. Енисей – г. Кызыл         | $Q_{ппп} = 13,1R + 408$  | 0,51                     |
| р. Енисей – г. Игарка        | $Q_{ппп} = 199R + 3110$  | 0,59                     |
| р. Витим – г. Бодайбо        | $Q_{ппп} = 30,9R - 1370$ | 0,72                     |
| р. Вилюй – пос. Хатырык-Хомо | $Q_{ппп} = 60,4R - 4430$ | 0,66                     |
| р. Лена – с. Таюра           | $Q_{ппп} = 6,46R + 41$   | 0,62                     |
| р. Лена – д. Змеиново        | $Q_{ппп} = 19,7R + 515$  | 0,61                     |
| р. Лена – г.п. Крестовский   | $Q_{ппп} = 66,4R - 416$  | 0,63                     |
| р. Лена – с. Солянка         | $Q_{ппп} = 118R - 3070$  | 0,57                     |
| р. Лена – с. Табага          | $Q_{ппп} = 138R - 5400$  | 0,52                     |

Сотрудниками лаборатории исследования последствий изменения климата ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД» были рассчитаны ежегодные прогнозные значения количества осадков за период с начала ледостава и до окончания периода пика половодья до 2052 года включительно по тем же метеостанциям, данные с которых использовались для получения уравнений регрессии в табл. 5. Прогнозные данные по осадкам были рассчитаны исходя из рабочей гипотезы о том, что динамика погоды и климата

главным образом является следствием колебаний климатической системы на её собственных частотах [12, 13].

По полученным уравнениям регрессии (табл. 5) были рассчитаны ежегодные прогностические оценки стока воды периода пика половодья (по временным рамкам в соответствии с табл. 2) на одиннадцати выбранных гидрологических постах с 2021 до 2052 года включительно, так как 2052 год является последним, для которого вычислены прогнозные значения осадков. Однако вычисление ежегодных прогнозных колебаний водности рек не является целью данной работы. Исходя из гипотезы о динамике погоды и климата [12, 13] наиболее достоверными являются многолетние прогнозные колебания водности. Поэтому на рис. 8–10 показаны прогностические оценки средних расходов воды периода пика половодья  $Q_{ппп}$ , сглаженные методом простой скользящей средней по пятилетним периодам. То есть, например, значение  $Q_{ппп}$  в 2025 году на рис. 8–10 является средним за 2023–2027 гг., в 2026 году – за 2024–2028 гг. и так далее. Как следствие, временные рамки прогнозных значений  $Q_{ппп}$ , представленных на рис. 8–10, сокращены до 2023–2050 гг.

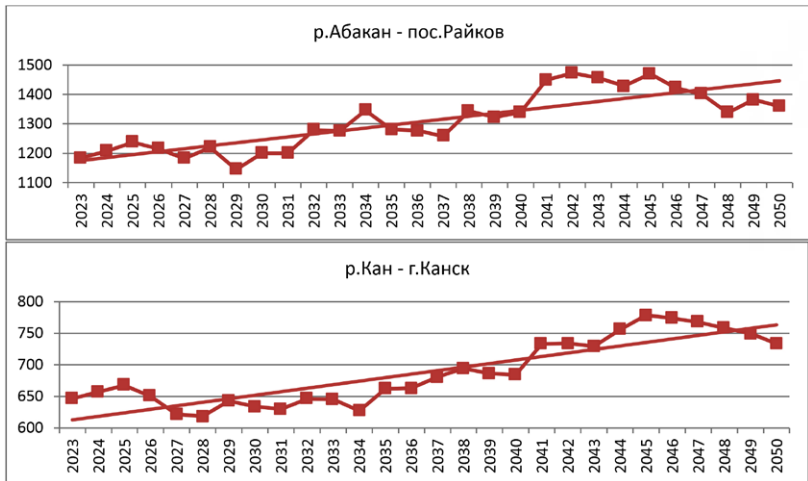


Рис. 8. Прогностические оценки средних расходов воды периода пика половодья  $Q_{ппп}$  ( $\text{м}^3/\text{с}$ ), сглаженные методом простой скользящей средней по пятилетним периодам по рекам Абакан, Кан

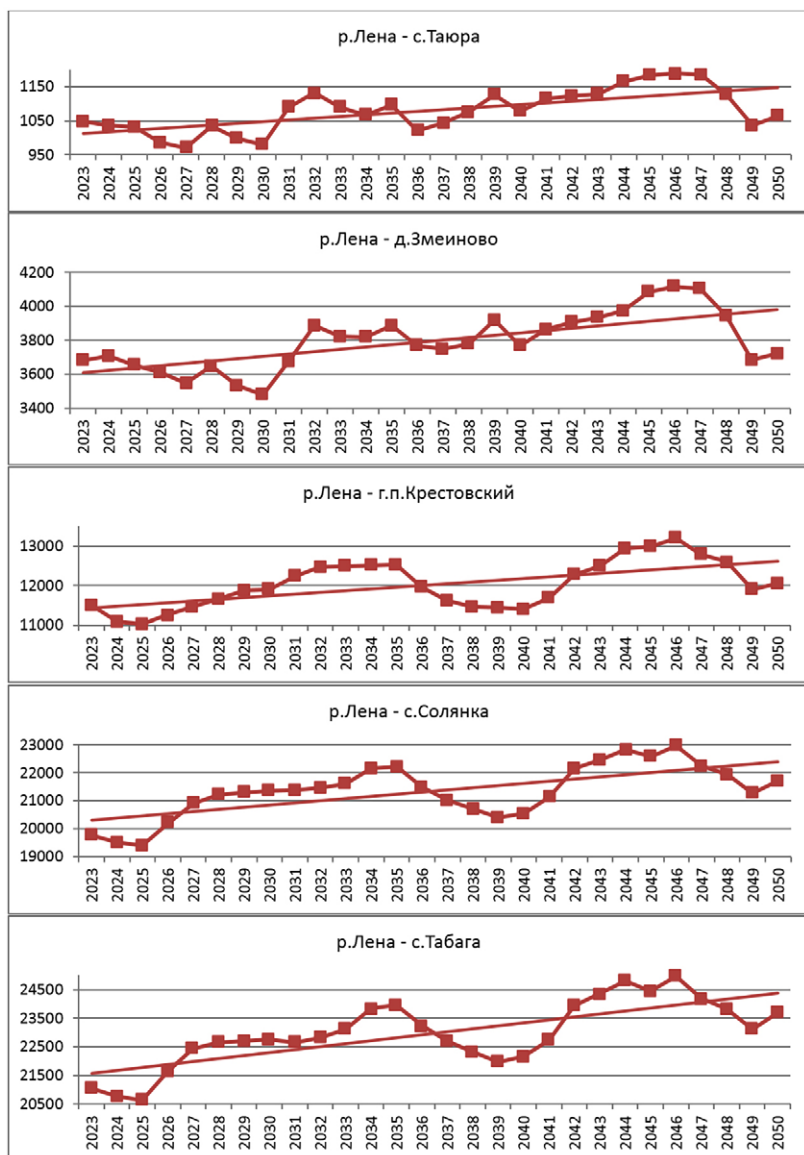


Рис. 9. Прогностические оценки средних расходов воды периода пика половодья  $Q_{пп}$  ( $m^3/s$ ), сглаженные методом простой скользящей средней по пятилетним периодам по реке Лене

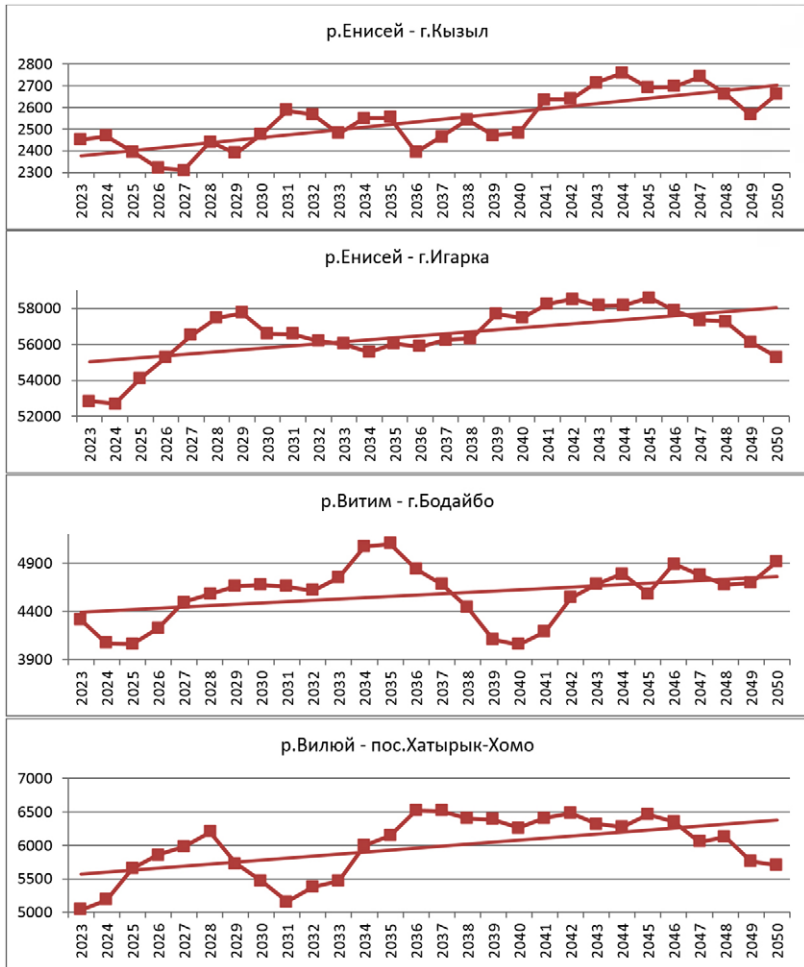


Рис. 10. Прогностические оценки средних расходов воды периода пика половодья  $Q_{ппп}$  (м³/с), сглаженные методом простой скользящей средней по пятилетним периодам по рекам Енисей, Витим, Вилюй

Как видно из рис. 8–10 по линейным трендам, среднегодовые расходы воды имеют тенденцию к росту по всем одиннадцати гидрологическим постам. Для оценки интенсивности этого роста

были рассчитаны средние параметры (в метрах кубических в секунду и в процентах) линейного тренда за весь период прогностических оценок и приведены к десятилетнему периоду (табл. 6).

Таблица 6

**Интенсивность изменения прогностических оценок средних расходов воды периода пика половодья  $Q_{ппп}$  по линейному тренду за период с 2023 по 2050 г. (значения приведены к средним за десятилетний срок)**

| Река – пост                  | Характеристики линейного тренда<br>(за 10 лет) |
|------------------------------|------------------------------------------------|
| р. Абакан – пос. Райков      | +10 м <sup>3</sup> /с, +7,7 %                  |
| р. Кан – г. Канск            | +56 м <sup>3</sup> /с, +8,1 %                  |
| р. Енисей – г. Кызыл         | +120 м <sup>3</sup> /с, +5,4 %                 |
| р. Енисей – г. Игарка        | +1100 м <sup>3</sup> /с, +2,0 %                |
| р. Витим – г. Бодайбо        | +130 м <sup>3</sup> /с, +2,9 %                 |
| р. Вилюй – пос. Хатырык-Хомо | +300 м <sup>3</sup> /с, +5,0 %                 |
| р. Лена – с. Таюра           | +53 м <sup>3</sup> /с, +4,0 %                  |
| р. Лена – д. Змеиново        | +140 м <sup>3</sup> /с, +3,9 %                 |
| р. Лена – г.п. Крестовский   | +440 м <sup>3</sup> /с, 3,8 %                  |
| р. Лена – с. Солянка         | +760 м <sup>3</sup> /с, 3,6 %                  |
| р. Лена – с. Табага          | +950 м <sup>3</sup> /с, +4,1 %                 |

Из полученных результатов (табл. 6) следует, что наиболее интенсивный рост – от 5,4 до 8,1 % – средних расходов воды периода пика половодья в среднем за весь период прогноза до 2050 года будет происходить на сравнительно небольших реках в верховьях бассейна Енисея. В нижнем же течении Енисея рост значений  $Q_{ппп}$  будет не так заметен – всего 2 % за десятилетие (в среднем до 2050 года). Это, возможно, объясняется тем, что волна половодья теряет свои максимальные значения (в относительных цифрах), растягиваясь и трансформируясь по мере продвижения от истоков к устью.

В табл. 7 приведены средние значения  $Q_{ппп}$  по десятилетиям (фактические за 2008–2017 гг. и прогнозные за 2021–2050 гг.) в метрах кубических в секунду и их рост в процентах по отношению к периоду 2008–2017 гг.

Как видно из табл. 7, все осреднённые по десятилетиям расходы воды имеют положительную, с большей или меньшей интенсивностью, тенденцию изменения.

Таблица 7

**Изменение прогностических оценок средних расходов воды периода пика половодья  $Q_{ппп}$  по десятилетиям по отношению к фактическим значениям за 2008–2017 гг. (значения приведены к средним за десятилетний срок)**

| Река – пост                | 2008–2017                | 2021–2030                           | 2031–2040                          | 2041–2050                          |
|----------------------------|--------------------------|-------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|
| р. Абакан – пос. Райков    | 1 160 м <sup>3</sup> /с  | 1 200 м <sup>3</sup> /с,<br>+3,4 %  | 1 310 м <sup>3</sup> /с,<br>+13 %  | 1 400 м <sup>3</sup> /с,<br>+21 %  |
| р. Кан – г. Канск          | 604 м <sup>3</sup> /с    | 632 м <sup>3</sup> /с,<br>+4,6 %    | 670 м <sup>3</sup> /с,<br>+11 %    | 744 м <sup>3</sup> /с,<br>+23 %    |
| р. Енисей – г. Кызыл       | 2 360 м <sup>3</sup> /с  | 2 450 м <sup>3</sup> /с,<br>+3,8 %  | 2 510 м <sup>3</sup> /с,<br>+6,4 % | 2 690 м <sup>3</sup> /с,<br>+14 %  |
| р. Енисей – г. Игарка      | 49 100 м <sup>3</sup> /с | 55 200 м <sup>3</sup> /с,<br>+12 %  | 56 200 м <sup>3</sup> /с,<br>+14 % | 57 700 м <sup>3</sup> /с,<br>+18 % |
| р. Витим – г. Бодайбо      | 3 750 м <sup>3</sup> /с  | 4 440 м <sup>3</sup> /с,<br>+18 %   | 4 600 м <sup>3</sup> /с,<br>+23 %  | 4 670 м <sup>3</sup> /с,<br>+25 %  |
| р. Вилюй – п. Хатырык-Хомо | 5 020 м <sup>3</sup> /с  | 5 620 м <sup>3</sup> /с,<br>+12 %   | 5 930 м <sup>3</sup> /с,<br>+18 %  | 6 220 м <sup>3</sup> /с,<br>+24 %  |
| р. Лена – с. Таюра         | 993 м <sup>3</sup> /с    | 1 040 м <sup>3</sup> /с,<br>+4,7 %  | 1 080 м <sup>3</sup> /с,<br>+8,8 % | 1 130 м <sup>3</sup> /с,<br>+14 %  |
| р. Лена – д. Змеиново      | 3 460 м <sup>3</sup> /с  | 3 670 м <sup>3</sup> /с,<br>+6,1 %  | 3 800 м <sup>3</sup> /с,<br>+10 %  | 3 940 м <sup>3</sup> /с,<br>+14 %  |
| р. Лена – г.п. Крестовский | 10 700 м <sup>3</sup> /с | 11 600 м <sup>3</sup> /с,<br>+8,4 % | 12 000 м <sup>3</sup> /с,<br>+12 % | 12 500 м <sup>3</sup> /с,<br>+17 % |
| р. Лена – с. Солянка       | 18 400 м <sup>3</sup> /с | 20 500 м <sup>3</sup> /с,<br>+11 %  | 21 200 м <sup>3</sup> /с,<br>+15 % | 22 200 м <sup>3</sup> /с,<br>+21 % |
| р. Лена – с. Табага        | 19 800 м <sup>3</sup> /с | 21 900 м <sup>3</sup> /с,<br>+11 %  | 22 700 м <sup>3</sup> /с,<br>+15 % | 24 100 м <sup>3</sup> /с,<br>+22 % |

Более детально анализируя полученные результаты (рис. 8–10), можно кроме подъёмов значений  $Q_{ппп}$ , выделить относительно продолжительные (5 лет и более) спады (табл. 8).

Все значения, приведённые в столбцах «Подъём» и «Спад» табл. 8, показывают изменения величины  $Q_{ппп}$  в среднем за год, а не за десятилетие как ранее, поскольку некоторые выделенные периоды подъёма или спада по продолжительности менее 10 лет. Например, запись «2023–2036 гг. (+77 м<sup>3</sup>/с, +1,3 %)» показывает, что за период с 2023 по 2036 год средний расход воды периода пика половодья  $Q_{ппп}$  рос в среднем на 77 м<sup>3</sup>/с, или 1,3 % в год. В столбце «Период максимального стока» указаны временные

рамки и среднее значение  $Q_{ппп}$  этого периода. Почти на всех рассматриваемых гидрологических постах на рубеже 2045–2046 гг. можно выделить начало снижения значений  $Q_{ппп}$ . Максимальные же средние расходы воды периода пика половодья приходятся в основном на 2041–2046 гг., непосредственно перед началом спада.

Таблица 8

**Интенсивность изменения и периоды максимальных значений  
прогностических оценок средних расходов воды периода  
пика половодья  $Q_{ппп}$  за 2023–2050 гг.  
(значения приведены к средним за один год)**

| Река – пост                     | Подъём                                                                                                  | Спад                                                                                                    | Период<br>максимального<br>стока            |
|---------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------|
| р. Абакан –<br>пос. Райков      | 2023–2042 гг.<br>(+12 м <sup>3</sup> /с, +0,9 %)                                                        | 2046–2050 гг.<br>(-28 м <sup>3</sup> /с, -2,0 %)                                                        | 2041–2045 гг.<br>(1 460 м <sup>3</sup> /с)  |
| р. Кан – г. Канск               | 2023–2045 гг.<br>(+8 м <sup>3</sup> /с, +1,2 %)                                                         | 2046–2050 гг.<br>(-9 м <sup>3</sup> /с, -1,2 %)                                                         | 2044–2049 гг.<br>(760 м <sup>3</sup> /с)    |
| р. Енисей –<br>г. Кызыл         | 2023–2050 гг.<br>(+12 м <sup>3</sup> /с, +0,5 %)                                                        |                                                                                                         | 2043–2047 гг.<br>(2 720 м <sup>3</sup> /с)  |
| р. Енисей –<br>г. Игарка        | 2023–2029 гг.<br>(+830 м <sup>3</sup> /с, +1,5 %),<br>2035–2045 гг.<br>(+280 м <sup>3</sup> /с, +0,5 %) | 2030–2034 гг.<br>(-400 м <sup>3</sup> /с, -0,7 %),<br>2046–2050 гг.<br>(-660 м <sup>3</sup> /с, -1,2 %) | 2041–2045 гг.<br>(58 300 м <sup>3</sup> /с) |
| р. Витим –<br>г. Бодайбо        | 2023–2035 гг.<br>(+67 м <sup>3</sup> /с, +1,5 %),<br>2041–2050 гг.<br>(+80 м <sup>3</sup> /с, +1,7 %)   | 2036–2040 гг.<br>(-610 м <sup>3</sup> /с, -13 %)                                                        | 2034–2035 гг.<br>(5 090 м <sup>3</sup> /с)  |
| р. Вилюй –<br>пос. Хатырык-Хомо | 2023–2036 гг.<br>(+77 м <sup>3</sup> /с, +1,3 %)                                                        | 2046–2050 гг.<br>(-150 м <sup>3</sup> /с, -2,5 %)                                                       | 2036–2045 гг.<br>(6 400 м <sup>3</sup> /с)  |
| р. Лена – с. Таюра              | 2023–2050 гг.<br>(+5 м <sup>3</sup> /с, +0,4 %)                                                         |                                                                                                         | 2044–2047 гг.<br>(1 180 м <sup>3</sup> /с)  |
| р. Лена –<br>д. Змеиново        | 2023–2050 гг.<br>(+14 м <sup>3</sup> /с, +0,4 %)                                                        |                                                                                                         | 2045–2047 гг.<br>(4 100 м <sup>3</sup> /с)  |
| р. Лена –<br>г.п. Крестовский   | 2023–2050 гг.<br>(+44 м <sup>3</sup> /с, +0,4 %)                                                        |                                                                                                         | 2044–2046 гг.<br>(13 000 м <sup>3</sup> /с) |
| р. Лена –<br>с. Солянка         | 2023–2050 гг.<br>(+76 м <sup>3</sup> /с, +0,4 %)                                                        |                                                                                                         | 2044–2046 гг.<br>(22 800 м <sup>3</sup> /с) |
| р. Лена – с. Табара             | 2023–2050 гг.<br>(+95 м <sup>3</sup> /с, +0,4 %)                                                        |                                                                                                         | 2043–2046 гг.<br>(24 600 м <sup>3</sup> /с) |

## Заключение

По результатам проведённых расчётов можно сделать вывод о повсеместной тенденции увеличения риска опасных наводнений в районах промышленно и социально значимых объектов, рассмотренных в данной работе, расположенных на реках с незарегулированным стоком в бассейнах Енисея и Лены. В отдельных случаях периоды подъёма могут сменяться непродолжительными периодами спада вероятности возникновения опасных наводнений. Однако в целом ожидается рост (с разной интенсивностью) водности рек в период половодья.

Выводы, сделанные по итогам данной работы, были подтверждены в результате изучения других источников информации, посвящённых этой теме. Так, по прогнозам других авторов, к середине XXI века относительное увеличение водных ресурсов Енисея и Лены может составить от 4 до 14 % и больше [4].

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Семенов В. А. Климатически обусловленные изменения экстремальных гидрологических явлений на горных реках России и развитие мониторинга для предупреждения об их опасности // Сборник Всероссийской научной конференции «Проблемы безопасности в водохозяйственном комплексе России». Краснодар: ООО «Авангард плюс», 2010. С. 404–415.
2. Семенов В. А., Семенова И. В., Аванесян Р. А., Дегтяренко Т. И. Особенности климатически обусловленных изменений опасных и неблагоприятных гидрологических явлений на реках горных территорий России // Труды ГУ «ВНИИГМИ-МЦД». 2010. Вып. 175. С. 215–230.
3. Семенов В. А. Климатически обусловленные изменения опасных и неблагоприятных гидрологических явлений на реках России // Метеорология и гидрология. 2011. № 2. С. 74–82.
4. 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. Барнаул: Институт водных и экологических проблем СО РАН, 2017. С. 121–131.
5. Мёрзлый О. В. Генезис и состав вод половодий на реках бассейна Енисея // Наука и современность. Новосибирск. 2015. № 38. С. 24–35.

6. *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. Институт географии Российской академии наук, Гляциологическая ассоциация. М., 2018. С. 53–53.

7. *Георгиади А. Г., Кашутина Е. А.* Долговременные изменения стока крупнейших сибирских рек // Известия Российской академии наук. Серия географическая. 2016. Вып. 5. С. 70–81.

8. *Семенов В. А.* География климатообусловленных изменений опасных наводнений на реках России в конце XX – начале XXI столетий // Труды ФБГУ «ВНИИГМИ-МЦД». 2014. Вып. 177. С. 160–174.

9. *Виссмен У., Харбаф Т. И., Кнэпп Д. У.* Введение в гидрологию. Ленинград: Гидрометеиздат, 1979. 470 с.

10. *Клибашев К. П., Горошков И. Ф.* Гидрологические расчёты. Ленинград: Гидрометеиздат, 1970. 460 с.

11. *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. С. 76–79.

12. *Шерстюков Б. Г.* Метод прогноза климата на предстоящие два десятилетия на основе экстраполяции ритмов // Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2007. Вып. 173. С. 221–235.

13. *Шерстюков Б. Г.* Региональные и сезонные закономерности изменений современного климата. Обнинск: ГУ «ВНИИГМИ-МЦД», 2008. 247 с.

УДК 551.501 : 551.515

## ТЕХНОЛОГИЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ ДАННЫМИ ОБ ОПАСНЫХ И НЕБЛАГОПРИЯТНЫХ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЯХ

**А. А. Коршунов<sup>1</sup>, В. М. Шаймарданов<sup>2\*</sup>,  
М. З. Шаймарданов<sup>2\*\*</sup>**

<sup>1</sup> г. Обнинск;

<sup>2</sup> ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский институт  
гидрометеорологической информации – Мировой центр данных»,  
\* vlad@meteo.ru, \*\* marsel@meteo.ru

### Введение

Нарастающая гидрометеорологическая опасность многократно рассматривалась и выделялась во многих исследованиях российских и зарубежных исследователей, а также в работах, публикуемых ВМО, неоднократно акцентировалась на известных международных и региональных конференциях [2–7, 11, 15, 16]. По данным Мюнхенской перестраховочной компании *Munich RE*, за период с 1980 по 2016 год на земном шаре имели место 16 584 опасных явлений природного характера, причём 80 % из них относились к числу гидрометеорологических явлений. Этот же источник утверждает, что совокупный ущерб от указанных явлений за рассматриваемый период составил около 4,3 триллионов долларов США.

Во многих исследованиях отмечалось, что национальные метеорологические службы могли бы принести большую пользу сообществу, если бы в своей деятельности они проводили также сравнительный анализ сведений о негативных последствиях от воздействия экстремальных, опасных и неблагоприятных гидрометеорологических явлений (ОЯ и НГЯ), с целью создания методов защиты по предотвращению ущерба от них.

Гидрометеорологическая служба России обеспечивает регулярные наблюдения за ОЯ и НГЯ с целью их обнаружения

и прогнозирования. Эти данные и сведения поступают в базу данных об ОЯ, которая была создана во ВНИИГМИ-МЦД и в настоящее время ведётся в соответствии с руководящими документами РД 52.88.699–2008, РД 52.04.563–2013 и Рекомендациями по сбору, ведению и хранению сведений об опасных природных явлениях [12–14].

Для Российской Федерации исследования воздействия ОЯ и НГЯ на производственную и хозяйственную деятельность отраслей экономики и социальную сферу, анализ эффективности (экономической полезности) использования гидрометеорологической информации (ГМИ) являются актуальными в связи с реализацией «Стратегии деятельности в области гидрометеорологии и смежных с ней областях на период до 2030 года (с учётом аспектов изменения климата)», утверждённой распоряжением Правительства Российской Федерации от 03.09.2010 № 1458-р. Для решения этих задач необходима статистика воздействия ОЯ и НГЯ на социально-экономическую деятельность.

Задача по созданию базы данных об ОЯ и НГЯ, как актуальная, стояла перед руководством, учёными и специалистами Росгидромета ранее. Именно поэтому по решению руководителя Росгидромета А. И. Бедрицкого и инициативе специалистов ВНИИГМИ-МЦД (А. А. Коршунова и М. З. Шаймарданова) в институте в 1997 году были начаты работы по созданию автоматизированной базы данных, которая велась в Росгидромете с 1991 года на рукописной основе. В соответствии с РД 1998 года в базу включены метеорологические, гидрологические, агрометеорологические и океанографические сведения, включая сведения об экономических ущербах и потерях и другую социальную информацию, например стоимость защитных мероприятий или меры по их ликвидации. Там же перечислены типовые перечни опасных явлений и их критерии [12] (в этом РД впервые по ряду явлений критерии опасности устанавливают УГМС в зависимости от производственной деятельности пользователя гидрометеорологической информационной продукцией). В основу формирования и ведения базы положен следующий принцип: она включает в себя не только те явления, которые по определению попадают

под понятие опасных гидрометеорологических явлений, но также и те условия погоды, которые по определению попадают под понятие неблагоприятных гидрометеорологических явлений. В неё включаются явления, которые достигли критических значений или характеристик гидрометеорологических величин, а также те, которые не достигли критериев, но нанесли ущерб.

Разработанная и сформированная специалистами гидрометеорологической службы информационная продукция должна долговременно и надёжно храниться в Фонде данных Росгидромета о состоянии окружающей среды, её загрязнении (ЕГФД, коротко – Госфонде) [8–10]. При этом хранение должно вестись в удобных для доступа, обработки и отображения структурах и форматах, иметь средства их описания. Эта информационная продукция должна быть поддержана справочными сведениями, программными средствами и автоматизированными технологиями сбора, надёжного хранения, пополнения и обеспечения их доступности. К настоящему времени во ВНИИГМИ-МЦД накоплен определённый объём данных об ОЯ и НГЯ, который включает сведения за 1991–2021 гг., и ведутся работы по организации обеспечения ими пользователей на основе информационных массивов долговременного хранения Единого государственного фонда данных. База данных прошла этап своего создания с применением автоматизированной информационно-справочной системы (АИСС) STIX и в настоящее время на протяжении многих лет проходит этап ведения, т.е. ежегодного пополнения (в том числе периодического уточнения и совершенствования с помощью модифицированной системы STIX).

Для обеспечения надёжной и долговременной сохранности база данных об опасных и неблагоприятных гидрометеорологических явлениях размещена в Архивной системе Росгидромета (ЕГФД) [10].

С целью обеспечения доступа к ним широкого круга потенциальных пользователей, выборки из базы по субъектам РФ сведений об опасных и неблагоприятных метеорологических и гидрологических явлениях, нанёсших социальные и экономические потери за 1991–2017 гг., размещены на сайте ВНИИГМИ-МЦД

(<http://meteo.ru/data/310-neblagopriyatnye-usloviya-pogody-naniosshie-ekonomicheskie-poteri>, к нему обеспечен свободный доступ для всех заинтересованных специалистов.

На рис. 1 представлено распределение суммарного числа случаев опасных и неблагоприятных гидрометеорологических явлений за разные годы по накопленным на текущий момент данным.

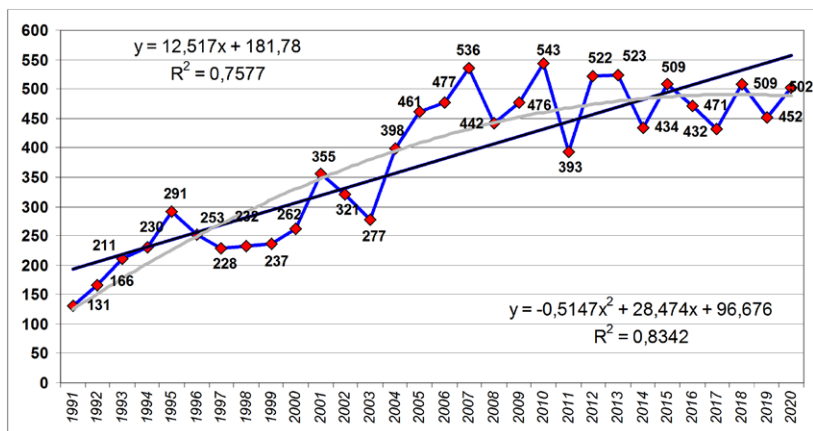


Рис. 1. Распределение общего числа случаев опасных и неблагоприятных гидрометеорологических явлений по годам

Цель настоящей статьи заключается в рассмотрении и развитии системы обеспечения пользователей данными об ОЯ и НГЯ и конкретных предложений по их доступности с учётом появления запросов.

## 1. Технология доведения данных и результатов анализа до пользователей

Развитие систем обеспечения пользователей статистическими данными рациональнее всего строить на основе специализированных информационных массивов или баз данных, которые создаются с использованием информации ЕГФД. Эти базы данных создаются специально для научных исследований и различных

расчётов с целью обеспечения пользователей, так как для их использования не нужно осуществлять поиск и выборку данных из большого архива информации долговременного хранения. Это относится и к специализированным массивам данных об ОЯ и НГЯ (как к одной из важных баз данных).

Пользователю в критических ситуациях при наступлении неблагоприятных гидрометеорологических явлений (тем более опасных гидрометеорологических явлений) необходимо иметь инструмент, который позволит выполнить предусмотренные регламентом меры защиты. В дальнейшем он проводит мероприятия по адаптации конкретной отрасли экономики (или его конкретного производства) с целью снижения (в ряде случаев – полной ликвидации) экономического ущерба от тех или иных воздействий [1].

Адаптация, как правило, характеризует метеоролого-экономическую способность пользователя гидрометеорологическими данными и информационной продукцией Росгидромета противостоять воздействию условий погоды. Это означает, что адаптация – это способность пользователя приспосабливать (подстраиваться) свою организационно-производственную деятельность (информационно-производственную структуру) к условиям погоды, используя гидрометеорологическую информацию, данные и прогнозы погоды с целью максимального снижения экономического ущерба и потерь.

Именно поэтому, как правило, в научных исследованиях и практической деятельности пользователей рассматривается проблема использования механизма экономически оптимальной погодно-хозяйственной адаптации к неблагоприятным условиям и опасным проявлениям погоды.

С целью проведения различных исследований была разработана специализированная система статистических оценок по опасным гидрометеорологическим явлениям и неблагоприятным условиям погоды, которые в том числе позволяют учёным и специалистам разрабатывать и совершенствовать методы адаптации, а пользователям – организаторам производства – проводить адаптационные мероприятия.

Система «Расчёт статистики», состоит их трёх подразделов: «Статистика по УГМС», «Статистика по явлениям», «Статистика по опасным явлениям». Каждый подраздел располагается на отдельной вкладке (заголовки подразделов вверху формы).

На рис. 2 приведена форма первого подраздела – «Статистика по УГМС».

Рис. 2. Форма расчёта статистики подраздела – «Статистика по УГМС»

В форме рис. 2 предоставлена возможность выбора параметров явлений (под цифрами 1–5), необходимых для расчёта статистических данных. При проведении статистических расчётов можно обрабатывать все явления или отвечающие определённым условиям (предусмотренность, нанесение ущерба...).

Аналогичные формы разработаны и для двух других подразделов с учётом их специфики. Для этого необходимо с подраздела «Статистика по УГМС» перейти на подраздел «Статистика по явлениям» или «Статистика по опасным явлениям».

На рис. 3 приведена, например, форма расчёта статистики подраздела «Статистика по опасным явлениям».



Рис. 3. Форма расчёта статистики подраздела – «Статистика по опасным явлениям»

При проведении расчётов по опасным явлениям параметры задаются пользователем, а представление результатов статистических расчётов аналогична обработке по подразделу «Статистика по явлениям», но при проведении расчётов учитываются только те явления, которые соответствуют критериям опасности. Результаты расчётов предоставляются в виде таблиц, в этом же виде таблицы передаются в приложения (Excel, Word).

Целесообразно отметить, что желательно периодически проводить как для основных отраслей экономики, так и в целом для экономики расчёты климатических оценок, которые сопутствуют опасным и неблагоприятным гидрометеорологическим явлениям, по современным данным наблюдений обновлять (уточнять) критерии климатической экстремальности в режиме условий погоды (например скорости ветра, высоты снежного покрова и других), наиболее часто воздействующих на социально-экономическую систему на территории России. Для этого необходимо использовать усовершенствованные формы расчёта статистики.

Для анализа наиболее опасных зон проявления ОЯ и НГЯ, их тенденций изменения за определённый период необходимы статистические данные:

- общего числа случаев воздействия;
- повторяемости (общее число случаев за рассматриваемый период, делённое на продолжительность периода);
- плотности проявления по территориям субъектов Российской Федерации, УГМС, экономическим районам или федеральным округам (повторяемость, делённая на площадь исследуемой территории);
- суммарного числа случаев воздействия ОЯ и НГЯ на отрасли экономики и на основные наиболее подверженные воздействию виды экономической деятельности в соответствии с действующим ОКВЭД;
- числа случаев воздействия ОЯ и НГЯ на социально-экономическую систему (распределение явлений) по годам, месяцам, группам, периодам, сезонам или видам гидрометеорологических явлений, за которыми Росгидромет ведёт официальные наблюдения.

Число случаев воздействия ОЯ и НГЯ на социально-экономическую систему по видам явлений очень важно при исследованиях, которые затрагивают проблемы влияния изменения климата на воздействие ОЯ и НГЯ на постоянно развивающуюся социально-экономическую систему. Для этого, помимо статистических данных об ОЯ и НГЯ, необходимы в зависимости от решаемых задач также различные гидрометеорологические данные со станций наблюдений.

Статистика по числу случаев воздействия, других показателей, указанных выше, рассчитывается по данным базы данных об ОЯ и НГЯ. Статистика по площади территории и численности населения субъектов РФ определяется по данным Росстата.

Таким образом, основным массивом для системы обеспечения социально-экономических пользователей и научных исследователей информационной продукции об ОЯ и НГЯ организаций Росгидромета является база данных об ОЯ и НГЯ. Поэтому на основе этого массива необходимо формировать в настоящее время остальные, конкретные специализированные массивы, ориентированные на конкретные отрасли экономики, в том числе разнообразные специфические задачи и исследования.

Этот основной массив ежегодно на постоянной основе пополняется с помощью автоматизированной информационно-справочной системы STIX и должен размещаться в Архивной системе для надёжного и долговременного хранения [10].

Статистический анализ базы данных воздействия ОЯ и НГЯ на экономическую систему России во многих публикациях показывает, что по числу случаев воздействия на конкретные отрасли экономики наиболее подверженными являются электроэнергетика, сельское хозяйство и автотранспорт. Так, в 2001–2020 гг. было зафиксировано 2 717 случаев воздействия ОЯ и НУП на электроэнергетику. За этот же период на сельское хозяйство, включая охоту, зафиксировано 2388, а на автотранспорт – 2455 случаев воздействия; на четвёртом месте находится лесное хозяйство – 446 и на пятом месте – связь и теплоэнергетика – 268 и 266 случаев соответственно.

## **2. Программные средства создания и ведения базы данных об опасных и неблагоприятных гидрометеорологических явлениях**

Для обеспечения данными об опасных гидрометеорологических явлениях пользователей в практических целях в 1999–2000 гг. во ВНИИГМИ-МЦД была разработана автоматизированная информационно-справочная система учёта сведений об ОЯ, которая получила название АИСС STIX. Автоматизированная система учёта сведений об ОЯ STIX – среда эксплуатации системы ОС Windows (9x, NT, 2000), СУБД ACCESS-97. Система может быть установлена как на локальной ЭВМ, так и в сети.

На рис. 4 представлен вариант формы АИСС STIX.

Система АИСС STIX предназначена для формирования, ежегодного пополнения базы данных (или другими словами – ведения базы данных – основная задача системы) и позволяет с помощью трёх подразделов системы «Расчёта статистики» автоматизировать расчёты общих статистических характеристик, приведённых в разделе 1, с целью их использования для выработки научных рекомендаций и исследований по уменьшению последствий (в результате адаптации организационно-производственной деятельности

**Сведения о СГЯ**

Номер СГЯ: 6 Краткая характеристика СГЯ: Засуха. С 20 июня по 5 августа температура превышала 35 град.С. 11 дней - свыше 38град.С. превышает критерий - сильная жара. 21 день отличались сильные суховей. Макс.температура почвы повышалась до 50град.С.

Дата1: 20.06.98  
Дата2: 05.08.98

Территория: Краснодарский край

Место:

Полученный ущерб: 681 332,8  
Расчитанный ущерб: 531 561,8  
Объемы помощи: 17 570,0  
Погибло: 0  
Ранено: 0  
Выдано ПРФ от 12/1

Погибло: баклажаны - 18га, бакча на семена - 86га, бакча плодов - 2387га, горох - 17248га, горох-овес - 19га, горох-овес - смесь - 2916га, горох-ячмень - 50га, гречиха - 9730га, зеленый горошек - 1506га, земляника - 3га, зерносмесь - 53га, ячмень - 247га, овес - 270га.

Справка: Письмо от 18.08.98 №1334 Краснодар. КЦГМЦ

Статистика по СГЯ

| номер | вид СГЯ          | Хар-ка 1 | Хар-ка 2 |
|-------|------------------|----------|----------|
| 6     | Засуха сильная   | 38       | 0        |
| 6     | Засуха почвенная | 69       | 0        |
| 6     | Суховей          | 38       | 0        |
| 6     |                  | 0        | 0        |

Записи: 14 3 из 3

Статистика по территории

| Номер | Субъект РФ         |
|-------|--------------------|
| 6     | Краснодарский край |

Записи: 1 1 из 1

Статистика по отраслям

| номер СГЯ | отрасль | ущерб                                                                                                                                                                                                                                                      |
|-----------|---------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 6         | ОХ      | Погибло: баклажаны - 18га; бакча на семена - 86га; бакча плодов - 2387га; горох - 17248га; горох-овес - смесь - 2916га; горох-ячмень - 50га; гречиха - 9730га; зеленый горошек - 1506га; земляника - 3га; зерносмесь - 53га; ячмень - 247га; овес - 270га. |

Записи: 1 1 из 1

Рис. 4. Пример формы АИСС STIX

*Примечание.* В приведённом примере используется сокращение СГЯ (стихийное гидрометеорологическое явление), которое использовалось до ввода термина «опасное гидрометеорологическое явление» и, соответственно, сокращения ОЯ.

пользователей информационной продукцией Росгидромета) воздействия опасных гидрометеорологических явлений и неблагоприятных условий погоды, расширить возможности анализа их влияния на разные отрасли экономики (в том числе на конкретные производственные процессы) и сравнительного анализа ущерба, а также формулировать рекомендации для принятия решений. Для этого необходимо развитие программных средств или создание специализированной системы расчётов статистики на основе ЕГФД, с помощью которой на основе специализированных массивов можно будет перейти к быстрым расчётам статистических характеристик, необходимых для конкретных исследований.

Наличие программных средств и сформированная база сведений об опасных и неблагоприятных гидрометеорологических явлениях позволяет получить выборку за определённый период, рассчитать общую многолетнюю статистику и создать специализированные массивы по определённым видам опасных явлений (группам явлений) или для конкретной территории (в зависимости от решаемых задач). Архивные данные позволяют:

- обеспечивать пользователей данными об ОЯ и НГЯ;

- создавать специализированные информационные массивы данных для быстрого расчёта на их основе не только общепринятой статистики, но и специализированной, необходимой для конкретного исследователя;
- проводить анализ их воздействия на разные отрасли экономики за продолжительные периоды времени;
- разрабатывать и внедрять разные системы и технологии обеспечения исследователей и пользователей по различным запросам и показателям.

В настоящее время база данных включает сведения за 1991–2021 гг. и содержит более десяти тысяч учётных записей. Это свидетельствует о том, что в результате разработанной автоматизированной информационно-справочной системы учёта сведений об опасных и неблагоприятных гидрометеорологических явлениях STIX база данных прошла этап своего создания и на протяжении многих лет проходит этап ведения, т.е. ежегодного пополнения, в том числе периодического уточнения и совершенствования структуры базы и программных средств её ведения.

### **Заключение**

Изучение вопросов влияния гидрометеорологических факторов на устойчивое развитие экономики, таких как проблемы оценки уязвимости, риска и управления при наступлении бедствий, включая предотвращение опасности, смягчение последствий, связанных с изменением климата, не вызывает сомнений, но требует специального научного исследования.

В зависимости от решаемых задач, данные и сведения об ОЯ и НГЯ, независимо от того, где они расположены на технических носителях – в автоматизированной базе на компьютере или в Архивной системе, уже в настоящее время позволяют на основе выборки формировать специализированные массивы по определённым заданным группам явлений, в том числе по конкретному явлению и для конкретной территории. Также данные позволяют провести анализ повторяемости ОЯ и НГЯ и их воздействия на разные отрасли экономики за продолжительный период и научный анализ влияния этих явлений на социально-экономическую

систему как в целом, так и по отдельным видам экономической деятельности в соответствии с ОКВЭД. На их основе можно также совершенствовать и разрабатывать различные автоматизированные системы быстрого обеспечения пользователей показателями по их запросам.

Наличие базы данных, программных средств её ведения позволили ранее в случае наличия системы расчёта статистических данных автоматизировать расчёты различных характеристик с целью их использования для выработки рекомендаций по возможному уменьшению последствий воздействия ОЯ и НГЯ, расширить возможности для проведения сравнительного анализа нанесённых ими потерь и ущерба, формулировать рекомендации для принятия решений.

Таким образом, учёт влияния гидрометеорологического фактора на социальную и экономическую системы всё более приобретает особое значение в связи с необходимостью решения задач по минимизации экономического ущерба и потерь в результате воздействия гидрометеорологических явлений на экономику России. Причём эффективность стратегии минимизации экономического ущерба от воздействия опасных и неблагоприятных гидрометеорологических явлений в первую очередь связана с совершенствованием деятельности по обеспечению развития регионов на основе гидрометеорологической безопасности.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бедрицкий А. И., Коршунов А. А., Хандожко Л. А., Шаймарданов М. З. Показатели влияния погодных условий на экономику: адаптивность потребителей // Метеорология и гидрология. 1999. № 9. С. 17–25.
2. Бедрицкий А. И., Коршунов А. А., Хандожко Л. А., Шаймарданов М. З. Показатели влияния погодных условий на экономику: региональное распределение экономических потерь и экономической выгоды при использовании гидрометеорологической информации и продукции // Метеорология и гидрология. 1999. № 3. С. 5–17.
3. Бедрицкий А. И., Коршунов А. А., Шаймарданов М. З. Влияние опасных гидрометеорологических явлений на устойчивое развитие экономики России // Метеорология и гидрология. 2017. № 7. С. 59–67.

4. Бугаев В. А. Всемирная служба погоды: её влияние на экономическое и социальное развитие // Метеорология и гидрология. 1974. № 1. С. 3–13.
5. Жуковский Е. Е. Метеорологическая информация и экономические решения. Л.: Гидрометеиздат, 1981. 303 с.
6. Кобышева Н. В., Васильев М. П. Уязвимость социальной сферы регионов России к опасным гидрометеорологическим явлениям // Труды ГГО им. А. И. Воейкова. 2015. Вып. 578. С. 59–74.
7. Корнфорд С. Г. Социально-экономические последствия явлений погоды в 1996 году // Бюллетень ВМО. 1997. Т. 46, № 4. С. 351–369.
8. Коршунов А. А., Шаймарданов В. М., Шаймарданов М. З. Создание базы данных об опасных явлениях для климатических исследований и обслуживания // Учёные записки РГГМУ. 2012. № 25. С. 79–85.
9. Коршунов А. А., Шаймарданов В. М., Шаймарданов М. З. Об организации обслуживания потребителей данными об опасных гидрометеорологических явлениях и неблагоприятных условиях погоды // Учёные записки РГГМУ. 2017. № 46. С. 100–110.
10. Коршунов А. А., Шаймарданов В. М., Шаймарданов М. З. Система обеспечения пользователей данными об опасных явлениях на основе информационных массивов долговременного хранения Единого государственного фонда данных // Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2021. Вып. 188. С. 126–143.
11. 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.
12. 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. 40 с.
13. Рекомендации по сбору, ведению и хранению сведений об опасных природных явлениях. Министерство природных ресурсов и экологии Российской Федерации. Росгидромет. 04 мая 2009 г.
14. Руководящий документ. РД 52.04.563–2013. «Инструкция по подготовке и передаче штормовых сообщений наблюдательными подразделениями». М.: Росгидромет, 2013. 54 с.
15. Natural disasters in the world. Statistical trend on natural disasters // National Land Agency. Japan. 1994.
16. Shaimardanov M. Z., Korshunov A. A. The use of hydrometeorological information in the various economic sectors // Conference on the economic benefits of meteorological and hydrological services. Geneva, 1994. WMO/TD N 630. P. 28–36.

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

## **ОЦЕНКИ ТЕНДЕНЦИЙ СТОКА ВОДЫ В ПОЛОВОДЬЕ И ПАВОДОЧНЫЙ ПЕРИОД НА РЕКАХ КАМЧАТКИ, ЗАБАЙКАЛЬЯ И БАСЕЙНА АМУРА**

***Е. В. Гниломедов***

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

Предупредить последствия опасных наводнений в будущем возможно при заблаговременной подготовке к изменениям гидрологического режима рек. Используемые в данной работе результаты расчёта прогностических оценок количества осадков на ближайшие десятилетия дают возможность определить направленность и интенсивность изменений водности рек во время половодий и паводков, что в свою очередь позволяет предотвратить надвигающиеся риски.

Данная статья является второй в серии статей о современных и прогнозируемых на ближайшие десятилетия тенденциях изменения стока воды в половодье на реках России с незарегулированным стоком в местах расположения промышленно и социально значимых объектов. В настоящей работе представлен результат исследования по вышеуказанной проблеме для рек и их водосборов, расположенных на Камчатке и восточнее озера Байкал. В целом основной объём работы был проведён по рекам бассейна Амура по причине его большей хозяйственной освоенности и гидрологической изученности.

Рассматриваемые в данной работе реки были объединены в один этап исследований из-за принадлежности их к дальневосточному типу водного режима с продолжительными летне-осенними дождевыми паводками и невысоким весенним половодьем, в котором основным источником питания являются дождевые осадки [1]. В связи с этим была изменена методика расчёта тенденций

стока воды в половодье по данным осадков, применяемая на остальных территориях Российской Федерации [2].

Задача исследований состоит из нескольких этапов: подготовка рядов многолетних данных стока воды в половодье на незарегулированных участках рек в местах расположения промышленно и социально значимых объектов и количества осадков в их водосборах; сравнительный анализ изменения стока в половодье и количества осадков и получение регрессионных зависимостей; вычисление на ближайшие десятилетия ожидаемых изменений половодного стока указанных рек на основе регрессионных соотношений с прогностическими оценками количества осадков в их водосборах.

### **1. Подготовка рядов многолетних данных стока рек в половодье в местах расположения промышленно и социально значимых объектов Камчатки, Забайкалья и бассейна Амура**

Как уже говорилось, для рек, рассматриваемых в данной работе, характерен дальневосточный тип водного режима с продолжительными летне-осенними дождевыми паводками и невысоким весенним половодьем, в котором основным источником питания являются дождевые осадки. До 70–80 % годового стока приходится на паводочный период [1], поэтому на данной территории наибольшую опасность для промышленно и социально значимых объектов представляет не столько половодье, сколько следующие за ним паводки. В этой связи в качестве фактора гидрологической опасности здесь следует рассматривать не пиковый период половодья, как в предыдущей работе по рекам бассейнов Енисея и Лены, а период, начинающийся с половодья в апреле-мае, включая серию следующих за ним паводков, вызванных интенсивными и продолжительными дождями, и заканчивающийся в сентябре-октябре. В частности на реке Селенга в отдельные годы дождевые паводки проходят и в более ранние сроки (апрель-май), накладываясь на волну половодья [3].

Выбор гидрологических постов для дальнейшего исследования основывался на следующих требованиях:

1) данные, получаемые на гидрологическом посту, должны характеризовать ситуацию с водным режимом в окрестностях расположения промышленно и социально значимых объектов;

2) в полученных данных должны присутствовать сведения о суточных, среднедекадных или хотя бы среднемесечных расходах воды за срок, достаточный для построения корреляционных зависимостей и уравнений регрессии;

3) сток в реке в месте расположения гидрологического поста не должен быть зарегулирован.

Среди рек Камчатки данным требованиям удовлетворяет только гидрологический пост р. Авача – г. Елизово. В бассейнах рек, впадающих в озеро Байкал – гидрологический пост р. Селенга – рзд. Мостовой. Остальные отобранные гидрологические посты принадлежат бассейну Амура (табл. 1).

Основная часть бассейна реки Амур находится в зоне достаточного увлажнения и располагает большими запасами пресных вод. Питание реки происходит преимущественно за счёт летне-осенних муссонных дождей. Диапазон изменения годовых сумм осадков по территории значителен, количество осадков увеличивается с запада на восток и юго-восток. Наиболее засушливым районом является сухостепной район Забайкалья, расположенный к югу от рек Борзя и Онон (250–300 мм/год). На остальной части бассейна количество осадков составляет от 500 мм/год и выше, в высокогорных зонах — до 900–1000 мм/год [4].

Таблица 1

**Список гидрологических постов, выбранных для дальнейших расчётов**

| Название водного объекта и пункта наблюдений | Код пункта наблюдений | Расстояние (км) от |       | Площадь водосбора, кв.км | Период действия: число, месяц, год |         |
|----------------------------------------------|-----------------------|--------------------|-------|--------------------------|------------------------------------|---------|
|                                              |                       | истока             | устья |                          | открыт                             | закрыт  |
| р. Авача – г. Елизово                        | 02090                 | 91,0               | 31,0  | 4 750                    | 01.08.1930                         | Действ. |
| р. Амур – г. Хабаровск (г.ст.)               | 05013                 | 1862               | 962   | 1 630 000                | 13.05.1938                         | То же   |
| р. Амур – г. Комсомольск                     | 05024                 | 2210               | 614   | 1 730 000                | 27.04.1932                         | —"–"    |
| р. Амур – с. Богородское                     | 05033                 | 2586               | 238   | 1 790 000                | 11.07.1932                         | —"–"    |
| р. Большая Бира – г. Биробиджан              | 05063                 | 140                | 121   | 7 560                    | 23.05.1929                         | —"–"    |

Окончание табл. 1

| Название водного объекта и пункта наблюдений | Код пункта наблюдений | Расстояние (км) от |       | Площадь водосбора, кв.км | Период действия: число, месяц, год |        |
|----------------------------------------------|-----------------------|--------------------|-------|--------------------------|------------------------------------|--------|
|                                              |                       | истока             | устья |                          | открыт                             | закрыт |
| р. Шилка – г. Сретенск                       | 06067                 | 165                | 395   | 175 000                  | 14. 3.1896                         | —"–    |
| р. Ингода – с. Атамановка                    | 06139                 | 489                | 219   | 22 000                   | 27.04.1899                         | —"–    |
| р. Нерча – г. Нерчинск                       | 06187                 | 570                | 10,00 | 27 500                   | 17.04.1900                         | —"–    |
| р. Зея – с. Белогорье                        | 06295                 | 1199               | 43,0  | 229 000                  | 25.07.1909                         | —"–    |
| р. Тында – г. Тында                          | 06334                 | 98,0               | 14,0  | 4 060                    | 06.05.1933                         | —"–    |
| р. Селенга – рзд. Мостовой                   | 07051                 | 282                | 127   | 440 000                  | 06.02.1934                         | —"–    |

Следующим этапом работ было определение сроков прохождения половодья на каждом выбранном гидрологическом посту и приведение их к некому единому многолетнему значению. Поставленная задача была решена путём программной обработки и анализа гидрографов стока на изучаемых постах за последние 40 лет (с 1981 года). Полученные результаты показывают, что начало половодья на выбранных реках (табл. 1) приходится на конец апреля – начало мая, а окончание паводочного периода – на конец октября. Указанные временные рамки подтверждаются в работах других авторов [1, 3, 5, 6].

Многолетние ряды стока воды в половодье и паводочный период (рис. 1–3) были построены с учётом фактических ежегодных временных рамок, а не по осреднённым, которые предназначены для дальнейших расчётов.

Графики средних расходов воды половодья и паводочного периода рек, представленные на рис. 1, отражают гидрологическую ситуацию в окрестностях таких населённых пунктов, как Чита, Нерчинск, Тында, Биробиджан, Петропавловск-Камчатский; на рис. 2 – Улан-Удэ, часть Благовещенска, Свободный, Сретенск; на рис. 3 – Хабаровск, Комсомольск-на-Амуре, Николаевск-на-Амуре.

В табл. 2 показаны средние многолетние расходы воды в половодье и паводочный период за 1981–2018 гг. и приведённые к десятилетнему отрезку времени тренды их изменения за тот же период.

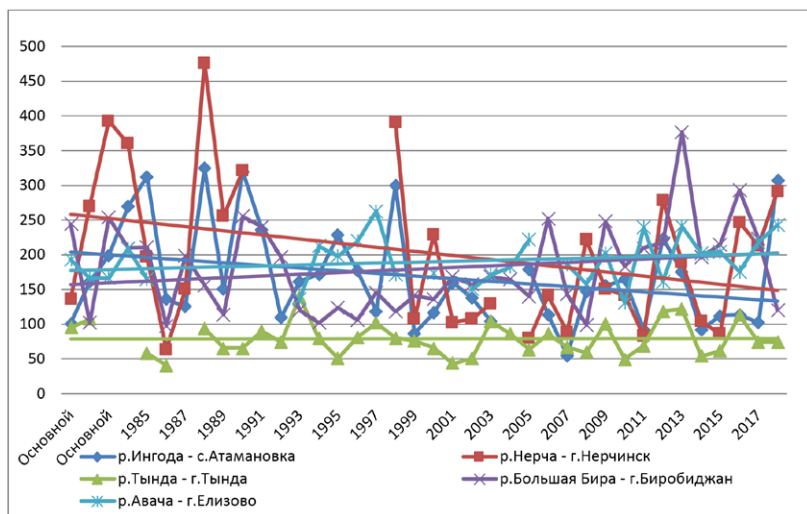


Рис. 1. Средние расходы воды половодья и паводочного периода на гидрологических постах: р. Ингода – с. Атамановка, р. Тында – г. Тында, р. Нерча – г. Нерчинск, р. Большая Бира – г. Биробиджан, р. Авача – г. Елизово

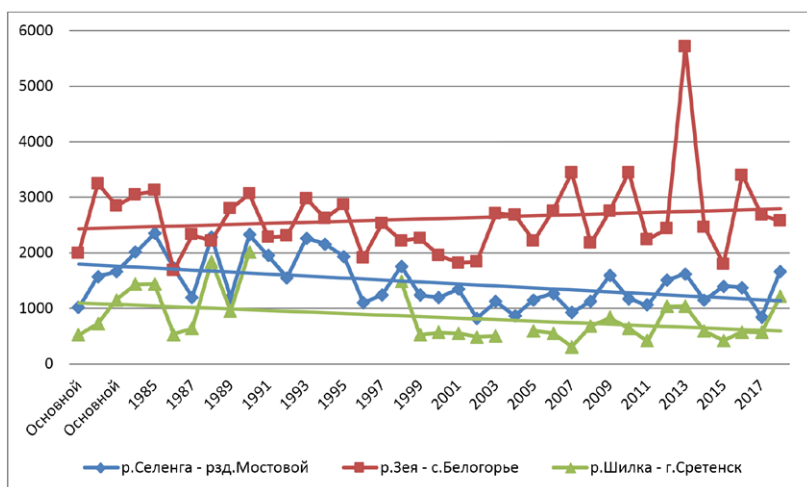


Рис. 2. Средние расходы воды половодья и паводочного периода на гидрологических постах: р. Селенга – рзд. Мостовой, р. Зeya – с. Белогорье, р. Шилка – г. Сретенск

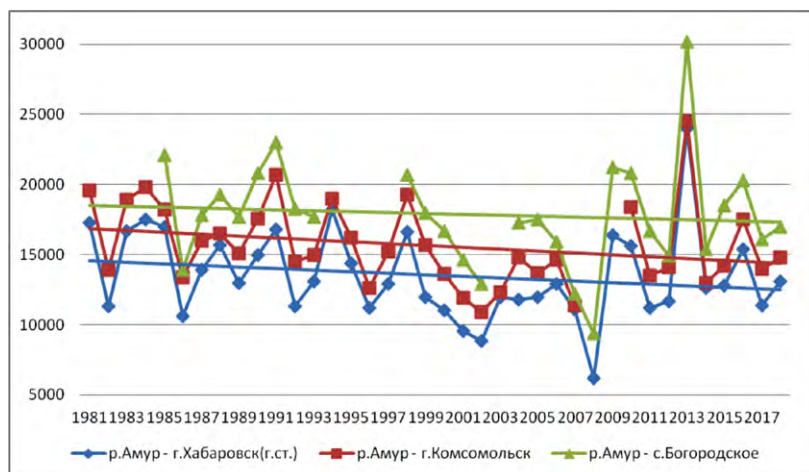


Рис. 3. Средние расходы воды половодья и паводочного периода на гидрологических постах: р. Амур – г. Хабаровск (г.ст.), р. Амур – г. Комсомольск, р. Амур – с. Богородское

Таблица 2

**Характеристики средних расходов воды половодья и паводочного периода (по данным за 1981–2018 гг.)**

| Название водного объекта и пункта наблюдений | Средний многолетний расход воды $Q_{\text{п}}$ , м³/с | Тренд изменения среднего расхода воды $Q_{\text{п}}$ , % за 10 лет |
|----------------------------------------------|-------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|
| р. Авача – г. Елизово                        | 191                                                   | +3,5                                                               |
| р. Амур – г. Хабаровск (г.ст.)               | 13500                                                 | -4,2                                                               |
| р. Амур – г. Комсомольск                     | 15700                                                 | -4,3                                                               |
| р. Амур – с. Богородское                     | 17800                                                 | -2,3                                                               |
| р. Большая Бира – г. Биробиджан              | 180                                                   | +6,8                                                               |
| р. Шилка – г. Сретенск                       | 828                                                   | -16,3                                                              |
| р. Ингода – с. Атамановка                    | 169                                                   | -12,0                                                              |
| р. Нерча – г. Нерчинск                       | 200                                                   | -14,7                                                              |
| р. Зея – с. Белогорье                        | 2610                                                  | +3,6                                                               |
| р. Тында – г. Тында                          | 79                                                    | 0,0                                                                |
| р. Селенга – рзд. Мостовой                   | 1470                                                  | -11,0                                                              |

Как видно из табл. 2, значительное снижение средних многолетних расходов воды в половодье и паводочный период  $Q_{\text{п}}$  за

указанный период происходило на реках Забайкалья вплоть до бассейна Зеи (не включая сам бассейн Зеи).

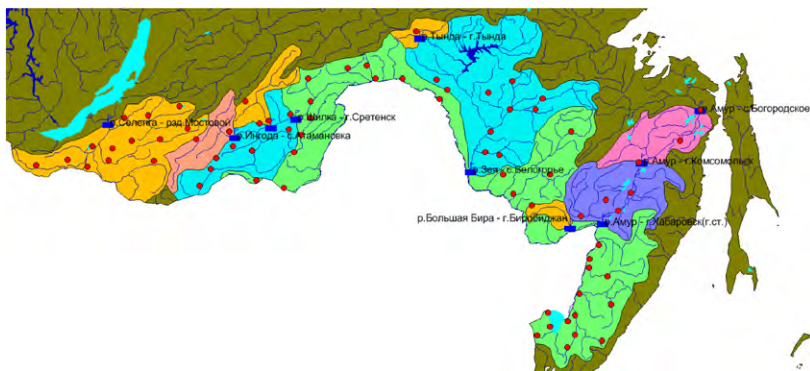
Согласно официальному пресс-релизу пресс-центра Росгидромета, в 2013 году бассейн реки Амур оказался подвержен одному из сильнейших дождевых паводков за весь период инструментальных наблюдений. Наводнение охватило весь район среднего и нижнего Амура, где практически повсеместно наблюдались рекордные отметки уровня воды, на 1,5–2 метра превосходящие исторические максимумы. Огромный удар стихии пришёлся на крупные промышленные города Дальневосточного федерального округа [7].

Вышеупомянутый выдающийся паводок 2013 года хорошо виден на рис. 1–3 на гидрологических постах бассейна реки Зеи (с. Белогорье) и реки Амур ниже впадения Зеи. Что касается нижнего течения Амура, то, несмотря на произошедшее там катастрофическое наводнение в августе-сентябре 2013 года, общий тренд  $Q_n$  за 1981–2018 гг. слабоотрицательный.

Полученные результаты были сопоставлены с результатами, полученными ранее специалистами ВНИИГМИ-МЦД и другими исследователями, и подтверждают сделанные выводы [8]. В частности по низовьям Амура также выявлена тенденция к уменьшению стока [9].

## **2. Подготовка рядов многолетних данных по осадкам в водосборах изучаемых рек**

Многолетние ежемесячные данные по осадкам были подготовлены по метеорологическим станциям всей территории России. Анализ их полноты и качества при помощи специально разработанных программ позволил отобрать 782 станции с рядами наблюдений, подходящими для дальнейшей работы. Далее при помощи ГИС метеостанции были распределены по водосборам. Из полученного списка метеостанций в дальнейшем были оставлены те, которые характеризуют поступление осадков в пределах водосборов одиннадцати отобранных на предыдущем этапе гидрологических постов (табл. 1) на реках Камчатки, Забайкалья и бассейна Амура (рис. 4).



*Рис. 4. Водосборы исследуемых рек с расположением гидрологических постов (синие прямоугольники с флажком) и метеостанций (красные кружки)*

Стоит отметить, что по некоторым гидрологическим постам часть стока формируется за пределами Российской Федерации. Отсутствие данных по осадкам на этих зарубежных территориях может отрицательно сказаться на точности дальнейших расчётов. Это касается постов р. Амур – г. Хабаровск (г.ст.), р. Амур – г. Комсомольск, р. Амур – с. Богородское и р. Селенга – рзд. Мостовой.

При дальнейшей обработке рядов ежемесячных данных по осадкам были забракованы явно ошибочные данные. В конечном итоге многолетние ряды ежемесячных данных по осадкам по каждой отобранной станции были просуммированы за периоды с начала ледостава и до окончания паводочного периода. Суммирование проводилось по осреднённым за многолетний период датам (за 1981–2018 гг.). Такой расчёт суммы осадков в наибольшей степени соответствует условиям формирования стока воды в половодье и паводочный период на реках с дальневосточным типом водного режима.

В случае редкой сети метеостанций (как, например, на Камчатке) для расчёта суммы осадков на некоторых участках использовались данные с метеостанций, расположенных за пределами изучаемых водосборов, как наиболее точно отражающие ситуацию.

### 3. Сравнительный анализ изменения стока воды в половодье на исследуемых гидрологических постах 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 [10].

В процессе работ водосборы этих рек были разделены на участки. Для водосборов гидрологических постов р. Амур – г. Хабаровск, р. Амур – г. Комсомольск и р. Амур – с. Богородское из-за больших площадей водосбора и значительного количества метеостанций на них был применён метод квадратов [11]. 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. 5).

Как видно из рис. 5, некоторые квадраты в пределах водосбора Амура вовсе не имеют метеостанций. В этом случае использовались данные по осадкам с ближайших к квадрату метеостанций, в том числе и с расположенных за пределами водосбора.

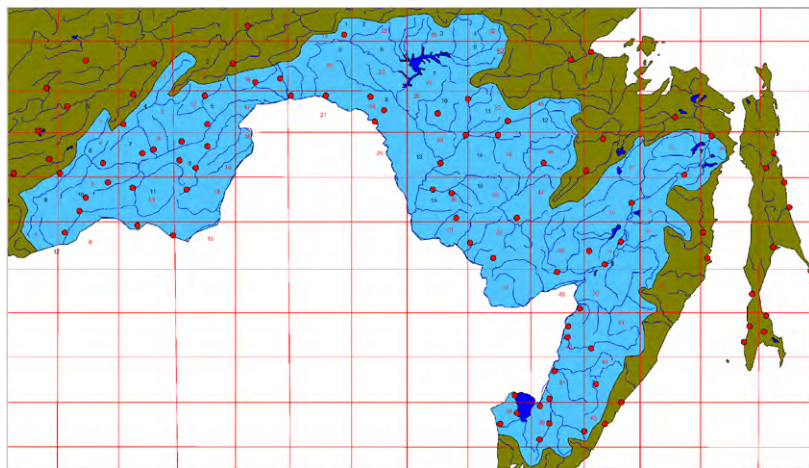


Рис. 5. Разделение водосбора р. Амур – с. Богородское на участки методом квадратов (красными кружками показано расположение метеостанций)

Для остальных гидрологических постов был выбран метод взвешивания [11], который более подходит для небольших водосборов или водосборов с ограниченным числом 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. При использовании этого метода для некоторых участков также использовались данные с метеостанций, расположенных за пределами изучаемого водосбора.

После того, как водосборы были разбиты на участки тем или иным способом, были рассчитаны средние слои осадков за периоды с начала ледостава и до окончания паводочного периода в каждом из участков по данным метеостанций, находящихся в пределах участка как среднее арифметическое. Расчёт проводился отдельно для каждого года за весь многолетний период (с 1981 по 2018 год включительно). 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 слой осадков за период с начала ледостава и до окончания паводочного периода (в миллиметрах), выпавших в пределах водосбора.

Таким образом стало возможным сопоставить характеристику  $R$  со средним расходом воды половодья и паводочного периода  $Q_n$  в замыкающем водосбор створе. Однако не весь объём воды, поступивший в пределы водосбора в виде осадков, участвует в формировании стока воды в половодье. Значительная часть испаряется или аккумулируется в естественных и искусственных водоёмах, подземных водах, ледниках и поступает в речное русло в периоды, следующие за расчётным. Тем самым влияние количества осадков на сток воды усложняется, что снижает корреляцию рядов многолетних значений  $R$  и  $Q_n$ . 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, поступившем в речную сеть в текущем расчётном периоде, искусственно нарушена вследствие сооружения водохранилищ и водозаборных сооружений либо является сложной по естественным причинам [2].

Для выявления таких участков были проведены соответствующие расчёты. Их суть 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 количества осадков, образуя значение  $R$ . Далее находится коэффициент корреляции между рядами величины  $R$ , полученной по участкам водосбора в данной комбинации, и стоком воды  $Q_n$ . В итоге максимальный коэффициент корреляции определяет тот состав участков водосбора, который характеризует наиболее тесную зависимость  $Q_n$  от  $R$ . Кроме того, заданный алгоритм автоматически исключает участки водосбора с недостоверными данными по осадкам, которые могут возникнуть по причине редкой сети метеостанций или в результате ошибок в данных по осадкам.

Таким образом из расчётов были исключены участки водосборов с нарушенной связью между количеством осадков за период с начала ледостава и до окончания паводков  $R$  и естественным речным стоком в период половодья и паводков  $Q_n$ . По оставшимся участкам были посчитаны коэффициенты корреляции между  $Q_n$  и  $R$ . Как видно из табл. 3, полученные коэффициенты корреляции между  $Q_n$  и  $R$  колеблются в диапазоне от 0,68 до 0,91, что говорит о достижении устойчивой связи между значениями. Добиться высокой корреляционной связи стало возможным, во-первых, благодаря применению в расчётах не среднегодовых значений осадков, как это делается другими авторами [12], а за период с начала ледостава и до окончания паводочного периода, что в большей степени соответствует условиям формирования стока воды в половодье в текущем году на исследуемых реках; во-вторых, за счёт исключения участков водосбора, с нарушенной связью между количеством осадков и количеством воды, поступившем в речную сеть. Выше этот процесс описан подробнее.

Таблица 3

**Характеристики сравнительного анализа стока воды в период половодья и паводков  $Q_n$  и количества осадков за период с начала ледостава и до окончания паводочного периода  $R$  в их водосборах**

| Река – пост                     | Количество метеостанций в расчётах | Количество участков в расчётах из общего количества | Длина рядов $Q_n$ и $R$ | Коэффициент корреляции между $R$ и $Q_n$ |
|---------------------------------|------------------------------------|-----------------------------------------------------|-------------------------|------------------------------------------|
| р. Авача – г. Елизово           | 2                                  | 2 из 2                                              | 1981–2018               | 0,86                                     |
| р. Амур – г. Хабаровск (г.ст.)  | 54                                 | 46 из 52                                            | 1981–2018               | 0,74                                     |
| р. Амур – г. Комсомольск        | 59                                 | 50 из 56                                            | 1981–2018               | 0,78                                     |
| р. Амур – с. Богородское        | 61                                 | 53 из 59                                            | 1981–2018               | 0,68                                     |
| р. Большая Бира – г. Биробиджан | 2                                  | 2 из 2                                              | 1981–2018               | 0,80                                     |
| р. Шилка – г. Сретенск          | 18                                 | 15 из 18                                            | 1981–2018               | 0,91                                     |
| р. Ингода – с. Атамановка       | 7                                  | 6 из 7                                              | 1981–2018               | 0,88                                     |
| р. Нерча – г. Нерчинск          | 6                                  | 5 из 6                                              | 1981–2018               | 0,91                                     |
| р. Зея – с. Белогорье           | 16                                 | 10 из 16                                            | 1981–2018               | 0,88                                     |
| р. Тында – г. Тында             | 1                                  | 1 из 1                                              | 1981–2018               | 0,83                                     |
| р. Селенга – рзд. Мостовой      | 10                                 | 13 из 13                                            | 1981–2018               | 0,79                                     |

Как и следовало ожидать, коэффициенты корреляции (столбец 5 табл. 3) по гидропостам на Амуре и Селенге оказались ниже, чем по остальным рекам, и не превышают 0,79. Это связано с тем, что часть их водосборов лежит за пределами Российской Федерации, и по этой причине они не обеспечены данными по осадкам.

В третьем столбце табл. 3 указано количество участков, оставленных в расчётах из общего количества участков в водосборе. В четвертом столбце указаны длины рядов  $Q_n$  и  $R$ , по которым проводились расчёты коэффициентов корреляции между этими величинами и в дальнейшем – уравнений регрессии  $Q_n = f(R)$ .

#### 4. Вычисление на ближайшие годы тенденций изменений стока воды в половодье и паводочный период рек 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  $Q_n$  и  $R$ , стало возможным получить уравнения регрессии  $Q_n = f(R)$ , где  $Q_n$  – средний расход воды половодья и паводочного периода в м<sup>3</sup>/с,  $R$  – слой осадков в миллиметрах с начала ледостава и до окончания паводочного периода, выпавших на расчётных участках водосбора (табл. 4). Также приведены коэффициенты детерминации, показывающие долю тех изменений величины расхода  $Q_n$ , которая в данной зависимости определяется колебанием значений слоя осадков  $R$ . Данные коэффициенты, так же как и коэффициенты корреляции в табл. 3, меньше для рек с водосборами, частично расположенными за пределами РФ, по той же причине.

Таблица 4

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

| Река – пост                     | Уравнение регрессии   | Коэффициент детерминации |
|---------------------------------|-----------------------|--------------------------|
| р. Авача – г. Елизово           | $Q_n = 0,18R + 32$    | 0,72                     |
| р. Амур – г. Хабаровск (г.ст.)  | $Q_n = 43,7R - 10100$ | 0,56                     |
| р. Амур – г. Комсомольск        | $Q_n = 39,7R - 5990$  | 0,61                     |
| р. Амур – с. Богородское        | $Q_n = 47,4R - 8430$  | 0,59                     |
| р. Большая Бира – г. Биробиджан | $Q_n = 0,43R - 124$   | 0,64                     |
| р. Шилка – г. Сретенск          | $Q_n = 5,27R - 958$   | 0,83                     |
| р. Ингода – с. Атамановка       | $Q_n = 0,86R - 149$   | 0,76                     |
| р. Нерча – г. Нерчинск          | $Q_n = 1,33R - 303$   | 0,82                     |
| р. Зея – с. Белогорье           | $Q_n = 6,96R - 1350$  | 0,77                     |
| р. Тында – г. Тында             | $Q_n = 0,19R - 34$    | 0,69                     |
| р. Селенга – рзд. Мостовой      | $Q_n = 7,58R - 1150$  | 0,63                     |

Сотрудниками лаборатории исследования последствий изменения климата ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД» были рассчитаны ежегодные прогнозные значения количества осадков с начала ледостава и до окончания паводочного периода до 2052 года включительно по тем же метеостанциям, данные с которых использовались для получения

уравнений регрессии в табл. 4. Прогнозные данные по осадкам были рассчитаны исходя из рабочей гипотезы о том, что динамика погоды и климата главным образом является следствием колебаний климатической системы на её собственных частотах [13–15].

По полученным уравнениям регрессии (табл. 4) были рассчитаны ежегодные прогностические оценки стока воды  $Q_n$  на одиннадцати выбранных гидрологических постах с 2022 до 2052 года включительно, так как 2052 год является последним, для которого вычислены прогнозные значения осадков. Однако вычисление ежегодных прогнозных колебаний водности рек не является целью данной работы. Исходя из гипотезы о динамике погоды и климата [14] наиболее достоверными являются многолетние прогнозные колебания водности. Поэтому на рис. 6–8 показаны прогностические оценки средних расходов воды  $Q_n$ , сглаженные методом простой скользящей средней по пятилетним периодам. То есть, например, значение  $Q_n$  в 2025 году является средним за 2023–2027 гг., в 2026 году – за 2024–2028 гг. и так далее. Как следствие, временные рамки прогнозных значений  $Q_n$ , представленных на рис. 6–8, сокращены до 2024–2050 гг.

Как видно из рис. 6–8, линейные тренды  $Q_n$  имеют разнонаправленную тенденцию. Для оценки интенсивности этих изменений были рассчитаны средние параметры (в метрах кубических в секунду и в процентах) линейного тренда за весь период прогностических оценок и приведены к десятилетнему периоду (табл. 5).

Таблица 5

**Интенсивность изменения прогностических оценок средних расходов воды  $Q_n$  по линейному тренду за период с 2024 по 2050 год (значения приведены к средним за десятилетний срок)**

| Река – пост                     | Характеристики линейного тренда (за 10 лет) |
|---------------------------------|---------------------------------------------|
| р. Авача – г. Елизаово          | +8,0 м3/с, +4,2 %                           |
| р. Амур – г. Хабаровск (г.ст.)  | -310 м3/с, -2,2 %                           |
| р. Амур – г. Комсомольск        | -58 м3/с, -0,4 %                            |
| р. Амур – с. Богородское        | +150 м3/с, +0,8 %                           |
| р. Большая Бира – г. Биробиджан | +7,7 м3/с, +4,0 %                           |
| р. Шилка – г. Сретенск          | -230 м3/с, -28 %                            |
| р. Ингода – с. Атамановка       | -27 м3/с, -16 %                             |

| Река – пост                | Характеристики линейного тренда (за 10 лет) |
|----------------------------|---------------------------------------------|
| р. Нерча – г. Нерчинск     | -40 м <sup>3</sup> /с, -20 %                |
| р. Зeya – с. Белогорье     | +110 м <sup>3</sup> /с, +4,0 %              |
| р. Тында – г.Тында         | +5,4 м <sup>3</sup> /с, +5,9%               |
| р. Селенга – рзд. Мостовой | -120 м <sup>3</sup> /с, -7,6%               |

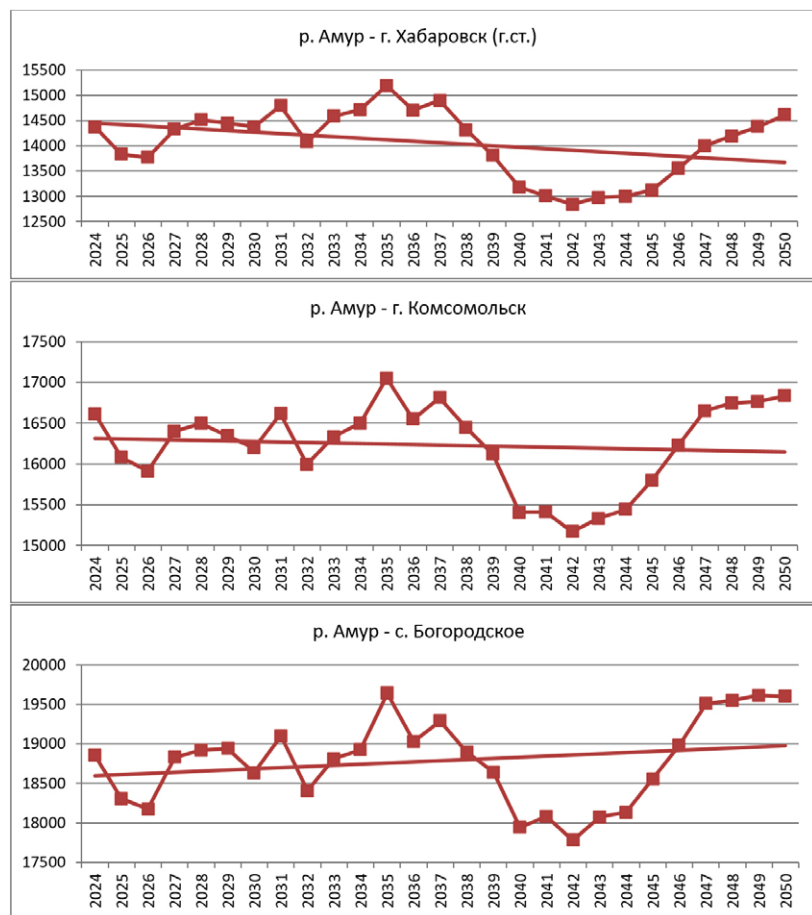


Рис. 6. Прогностические оценки средних расходов воды половодья и паводочного периода  $Q_n$  (м<sup>3</sup>/с) на реке Амур, сглаженные методом простой скользящей средней за пять лет

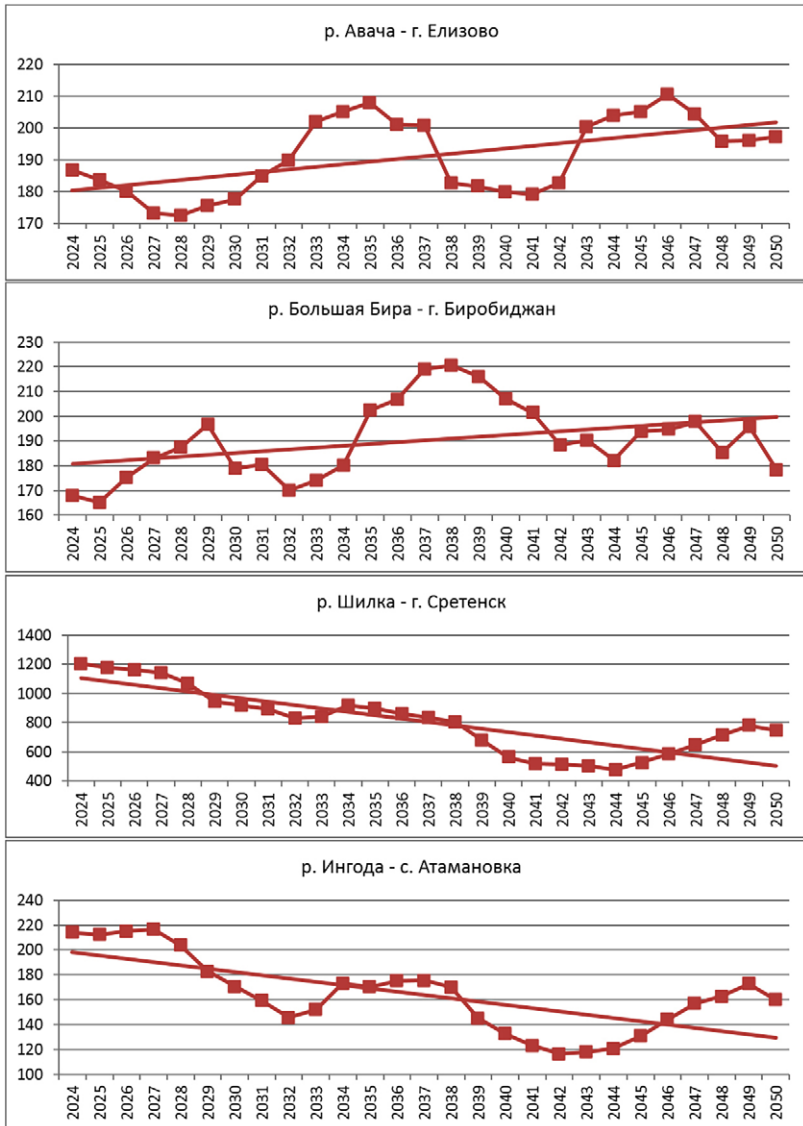


Рис. 7. Прогностические оценки средних расходов воды половодья и паводочного периода  $Q_p$  (м³/с) на реках Камчатки и бассейна Амура, сглаженные методом простой скользящей средней за пять лет

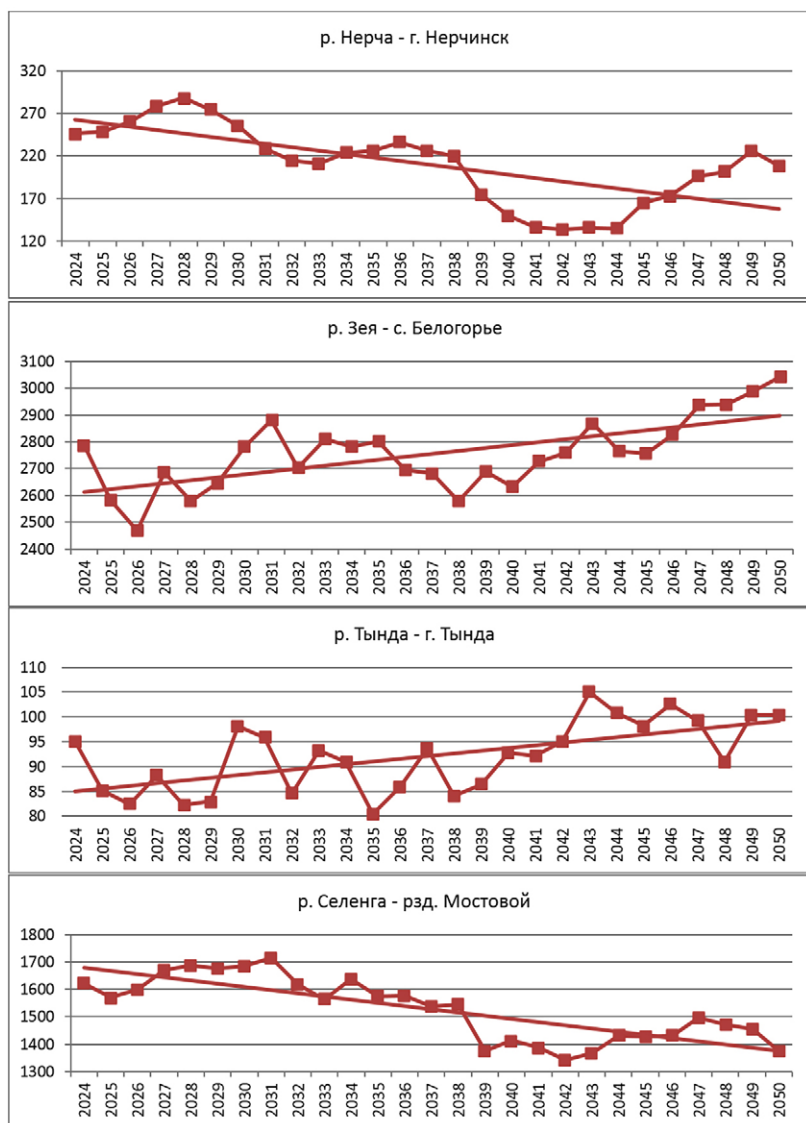


Рис. 8. Прогностические оценки средних расходов воды половодья и паводочного периода  $Q_n$  (м³/с) на реках Забайкалья и бассейна Амура, сглаженные методом простой скользящей средней за пять лет

В табл. 6 приведены средние значения  $Q_n$  по десятилетиям (фактические за 2009–2018 гг. и прогнозные за 2022–2050 гг.) в метрах кубических в секунду и их рост в процентах по отношению к периоду 2009–2018 гг.

Таблица 6

**Изменение прогностических оценок средних расходов воды  $Q_n$  по десятилетиям по отношению к фактическим значениям за 2009–2018 гг. (значения приведены к средним за десятилетний срок)**

| Река – пост                     | 2009–2018                | 2022–2030                           | 2031–2040                           | 2041–2050                           |
|---------------------------------|--------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| р. Авача – г. Елизово           | 202 м <sup>3</sup> /с    | 181 м <sup>3</sup> /с,<br>-10 %     | 192 м <sup>3</sup> /с,<br>-5,0 %    | 198 м <sup>3</sup> /с,<br>-2,0 %    |
| р. Амур – г. Хабаровск (г.ст.)  | 14 400 м <sup>3</sup> /с | 14400 м <sup>3</sup> /с,<br>0,0 %   | 14400 м <sup>3</sup> /с,<br>0,0 %   | 13600 м <sup>3</sup> /с,<br>-5,6 %  |
| р. Амур – г. Комсомольск        | 16000 м <sup>3</sup> /с  | 16 500 м <sup>3</sup> /с,<br>+3,1 % | 16 400 м <sup>3</sup> /с,<br>+2,5 % | 16 000 м <sup>3</sup> /с,<br>0,0 %  |
| р. Амур – с. Богородское        | 19 100 м <sup>3</sup> /с | 18 900 м <sup>3</sup> /с,<br>-1,0 % | 18 900 м <sup>3</sup> /с,<br>-1,0 % | 18 800 м <sup>3</sup> /с,<br>-1,6 % |
| р. Большая Бира – г. Биробиджан | 228 м <sup>3</sup> /с    | 181 м <sup>3</sup> /с,<br>-21 %     | 197 м <sup>3</sup> /с,<br>-14 %     | 188 м <sup>3</sup> /с,<br>-18 %     |
| р. Шилка – г. Сретенск          | 732 м <sup>3</sup> /с    | 1 110 м <sup>3</sup> /с,<br>+52 %   | 822 м <sup>3</sup> /с,<br>+12 %     | 611 м <sup>3</sup> /с,<br>-17 %     |
| р. Ингода – с. Атамановка       | 154 м <sup>3</sup> /с    | 208 м <sup>3</sup> /с,<br>+35 %     | 161 м <sup>3</sup> /с,<br>+4,5 %    | 140 м <sup>3</sup> /с,<br>-9,1 %    |
| р. Нерча – г. Нерчинск          | 179 м <sup>3</sup> /с    | 262 м <sup>3</sup> /с,<br>+46 %     | 215 м <sup>3</sup> /с,<br>+20 %     | 169 м <sup>3</sup> /с,<br>-5,6 %    |
| р. Зея – с. Белогорье           | 2 950 м <sup>3</sup> /с  | 2 710 м <sup>3</sup> /с,<br>-8,1 %  | 2 700 м <sup>3</sup> /с,<br>-8,5 %  | 2 900 м <sup>3</sup> /с,<br>-1,7 %  |
| р. Тында – г. Тында             | 84 м <sup>3</sup> /с     | 87 м <sup>3</sup> /с,<br>+3,6 %     | 89 м <sup>3</sup> /с,<br>+6,0 %     | 98 м <sup>3</sup> /с,<br>+17 %      |
| р. Селенга – рзд. Мостовой      | 1 340 м <sup>3</sup> /с  | 1 660 м <sup>3</sup> /с,<br>+24 %   | 1 550 м <sup>3</sup> /с,<br>+16 %   | 1 420 м <sup>3</sup> /с,<br>+6,0 %  |

Как видно из табл. 5 и 6, особенно резкий рост в 2022–2030 гг. и затем после 2030 года падение значений  $Q_n$  в относительных величинах ожидается на реках Бурятии и Забайкальского края (Селенга, Шилка, Ингода, Нерча).

Более детально анализируя полученные результаты (рис. 6–8), можно отдельно выделить периоды максимальных прогнозных значений  $Q_n$  (табл. 7).

Таблица 7

**Периоды максимальных значений прогностических оценок средних расходов воды  $Q_n$  за 2024–2050 гг.**

| Река – пост                     | Период максимальных значений $Q_n$                                                      |
|---------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|
| р. Авача – г. Елизово           | 2033–2037 гг. (205 м <sup>3</sup> /с),<br>2043–2047 гг. (205 м <sup>3</sup> /с)         |
| р. Амур – г. Хабаровск (г.ст.)  | 2031–2038 гг. (14 600 м <sup>3</sup> /с)                                                |
| р. Амур – г. Комсомольск        | 2031–2038 гг. (16 500 м <sup>3</sup> /с)                                                |
| р. Амур – с. Богородское        | 2031–2038 гг. (19 000 м <sup>3</sup> /с),<br>2047 – 2050 гг. (19 600 м <sup>3</sup> /с) |
| р. Большая Бира – г. Биробиджан | 2035–2041 гг. (210 м <sup>3</sup> /с)                                                   |
| р. Шилка – г. Сретенск          | 2024–2027 гг. (1 150 м <sup>3</sup> /с)                                                 |
| р. Ингода – с. Атамановка       | 2024–2027 гг. (215 м <sup>3</sup> /с)                                                   |
| р. Нерча – г. Нерчинск          | 2026–2030 гг. (270 м <sup>3</sup> /с)                                                   |
| р. Зея – с. Белогорье           | 2047–2050 гг. (3000 м <sup>3</sup> /с)                                                  |
| р. Тында – г. Тында             | 2043–2046 гг. (102 м <sup>3</sup> /с)                                                   |
| р. Селенга – рзд. Мостовой      | 2027–2031 гг. (1700 м <sup>3</sup> /с)                                                  |

В табл. 7, помимо периодов максимальных прогнозных значений  $Q_n$ , в скобках приведены средние величины  $Q_n$  за указанный период. Например, запись «2031–2038 гг. (14 600 м<sup>3</sup>/с)» показывает, что за период с 2031 по 2038 год ожидаемый средний расход воды половодья и паводочного периода  $Q_n$  равен 14 600 м<sup>3</sup>/с.

### Заключение

Представленная в данной работе модель расчёта стока воды в половодье и паводочный период на реках Камчатки, Забайкалья и бассейна Амура позволяет определить периоды подъёма, спада и максимальных величин искомой характеристики по прогнозным значениям количества осадков, полученных исходя из рабочей гипотезы о том, что динамика погоды и климата главным образом является следствием колебаний климатической системы на её собственных частотах. Также указанная модель даёт возможность, используя полученные уравнения регрессии, рассчитать с хорошей точностью величину стока воды в предстоящее половодье и паводочный период по среднесрочным прогнозным данным осадков и результатам снегомерных наблюдений.

В результате проведённых расчётов с использованием данной модели можно выделить три основных пространственно-временных пика по стоку воды в половодье и паводочный период на изучаемых в данной работе реках. На реках Бурятии и Забайкальского края максимальный сток воды придётся в среднем на 2024–2030 гг.; на реках Амурской области – на 2045–2050 гг. В нижнем течении Амура (Хабаровский край) максимальные значения стока в половодье и паводочный период ожидаются в 2031–2038 гг.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Экстремальные паводки в бассейне Амура: гидрологические аспекты* // Сборник работ по гидрологии / Под ред. В. Ю. Георгиевского, ФГБУ «ГГИ». СПб.: ООО «ЭсПэХа», 2015. С. 171.
2. *Гниломедов Е. В.* Оценки тенденций стока воды в половодье на реках в бассейнах Енисея и Лены // Труды ФБГУ «ВНИИГМИ-МЦД». 2022. Вып. 189. С. 35–58.
3. *Миллионщикова Т. Д.* Моделирование и предвычисление многолетних изменений стока р. Селенги: диссертация / науч. рук. А. Н. Гельфан. М., 2018. 131 с.
4. *Комплексная эколого-экономическая оценка развития гидроэнергетики бассейна реки Амур.* М.: WWF России, EN+Group, 2015. 279 с.
5. *Характеристика пресноводных водоёмов Камчатки: уч.-справ. пособие.* Петропавловск-Камчатский: КамчатГТУ, Всемирный фонд дикой природы (WWF), 2015. 52 с.
6. *Гармаев Е. Ж., Христофоров А. В.* Водные ресурсы рек бассейна озера Байкал: основы их использования и охраны. Новосибирск: Гео, 2010. 301 с.
7. *О причинах возникновения катастрофического паводка на р. Амур в 2013 году* // Официальный пресс-релиз пресс-центра Росгидромета, 2013.
8. *Семенов В. А., Гниломедов Е. В., Салугашвили Р. С., Голубев В. Н., Фролов Д. М.* География распределения и генезис климатообусловленных изменений экстремальных расходов воды, опасных наводнений и маловодий на реках России // Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2015. Вып. 179. С. 108–120.
9. *Мещенина Л. А., Новороцкий П. В., Пономарев В. И.* Климатические изменения и колебания стока Амура // Вестник ДВО РАН. 2007. № 4.
10. *Виссмен У., Харбаф Т. И., Кнэпп Д. У.* Введение в гидрологию. Ленинград: Гидрометеиздат, 1979. 470 с.

11. *Клибашев К. П., Горошков И. Ф.* Гидрологические расчёты. Ленинград: Гидрометеиздат, 1970. 460 с.
12. *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. М.: Физматкнига, 2019. С. 76–79.
13. *Шерстюков Б. Г.* Метод прогноза климата на предстоящие два десятилетия на основе экстраполяции ритмов // Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2007. Вып. 173. С. 221–235.
14. *Шерстюков Б. Г.* Региональные и сезонные закономерности изменений современного климата. Обнинск: ГУ «ВНИИГМИ-МЦД», 2008. С. 247.
15. *Шерстюков Б. Г.* Колебательная система климата, резонансы, дальние связи, прогнозы. Обнинск: ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД», 2021. 222 с.

УДК 551.501:551.515

## **ЧАСТОТА ВОЗДЕЙСТВИЯ ОПАСНЫХ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЙ НА ЭКОНОМИКУ И НАСЕЛЕНИЕ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ ЗА 1991 – 2020 ГОДЫ**

**А. Ю. Рыбанова<sup>1</sup>, С. И. Шамин<sup>2</sup>**

*ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский институт  
гидрометеорологической информации – Мировой центр данных»,  
<sup>1</sup> aribanova@meteo.ru, <sup>2</sup> sha@meteo.ru*

### **Введение**

Постоянный процесс влияния опасных и неблагоприятных гидрометеорологических явлений (далее – опасное явление или ОЯ) погоды на экономику и население достигло значительных масштабов за последнее время. Как показывают научные исследования, воздействия стремительно развивающихся опасных явлений, приводящие к масштабным разрушениям и ущербам, часто оказываются существенными [1–5]. Влияние ОЯ на население и экономику содержит периоды опасных воздействий, что вносит заметную неустойчивость в функционирование экономической системы в целом, нарушая устойчивое развитие социально-экономических систем.

Рост частоты возникновения опасных явлений погоды отмечается во всём мире, что приводит к увеличению экономических и социальных потерь и ущербов. По данным отчёта, опубликованного Управлением ООН по уменьшению опасности бедствий (UNISDR), число природных катастроф выросло в два раза за 20 лет (1998–2017 гг.), при этом в полтора раза возросли прямые экономические ущербы по гидрометеорологическим причинам [4, 5].

В докладе ООН говорится, что прямые экономические ущербы от воздействия гидрометеорологических явлений в начале XXI века составили 2 908 млрд долларов США, из которых 2 245 млрд приходятся на стихийные бедствия, связанные с

климатом (77 % от общей суммы). В течение этого периода погибло 1,3 миллиона человек, а 4,4 миллиарда получили ранения. Следует отметить, что эти потери постоянно нарастают.

Явления гидрометеорологического характера, такие как штормы, паводки, засухи, природные пожары, волны тепла и холода, продолжают вызывать значительную часть бедствий и на территории Российской Федерации. По данным Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий (МЧС) [6], наиболее разрушительными для России являются наводнения, лесные пожары и аномальная жара. На долю чрезвычайных ситуаций (ЧС) природного характера в 2020 году пришлось 31,4 % от общего числа ЧС. По сравнению с 2019 годом количество ЧС природного характера увеличилось в 2,1 раза, вследствие чего были нарушены условия жизнедеятельности свыше 180 тыс. человек. При этом материальный ущерб от воздействия ОЯ только в 2020 году составил не менее 12 389 млн рублей. Значительное разнообразие масштабов ОЯ угрожает жизни людей, нарушает эпидемиологическую безопасность, является причиной повышенного травматизма, затрудняет деятельность различных отраслей экономики и конкретных предприятий.

Следует отметить, что ежегодный потенциальный ущерб от воздействия опасных и неблагоприятных метеорологических явлений погоды на территории России составляет не менее 200 млрд рублей в год (2–3 млрд долларов США) [7].

Как видно, проблема современного влияния опасных и неблагоприятных условий погоды на мировую экономику, и особенно на экономику России, создаёт существенное препятствие для прогресса на пути к устойчивому развитию.

В настоящей статье приведены некоторые результаты расчётов по числу случаев воздействия ОЯ на разные виды экономической деятельности. При этом рассматривается распределение числа случаев воздействия ОЯ по годам, по месяцам с учётом частоты их возникновения.

## **Основные результаты анализа статистических данных об опасных и неблагоприятных гидрометеорологических явлениях**

Территория России неоднородна с точки зрения природных условий и социального пространства жизнедеятельности населения и лежит сразу в четырёх основных климатических поясах, где отмечается весь комплекс природных опасных гидрометеорологических явлений.

Анализ проведён по базе «Сведения об опасных и неблагоприятных гидрометеорологических явлениях, которые нанесли материальный и социальный ущерб на территории России» (Свидетельство о государственной регистрации № 2019621326, авторы – С. И. Шамин, Л. К. Бухонова, А. Т. Санина) [8], которая ведётся в ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД» с целью получения статистических и экономических данных об ОЯ, в том числе в целях их научных исследований в области экономической метеорологии. База постоянно дополнялась и уточнялась из разных официальных источников и только в 2021 году были завершены работы по детализации данных базы за весь период наблюдений – с 1991 по 2020 год.

Наличие такой базы данных позволяет проводить оценки для анализа повторяемости ОЯ и их воздействия на разные виды экономической деятельности за продолжительный период, на основе которых можно исследовать тенденции их проявления на экономику и население.

Как уже отмечалось выше, в настоящей работе анализ приведён на основе данных о числе случаев воздействия опасных и неблагоприятных гидрометеорологических явлений (далее – число случаев ОЯ) на социально-экономическую систему. Если воздействие охватывало несколько субъектов Российской Федерации одного управления по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды Росгидромета, то оно в целом рассматривалось как один случай; если воздействие ОЯ наблюдалось в течение нескольких месяцев (например почвенная засуха, чрезвычайная пожароопасность и др.), то это также фиксируется как один случай; если при воздействии наблюдалось несколько ОЯ одновременно,

то это также фиксируется как один случай; если при воздействии наблюдались только неблагоприятные гидрометеорологические явления, то это также фиксируется как один случай.

При рассмотрении распределения суммарного числа случаев ОЯ по годам за 1991–2020 гг., нанёсших социальные и экономические потери (рис. 1), можно отметить, что максимальное воздействие на социально-экономическую систему в России за рассматриваемый период было зарегистрировано в 2018 году и составило 468 случаев.

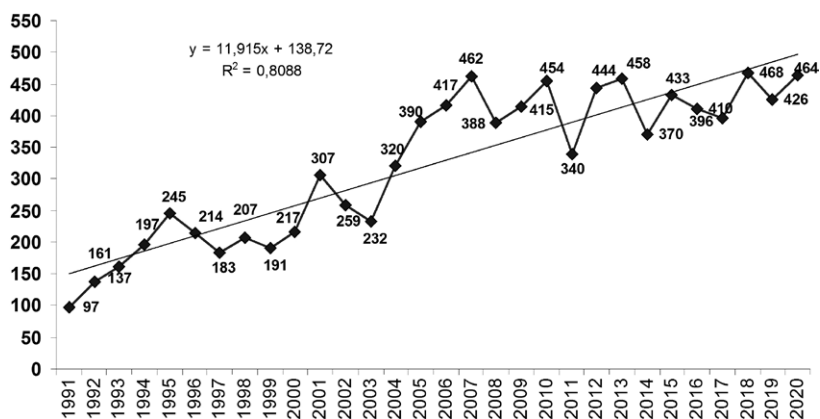


Рис. 1. Распределение суммарного числа случаев ОЯ, нанёсших социально-экономический ущерб по годам за 1991–2020 гг.

Ряд числа случаев ОЯ по годам был испытан на линейный тренд. Линейный тренд (доля объяснённой дисперсии составляет 0,8088) говорит о положительной тенденции – наблюдается рост частоты воздействия ОЯ на социально-экономическую систему. Можно отметить, что до 2007 года наблюдалась устойчивая тенденция увеличения числа случаев ОЯ, а с 2008 года началась стабилизация или даже незначительное уменьшение числа случаев ОЯ, но эта тенденция пока не устойчивая.

Повторяемость числа случаев воздействия ОЯ, которые привели к социальным и экономическим потерям за период с 1991 по 2020 год, составила 323 (среднее число случаев ОЯ за

рассматриваемый период), ежегодное увеличение в среднем составляет 17 случаев.

При этом, если рассматривать последние 20 лет, можно отметить, что общее число случаев воздействия ОЯ на социально-экономическую систему России за период 2011–2020 гг. возросло, по сравнению с 2001–2010 гг., с 3 644 до 4 208, т.е. число случаев воздействия увеличилось в среднем только на 15 % – с 364 до 421, а ежегодное увеличение в среднем составляет 6 случаев. Необходимо отметить, что рост в последние годы незначителен.

В условиях нарастающей климатической неустойчивости и зависимости экономической сферы от условий погоды рассмотрим влияние ОЯ на конкретные виды экономической деятельности (в соответствии с Общероссийским классификатором видов экономической деятельности – ОКВЭД).

Анализ воздействия ОЯ, нанёсших социально-экономический ущерб отраслям экономики и населению за период с 1991 по 2020 год и за последние два десятилетия, показал, что наиболее погодозависимыми отраслями являются жилищно-коммунальное хозяйство (ЖКХ), электроэнергетика (производство, передача и распределение электроэнергии), автотранспорт (деятельность прочего сухопутного транспорта) и сельское хозяйство (сельское хозяйство, охота и предоставление услуг в этих областях). Кроме того, проведённый анализ данных, как за продолжительный период, так и в разрезах отдельных лет, показал, что основной ущерб приходится всегда на вышеперечисленные четыре отрасли экономики.

Как показывают статистические расчёты, общее число случаев воздействия ОЯ на ЖКХ за период 2011–2020 гг. возросло, по сравнению с 2001–2010 гг., с 1 464 до 1 846, т.е. воздействие ОЯ увеличилось в среднем на 26 % – с 146 до 185 случаев. Для сельского хозяйства рост числа случаев ОЯ за аналогичный период составил с 1 139 до 1 249, при этом воздействие увеличилось в среднем на 10 % – с 114 до 125. Рост числа случаев ОЯ за период 2011–2020 гг., по сравнению с 2001–2010 гг., также можно отметить и для автотранспорта, который составил с 1 118 до 1 337, увеличение в среднем составило 20 % – с 112 до 134. Общее

число случаев воздействия ОЯ на электроэнергетику за рассматриваемый период увеличилось незначительно – с 1 340 до 1 377, в среднем на 3 % – с 134 до 138.

Следует отметить, что ЖКХ, электроэнергетика, автотранспорт и сельское хозяйство выходят на первое место по числу случаев воздействия ОЯ погоды как наиболее погодозависимые отрасли экономики Российской Федерации, на которые приходится порядка 80 % от общего числа случаев.

Аналогично проводился расчёт на основе данных о числе случаев ОЯ, нанёсших социальные и экономические потери и для остальных отраслей экономики. Для некоторых выявлена тенденция роста общего числа случаев ОЯ за последние десять лет по сравнению с предыдущим десятилетием: образование – на 33 %, теплосеть – на 31 %, внутренний водный транспорт – на 29 %, авиация – на 25 %, лесное хозяйство – на 21 %.

Отметим, что автотранспорт занимает третье место по числу случаев воздействия на него ОЯ, что подтверждают данные, приводившиеся в [2, 9 и др.].

С целью снижения потенциальных экономических ущербов и уменьшения негативных воздействий ОЯ для полноценного обслуживания автотранспортной системы требуются данные, в максимальной степени достоверные, регулярные по времени или за продолжительный период времени.

Результаты данных распределения числа случаев ОЯ, нанёсших социально-экономический ущерб автотранспортной отрасли, с детализацией по годам за 1991–2020 гг. приведены на рис. 2.

Линейный тренд (доля объяснённой дисперсии составляет 0,7149) говорит о положительной тенденции – наблюдается рост частоты воздействия ОЯ на автотранспортный сектор. Число случаев ОЯ, нанёсших социально-экономический ущерб, в этот период варьируется от 42 до 169, т.е. воздействие на автотранспорт выросло более чем в 4 раза. Повторяемость числа случаев ОЯ для автотранспорта за период с 1991 по 2020 год составила 103. Минимальное воздействие за тридцать лет отмечено в 1991 и 1999 годах, число случаев ОЯ составило 42 и 43, а максимальное – наблюдалось в 2018 и 2020 годах и составило 170 и 169 случаев.

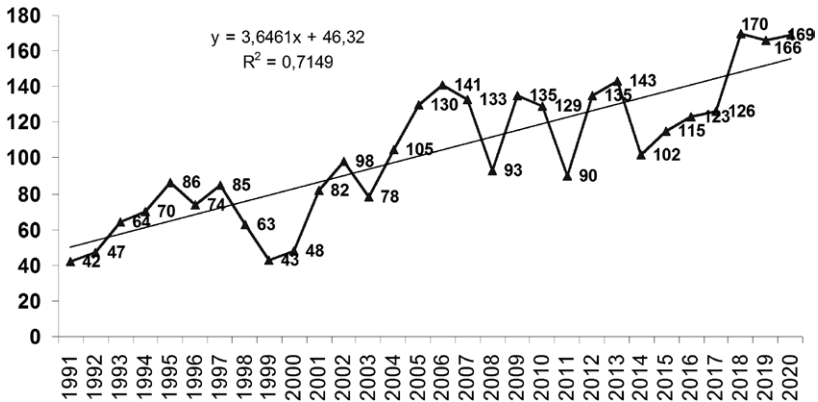


Рис. 2. Распределение общего числа случаев опасных и неблагоприятных гидрометеорологических явлений, нанёсших социально-экономический ущерб автотранспортной системе в 1991–2020 гг.

Данный результат требует более углублённого анализа и проведения дальнейших исследований воздействия ОЯ на автотранспортную систему. При этом целесообразно провести расчёты статистических данных по числу воздействия различных видов явлений на автотранспортную систему или для нескольких погодозависимых отраслей экономики.

Отметим, что повторяемость воздействия опасных и неблагоприятных гидрометеорологических явлений для разных отраслей экономики различается. Это обусловлено тем, что степень и частота воздействия ОЯ погоды на отрасли экономики зависят не только от характера экономической и производственной деятельности, а также и от особенностей меняющегося климата различных частей территории России. Последствия быстрой изменчивости климатических условий проявляются в росте повторяемости опасных гидрометеорологических явлений и в увеличении неблагоприятных резких изменений погоды, которые приводят к огромному социально-экономическому ущербу, особенно в тёплый период.

На рис. 3 приведена статистика числа случаев воздействия ОЯ на социально-экономическую систему с детализацией по месяцам за два десятилетия – 2001–2010 гг. и 2011–2020 гг. В случае

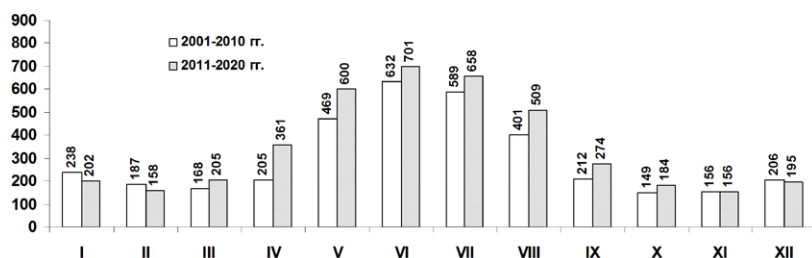


Рис. 3. Распределение числа случаев воздействия ОЯ на социально-экономическую систему по месяцам в 2001–2010 и 2011–2020 гг.

продолжительных ОЯ, воздействие которых охватывает несколько месяцев, в статистику входил месяц начала явления.

В 2011–2020 гг. наблюдается тенденция роста числа случаев ОЯ, по сравнению с периодом 2001–2010 гг., с 3 612 до 4 203: воздействие ОЯ увеличилось в среднем на 16 %, т.е. ежемесячное увеличение в среднем составляет 6 случаев. Наиболее высокие значения числа случаев ОЯ стабильно демонстрируют тёплые месяцы года – с апреля по сентябрь, причём пик наблюдается в июне. По статистике, число случаев ОЯ в 2011–2020 гг. с апреля по сентябрь, по сравнению с аналогичным периодом в 2001–2010 гг., увеличилось на 24 % – с 2 508 до 3 103. Более детальный анализ показывает, что наибольшее увеличение числа случаев ОЯ за рассматриваемый период было в апреле и составило 76 % – с 205 до 361. Несколько меньший рост числа случаев ОЯ отмечается в другие месяцы этого периода: в мае – 28 %, в июне и июле – 11 и 12 % соответственно, в августе – 27 %, в сентябре – 29 %.

В холодные месяцы – с октября по март – общее число случаев ОЯ за последнее десятилетие изменилось незначительно, по сравнению с 2001–2010 гг., с 1 104 до 1 100. Но при этом в последнее десятилетие заметна тенденция уменьшения числа случаев ОЯ с декабря по февраль по сравнению с периодом 2001–2010 гг. В декабре отмечается уменьшение воздействия ОЯ на 5 %, в январе – на 15 %, в феврале – на 16 %. Однако в марте и ноябре наблюдается рост числа случаев ОЯ на 22 и 23 % соответственно.

Это связано с тем, что тёплые месяцы (апрель–сентябрь) характеризуются рядом условий погоды, когда активизируются

конвективные явления, что приводит к увеличению числа случаев ущерба и способны оказывать негативное воздействие не только на автотранспортную систему, но и на многие отрасли экономики. При необходимости можно использовать эту информацию совместно с данными по видам опасных гидрометеорологических явлений, нанёсших социально-экономический ущерб.

### **Заключение**

Социально-экономическое развитие регионов России находится в тесной зависимости от климатических условий, поэтому важно знать, какие опасные гидрометеорологические явления погоды отмечались в прошлом, чтобы исключить социально-экономические потери и ущербы, которые они вызвали.

В статье предоставлена информация о частоте воздействия опасных гидрометеорологических явлений на экономику и население за 1991–2020 гг. Приводятся результаты для различных отраслей экономики, по которым имеются стабильно высокие значения числа случаев воздействия опасных и неблагоприятных гидрометеорологических явлений за последние два десятилетних периода – 2001–2010 и 2011–2020 гг. При этом рассмотрены тенденции изменения общего числа случаев воздействия ОЯ на разные отрасли экономики Российской Федерации. Наиболее часто воздействию ОЯ подвергается ЖКХ, электроэнергетика, автотранспорт и сельское хозяйство. Рассмотрена более детальная информация о распределении числа случаев ОЯ для автотранспортной системы, как одной из наиболее погодозависимой отрасли. Кроме того, рассмотрены тенденции изменения ежемесячного числа случаев воздействия ОЯ на социально-экономическую систему за рассматриваемые десятилетние периоды.

Данные о частоте воздействия ОЯ на экономику и население свидетельствуют о том, что наблюдается тенденция существенного влияния гидрометеорологических условий на экономику и население РФ. Статистические данные базы об опасных и неблагоприятных гидрометеорологических явлениях, вызывающих социальные и экономические потери на территории РФ, могут быть использованы при планировании и организации работ во многих отраслях экономики и для расчёта ущерба по каждому случаю ОЯ.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бедрицкий А. И., Коршунов А. А., Хандожко Л. А., Шаймарданов М. З. Показатели влияния погодных условий на экономику: чувствительность потребителя к воздействию метеорологическому фактору // Метеорология и гидрология. 2000. № 2. С. 5–9.
2. Бедрицкий А. И., Коршунов А. А., Шаймарданов М. З. Влияние опасных гидрометеорологических явлений на устойчивое развитие экономики России // Метеорология и гидрология. 2017. № 7. С. 59–67.
3. Осипов В. И. Природные катастрофы на рубеже XXI века // Проблемы безопасности при чрезвычайных ситуациях. Вып. 1. М.: Информационно-издательский центр ВНИИ ГОЧС, 2001. С. 54–79.
4. *Climate and Environment: «Staggering» rise in climate emergencies in last 20 years? New disaster research shows.* 12 October 2020. URL: <https://news.un.org/en/story/2020/10/1075142> (дата обращения: 05.10.2021).
5. *UNISDR and CRED report: Economic Losses, Poverty and Disasters 1998–2017.* Geneva: CRED, 2018. 34 p. URL: <https://www.cred.be/unisdr-and-cred-report-economic-losses-poverty-disasters-1998-2017> (дата обращения: 05.10.2021).
6. Государственный доклад «О состоянии защиты населения и территорий Российской Федерации от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера в 2020 году». М.: МЧС России; ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ), 2021. 264 с. URL: <https://www.mchs.gov.ru/dokumenty/5304> (дата обращения: 05.10.2021).
7. Оганесян В. В., Стерин А. М., Воробьева Л. Н. Потенциальные ущербы от опасных и неблагоприятных метеорологических явлений на территории РФ: региональные особенности // Гидрометеорологические исследования и прогнозы. 2021. № 1 (379). С. 143–156.
8. Шамин С. И. Структура и содержание базы сведений об опасных и неблагоприятных гидрометеорологических явлениях, нанёсших материальный и социальный ущерб // Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2018. Вып. 182. С. 144–158. URL: <http://meteo.ru/publications/114-publikatsii-sotrudnikov/783-spisok-nauchnykh-statej-drugikh-izdanij-opublikovannykh-sotrudnikami-instituta-v-2018-godu> (дата обращения: 05.10.2021).
9. Рыбанова А. Ю., Воробьева Л. Н., Фокичева А. А., Коршунов А. А. Экономический эффект информационной деятельности организаций Росгидромета по обеспечению потребителей транспорта и автотранспортной системы, включая статистический анализ динамики воздействия условий погоды // Учёные записки РГГМУ. 2019. № 53. С. 18–33.

УДК 004.9

## **МОДЕЛЬ ИНТЕГРАЦИИ ПРИЛОЖЕНИЙ И ЕЁ РЕАЛИЗАЦИЯ В ЕДИНОЙ ГОСУДАРСТВЕННОЙ СИСТЕМЕ ИНФОРМАЦИИ ОБ ОБСТАНОВКЕ В МИРОВОМ ОКЕАНЕ**

**К. В. Белова<sup>1</sup>, Н. Н. Михайлов<sup>2</sup>**

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

*<sup>1</sup> christy@meteo.ru, <sup>2</sup> nodc@meteo.ru*

### **Введение**

Интеграция приложений является одной из наиболее актуальных задач единой государственной системы информации об обстановке в Мировом океане (ЕСИМО) [1, 2]. Существует необходимость налаживания взаимодействия приложений для управления разнородными распределёнными данными о морской среде и морской деятельности. Также существует потребность в надёжных интерфейсах приложений. Данная проблема возникает в связи с увеличением числа программно-технических компонентов в ЕСИМО, использованием приложений, разработанных сторонними организациями, из-за архитектурных отличий компонентов единой системы. Современные тенденции указывают на необходимость создания «экосистемы» взаимодействующих сервисов. Основной целью работы является определение актуальности проблемы интеграции приложений в ЕСИМО, описание модели интеграции приложений, подготовка технических решений в виде программных средств, обеспечивающих взаимодействие компонентов ЕСИМО, реализующих управление данными об океане, в рамках единой интегрирующей среды с использованием стандартизированных интерфейсов и протоколов.

### **1. Методы и средства интеграции приложений**

Основным интеграционным подходом является интеграция приложений на уровне данных, функций и объектов.

Интеграция приложений на уровне данных является одним из общепринятых подходов по интеграции данных [3, 4]. Наряду с методами консолидации (Extract-Transform-Load, ETL) и федерализации (Enterprise information integration, EII), рекомендуется применение методов распространения данных посредством интеграции приложений (Enterprise application integration, EAI). Этот тип интеграции подразумевает объединение приложений, взаимодействующих с разнородными и распределёнными источниками данных, в разнообразные интеграционные схемы. Приложения передают данные из удалённого источника в целевое местоположение (например в приложение ведения хранилища данных) по событиям. Обновления источника данных могут быть переданы асинхронно или синхронно. Синтаксическая и семантическая гармонизация данных осуществляется средствами адаптеров данных, входящих в состав интегрируемых приложений.

Интеграция приложений на уровне функций и объектов [5] состоит в представлении программных компонентов в виде объектов и их интеграции через предоставляемые ими функции. Подразумевается реализация совместно используемых служб (сервисов). Служба может являться набором функций, используемых в нескольких приложениях. Любой компонент можно представить как набор слабосвязанных и взаимозаменяемых веб-служб, при этом становятся не важны детали реализации компонентов, поскольку веб-службы инкапсулируются в унифицированные стандартные интерфейсы. В контексте микросервисной архитектуры возможен переход к интеграции на уровне процессов по исполнению распределённого бизнес-процесса, в котором отдельные функции выполняются разными приложениями. Сами бизнес-процессы функционируют над выделенными службами, для управления которыми существует специальный интерпретируемый язык (например Business Process Execution Language).

На сегодняшний день выделяются несколько видов средств интеграции приложений. Основными являются решения, реализующие корпоративные сервисные шины (Enterprise Service Bus, ESB), и решения класса IC-BPMS (Integration-Centric Business Process Management System).

ESB представляет собой слой промежуточного программного обеспечения (middleware), с помощью которого можно получить доступ к основным, многократно используемым сервисам. Приложения здесь рассматриваются и как поставщики, и как потребители сервисов [6].

Существует также класс систем управления бизнес-процессами, поддерживающих взаимодействие пользователей в ходе автоматизации. Кроме того, для задач интеграции предназначены сервисы, обеспечивающие взаимодействие приложений информационных систем различных министерств и ведомств (Business-to-Business, B2B).

## **2. Топология интеграции приложений**

В организации маршрутов взаимодействия приложений можно выделить три основных подхода: взаимодействие «точка-точка», взаимодействие «интегрирующая среда» и смешанный способ [7]. При взаимодействии «точка-точка» интегрируемые приложения взаимодействуют напрямую. Это обеспечивает простоту исполнения и не требует дополнительного программного обеспечения. С одной стороны это позволяет быстро наладить работу, с другой стороны такая жёсткая фиксация приводит к узким местам и частным решениям при изменении структур. Таким образом, возникает проблема необходимости использования уникального для каждого приложения механизма интеграции, из-за чего постоянно увеличивается количество разнородных связей взаимодействия, которые необходимо контролировать и поддерживать их состояние. Увеличивается стоимость сопровождения такой системы и интеграции в неё новых приложений.

В рамках «интегрирующей среды» выделяется промежуточное программное обеспечение (ППО), обеспечивающее обмен информацией между рассредоточенными во взаимодействующих информационно-технологических узлах системы компонентами. Узел представляет собой комбинацию компонентов в зависимости от назначения и категории узла. Компонент представляет собой IP-адресуемый комплекс средств (программный комплекс, измерительный комплекс, база данных и др.), осуществляющий

определённый процесс обработки данных и обеспечивающий выполнение определённых задач. Компонент характеризуется входными данными, собственной бизнес-логикой и выходными данными. Таким образом, каждый узел выполняет определённую задачу и представляет собой совокупность компонентов, взаимодействующих через программное обеспечение интегрирующей среды. Благодаря введению ППО, уходят прямые связи между рассредоточенными в узле компонентами. Однако основным недостатком такого подхода является сложность его практической реализации.

При смешанном способе взаимодействия некоторые компоненты могут взаимодействовать напрямую, минуя интегрирующую среду.

### **3. Инфраструктура интеграции приложений**

Полигоном для пилотного применения интеграции приложений стал российский сегмент Интегрированной системы наблюдений в Арктике (ИСНА) [8], который создан в 2019–2020 гг. в рамках совместных работ российских организаций с организациями стран Европейского союза по программе HORIZON-2020. Проект характеризуется сильной междисциплинарной направленностью, объединяя инструменты для интеграции разнородных и плохо структурированных данных из различных областей, таких как науки об атмосфере, океане, криосфере и земле. Разработки осуществлены на базе программных и информационных средств и технологий ЕСИМО, при этом правила пилотного проекта определяли российскому сегменту ИСНА статус самостоятельного информационно-технического узла, взаимодействующего с ИСНА и ЕСИМО [8].

Программное обеспечение российского сегмента ИСНА включает в себя следующие программные комплексы:

- программный комплекс интеграции данных, обеспечивающий сбор и обмен метаданными и данными с источниками данных ЕСИМО и ИСНА и внешними информационными системами, унификацию и ведение хранилища метаданных и данных российского сегмента ИСНА;

- программный комплекс управления данными, реализующий объединение данных в интегрированную базу данных, обработку объединённых данных и получение продукции согласно требованиям прикладных задач российского узла ИСНА;
- программный комплекс портала, который обеспечивает доступ к данным и сервисам ИСНА (российским и международным) потребителями информации по Арктике, а также служит единой точкой входа операторов узла; компонент включает набор приложений, предоставляющих информационные и прикладные услуги.

### 3.1. Интеграция приложений на уровне данных

Разработка средств интеграции приложений на уровне данных выполнена в составе программного комплекса интеграции данных (рис. 1).

В состав комплекса вошли следующие модифицированные и адаптированные компоненты ЕСИМО:

- Поставщик данных – осуществляет подключение источников данных, формирование и поддержку метаданных;

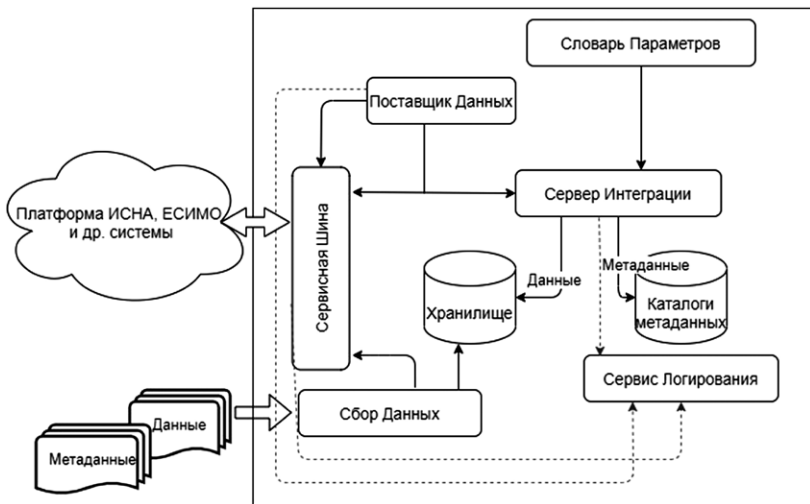


Рис. 1. Структура программного комплекса интеграции данных российского сегмента узла ИСНА

- Сервер интеграции – отвечает за загрузку, консолидацию, распространение и предоставление метаданных и данных;
- Сбор данных – ведёт приём метаданных и данных, их преобразование в другие форматы;
- Хранилище данных и каталоги метаданных – кэш-система файлов данных и метаданных для последующего совместного использования;
- Сервисная шина – представляет собой реализацию подхода взаимодействия «интегрирующая среда», выполняет организацию и контроль взаимодействия компонентов, осуществляет взаимодействия с ЕСИМО и платформой ИСНА;
- Сервис логирования – ведёт приём и накопление журналов работы компонентов.

Интеграция данных в рамках сегмента происходит посредством интеграции приложений (EAI) через центральный брокер, которым является компонента Сервисная шина.

Компоненты ЕСИМО передают данные не напрямую, а через программные средства, предоставляемые Сервисной шиной, по чётко специфицированным требованиям. Интерфейсом каждого взаимодействующего компонента является веб-сервис. Сервисная шина представляет собой специализированное программное обеспечение, позволяющее инкапсулировать веб-сервисы компонентов ЕСИМО и обеспечивающее доступ к этим сервисам через единую точку. Шина обеспечивает взаимосвязь между различными зарегистрированными в системе веб-сервисами ЕСИМО по единому протоколу взаимодействия.

В составе программного обеспечения интеграции приложений на уровне данных реализованы ключевые веб-сервисы и созданы их каталоги (рис. 2).

Веб-сервисы обеспечивают внутриузловое (межкомпонентное) и внешнее взаимодействие (с внешними узлами ЕСИМО, потребителями, другими системами), приём и предоставление метаданных и данных, предоставление служебной информации.

Веб-сервисы подразделяются на следующие виды:

- уведомительные веб-сервисы представляют собой SOAP-сервисы, предоставляются и являются приёмниками (акцепторами)



Рис. 2. Структура программного обеспечения интеграции приложений на уровне данных

информации из ЕСИМО. Данный вид сервисов осуществляет приём уведомлений об обновлении информационных ресурсов ЕСИМО – метаданных и данных;

- веб-сервисы метаданных позволяют получать описания информационных ресурсов ЕСИМО и их экземпляров, описания кодов, классификаторов и словаря параметров в унифицированном формате XML;
- веб-сервисы данных обеспечивают получение файлов гидрометеорологических данных из ЕСИМО;
- веб-сервисы служебной информации предназначены для внутреннего использования и предоставляют сведения о компонентах системы.

Реализованы две интеграционные схемы сбора, обработки и доставки данных посредством веб-сервисов и Сервисной шины из внешней системы (например ЕСИМО) и внутрироссийского сегмента ИСНА (от компоненты Поставщик данных).

От центрального узла ЕСИМО в веб-сервис компоненты Сбор данных поступают уведомления (сигналы) о новых данных

информационных ресурсов. Российский сегмент ИСНА зарегистрирован в ЕСИМО как внешний потребитель с установленным перечнем информационных ресурсов для доставки. После получения уведомления Сбор данных верифицирует сообщение – проверяет наличие данного информационного ресурса в каталоге сегмента. Затем запускается процесс получения метаданных информационного ресурса. Посредством компоненты Сервисная шина обработчик сегмента запрашивает веб-сервис метаданных ЕСИМО. Метаданные информационного ресурса поступают в формате XML-файлов, которые размещаются в консолидированном каталоге под управлением Сервера интеграции российского сегмента ИСНА.

После получения описания информационного ресурса запускается процесс запроса и получения данных из ЕСИМО. Компонент Сбор данных посредством Сервисной шины вызывает веб-сервис данных ЕСИМО, возвращающий набор ссылок на файлы данных информационного ресурса. Сбор данных осуществляет скачивание файлов данных и их размещение в Хранилище сегмента.

В рамках внутрисегментной схемы интеграции инициализация процесса сбора, обработки и доставки данных происходит от компоненты Поставщик данных, к которой подключены локальные источники данных и которая осуществляет формирование описаний информационных ресурсов сегмента. При создании или обновлении информационного ресурса Поставщик данных посредством компоненты Сервисная шина отправляет сигнал веб-сервису компоненты Сервер интеграции, которая аналогично Сбору данных производит получение метаданных и данных. Сбор данных выполняет первичный контроль полученных данных (структурный и логический), конвертацию в необходимые форматы (CSV, XML, JSON, NetCDF), а также передачу данных в логические каналы по запросу Сервера интеграции. В рамках дальнейшего развития компонента Сбор данных может быть трансформирована в универсальный адаптер данных, поддерживающий большое многообразие входных и выходных форматов данных, протоколов их передачи.

Преимущества описанного выше применения интеграции приложений на уровне данных состоят в:

- обеспечении взаимодействия с разнородными и распределёнными источниками данных, непосредственно с внешними информационными системами;
- использовании стандартизированных интерфейсов и протоколов для взаимодействия;
- отсутствии необходимости перестройки инфраструктуры сегмента и интегрируемых приложений;
- значительном уменьшении числа прямых связей и ослаблении этих связей между приложениями, участвующими в интеграции за счёт использования центрального брокера (Сервисной шины);

### ***3.2. Интеграция приложений на уровне функций и объектов***

Для организации маршрутов взаимодействия компонентов в рамках бизнес-процессов российского сегмента ИСНА проведена модернизация программного обеспечения компоненты Сервисная шина ЕСИМО, являющейся интегрирующей средой для взаимодействия компонентов.

Компонент представляет собой единую точку для подключения и взаимодействия компонентов, предоставляемых программными комплексами интеграции данных, управления данными портала узла российского сегмента ИСНА (рис. 3).

Сервисная шина реализует маршрутизацию и доставку данных в компоненты узла по запросу, компоненты узла подключаются в реестр сервисов через веб-сервисное взаимодействие. Сервисная шина позволяет интегрировать SOAP- и REST-сервисы. Основными задачами, решаемыми компонентом, являются:

- интеграция веб-сервисов взаимодействующих компонентов в систему;
- централизованное управление интеграционной схемой;
- маршрутизация данных;
- диспетчеризация взаимодействия компонентов узла ИСНА;

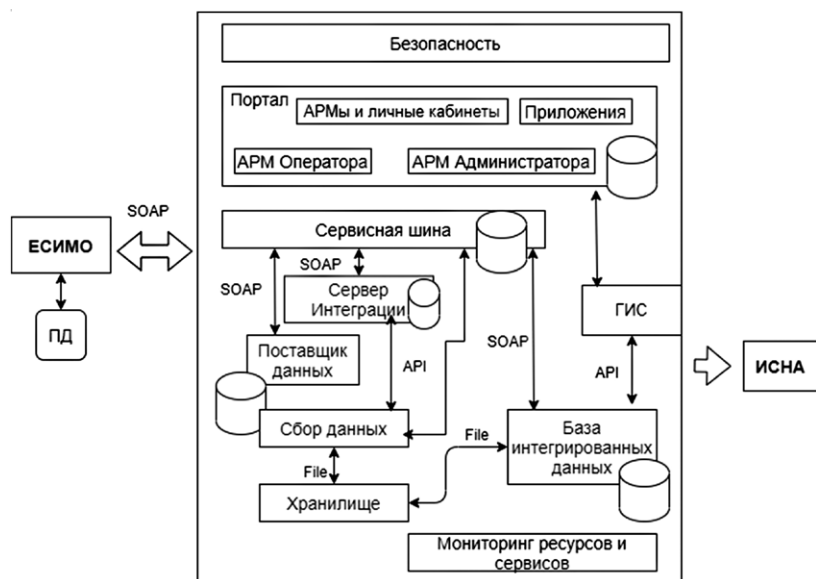


Рис. 3. Схема интеграции приложений узла российского сегмента ИСНА с применением компонента Сервисная шина

- взаимодействие с ЕСИМО и другими потенциальными информационными системами в рамках единой спецификации через веб-сервисное взаимодействие;
- обеспечение доступа пользователей к веб-сервисам через единую точку по единым протоколам взаимодействия;
- поиск и предоставление информации о сервисах системы.

Задача подключаемых компонентов состоит в предоставлении стандартизированного веб-сервисного интерфейса и передаче данных Сервисной шине.

Компонент Сервисная шина состоит из следующих блоков:

- *Реестр веб-сервисов.*

Представляет собой совокупность таблиц базы данных, а также графический модуль по управлению реестром. В состав базы данных входят таблицы, содержащие полную информацию о зарегистрированных в реестре Сервисной шины веб-сервисах, системные настройки компонента, статистическую информацию о

его работе. Дополнительно введены таблицы служебной информации, относящиеся к программной платформе очередей и планировщика заданий. Графический модуль управления реестром предоставляет такие функции, как хранение описаний узлов и сервисов, интерфейс для создания, просмотра и редактирования информации в реестре веб-сервисов.

- *Модуль управления сервисами.*

Имеет следующие функциональные возможности:

- ведение каталога сервисов;
- синхронный вызов сервисов;
- асинхронное взаимодействие пользователей с компонентой;
- конвертация форматов сообщений;
- маршрутизация сообщений;
- приоритетный вызов сервисов;
- распределение нагрузки при осуществлении большого количества сервисов;
- предоставление доступа пользователю по протоколу SOAP;
- взаимодействие с пользователем через REST.

В текущей версии компоненты предусмотрена возможность как синхронного, так и асинхронного режима взаимодействия. При синхронном вызове компонент сразу начинает обработку запроса, взаимодействующая сторона ждёт окончания работы и получает ответ на запрос. При асинхронном режиме потребитель (взаимодействующий компонент или приложение) не дожидается окончания работы, а сразу получает уникальный идентификатор запроса. С помощью данного идентификатора потребитель может получить информацию о статусе своего запроса, результат запроса (по окончании обработки), а также информацию об исключительных ситуациях (если они возникли во время работы).

Для обеспечения гарантированной доставки сообщений между участниками взаимодействия в Сервисной шине внедрена система очередей. При поступлении сообщения-запроса оно автоматически становится в очередь, это позволяет снять нагрузку по проверкам наличия каналов связи с участников взаимодействия. При невозможности доставки запроса сервису (например по причине отсутствия связи с вызываемым компонентом на данный

момент) сообщение вновь ставится в очередь, предпринимается ещё заданное число попыток доставки сообщения.

- *Модуль мониторинга.*

Модуль мониторинга работы Сервисной шины обеспечивает функционирование через тонкий клиент (Интернет-браузер). Имеет следующие функциональные возможности: предоставление статистической информации по взаимодействию с сервисами, мониторинг внутренней работы компонента, поиск информации по критериям.

Представленное решение позволяет интегрировать любые веб-сервисы внешних комплексов и информационных систем, что обеспечивает пополнение видового и функционального многообразия поддерживаемых сервисов и, следовательно, позволяет говорить о построении прообраза «экосистемы».

Описанная в статье реализация интеграционной среды является развитием классической ESB, в которой дополнительно реализован формат общения приложений с Сервисной шиной, библиотеки для разработчиков, а также графический интерфейс управления Сервисной шиной.

### **Заключение**

Представленная в статье модель интеграции приложений обеспечивает широкие возможности развития и масштабирования сложных распределённых информационных систем. Взаимодействие на основе веб-сервисов и интегрирующей среды, сервисной шины, позволяет исключить жёсткие связи между приложениями, исключить необходимость перестройки инфраструктуры как всей системы в целом, так и взаимодействующих приложений. Это позволит в будущем внедрить новые приложения в ЕСИМО и произвести трансформацию ЕСИМО в экосистему ведомственных информационных систем в области обстановки в Мировом океане. Отсутствие жёстких требований к новым интегрируемым приложениям позволит наращивать тематический и функциональный потенциал программных средств ЕСИМО.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Единая государственная система информации об обстановке в Мировом океане (ЕСИМО)*. Номер государственной регистрации в реестре ФГИС – ФС-77110165 от 25.11.2011 г., URL: <http://esimo.ru/portal/> (дата обращения: 25.12.2018).
2. Михайлов Н. Н., Вязилов Е. Д., Воронцов А. А., Белов С. В. Единая государственная система информации об обстановке в Мировом океане и её применение для информационной поддержки морской деятельности Российской Федерации // Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2014. Вып. 177. С. 95–118.
3. White C. Data Integration: Using ETL, EAI, and EII Tools to Create an Integrated Enterprise // DMReview. 2005. N 11. P. 25–53.
4. Белова К. В., Михайлов Н. Н. Тезисы доклада на ИМДИС–2020. Интеграция информационных систем, URL: [https://ozlib.com/942488/informatika/integratsiya\\_informatsionnyh\\_sistem#aftercont](https://ozlib.com/942488/informatika/integratsiya_informatsionnyh_sistem#aftercont), свободный (дата обращения: 10.10.2021).
5. *Корпоративная Сервисная шина*, URL: <https://steptosleep.ru/корпоративная-сервисная-шина/>, свободный (дата обращения: 1.11.2021).
6. Дубина О. Обзор паттернов проектирования, URL: <http://citforum.ru/SE/project/pattern/>, свободный (дата обращения: 2.11.2021).
7. *Интегрированная система наблюдений в Арктике/Integrated Arctic Observation System, iAOS* . URL: <http://www.intaros.eu/>, свободный (дата обращения: 15.10.2021).
8. *Российский сегмент интегрированной системы наблюдений в Арктике*. URL: <http://portal.intaros.meteo.ru/portal/>, свободный (дата обращения: 15.10.2021).

УДК 551.583

## ИЗМЕНЕНИЕ ИНДЕКСОВ ЭКСТРЕМАЛЬНОСТИ НА ТЕРРИТОРИИ РОССИИ

**Н. Н. Коршунова<sup>1</sup>, С. Г. Давлетшин<sup>2</sup>**

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

*<sup>1</sup> nnk@meteo.ru, <sup>2</sup> sdavletshin@meteo.ru*

### **Введение**

Существенное увеличение экстремальных явлений – один из показателей изменения климата. Как отмечалось в [1], за последние 50 лет более 11 000 бедствий были вызваны погодными, климатическими и связанными с водой опасными явлениями, в результате которых погибли два миллиона человек и был нанесён экономический ущерб в размере 3,6 триллиона долларов США. В связи с этим исследования климатических экстремумов стали одной из ключевых сфер деятельности Всемирной метеорологической организации (ВМО). В 1999 году объединённой рабочей группой ВМО по обнаружению изменений климата были предложены 16 индексов экстремальности, которые характеризуют экстремальные свойства климата на годовом отрезке времени. Все предложенные индексы пригодны для характеристики климата в средних широтах. Десять из них рекомендованы ВМО для использования в исследованиях по обнаружению изменений экстремальности и изменчивости климата.

В последние годы данной проблеме посвящено много исследований отечественных и зарубежных авторов, в которых при оценке изменений климата используются производные климатических индексов экстремальности. В частности, в прежних исследованиях по оценке экстремальности температурного режима и режима осадков, проводимых во ВНИИГМИ-МЦД, в качестве индексов климатических экстремумов использовалось число дней за сезон, когда метеорологический параметр выше или ниже

некоторого предельного значения [2–5]. Значение метеорологической величины, соответствующее границе 95 или 5 % интервала ранжированного ряда, рассматривалось как предельное.

Большая часть работ по данной теме посвящена исследованию волн тепла. Зарубежные учёные давно занимались изучением формирования волн тепла [6–9] и их влиянием на человека [10, 11]. В нашей стране толчком к детальному изучению волн тепла стала аномальная продолжительная жара на европейской части России летом 2010 года [12–16], причём интенсивность и продолжительность этой волны тепла привлекла внимание и зарубежных исследователей [17, 18]. В [16] волны тепла рассмотрены как эпизоды длительных положительных аномалий температуры воздуха в широтной зоне 45–55° с.ш. С использованием данных реанализов получены основные характеристики волн тепла (повторяемость, продолжительность и интенсивность) и рассмотрена их связь с макроциркуляционными условиями и тепловым состоянием различных слоёв океана в предшествующий холодный период года. Авторы установили, что влияние особенностей теплового режима океана в предшествующий холодный период проявляется в продолжительных летних аномалиях тепла на континенте во все летние месяцы. При этом области с наибольшими коэффициентами корреляции меняют своё положение от месяца к месяцу.

Другие индексы при анализе изменения климата использовались гораздо реже, и исследования проводились на региональном уровне. Можно отметить работу [19], где для оценки изменения климата Алтайского края, помимо индекса продолжительности волн тепла, использовался индекс «сухих» периодов. Выявленное увеличение числа волн тепла и уменьшение продолжительности «сухих» периодов позволило авторам подтвердить тенденцию изменения климата Алтайского края. Для Западной Сибири в [20] авторы рассчитали и проанализировали изменение нескольких индексов экстремальности, в частности повторяемость холодных дней и ночей, повторяемость тёплых дней и ночей, повторяемость сильных осадков, число сильных снегопадов, годовая сумма осадков выше 95 процентиля, однако значимых трендов в изменении этих индексов не выявили. Таким образом, гипотеза о росте

повторяемости и пороговых значений индексов экстремальности на фоне изменений глобального климата для территории Западной Сибири не подтвердилась.

### Данные и методика

В работе использовались ежедневные данные специализированного массива «Температура воздуха и количество осадков (ежедневные данные)», который доступен на сайте ВНИИГМИ-МЦД [10]. Массив регулярно пополняется, что позволяет проводить исследования по актуальным данным. Массив содержит данные 600 метеорологических станций РФ и бывших республик СССР. Со времени создания специализированного массива некоторые российские станции, входящие в данный массив, были закрыты или законсервированы, поэтому расчёты проводились по данным 488 метеорологических станций России, действующих в настоящее время. Для подобных исследований использование высококачественных постанционных данных для довольно густой сети метеорологических станций предпочтительнее по сравнению с использованием реанализов, поскольку в расчётах характеристик экстремальности приземного климата реанализы могут давать существенные погрешности. Расчёты проводились по данным за период от начала работы станции до 2020 года.

В данном исследовании рассматривались следующие индексы экстремальности.

**HWDD** – продолжительность волн тепла. Рассчитывается как максимальное количество последовательных дней за год (не менее 5 дней) с суточным максимумом, превышающим норму более чем на 5 °C. В качестве нормы использовалась средняя за период 1961–1990 гг. максимальная температура соответствующего дня.

**CWDD** – продолжительность волн холода. Рассчитывается как максимальное количество последовательных дней за год (не менее 5 дней) с суточным минимумом ниже нормы более чем на 5 °C. В качестве нормы использовалась средняя за период 1961–1990 гг. минимальная температура соответствующего дня.

**T90** – индекс тёплых ночей представляет собой число дней за год с суточным минимумом температуры выше 90 процентиля, выраженное в процентах от общего числа дней.

**Tn10** – индекс холодных ночей представляет собой число дней за год с суточным минимумом температуры ниже 10 процентиля, выраженное в процентах от общего числа дней.

**CDD** – максимальное за год число последовательных «сухих» периодов (с осадками не более 1 мм).

**R95** – доля интенсивных осадков. Рассчитывается как процентное отношение интенсивных осадков к годовой сумме. Под интенсивными осадками понимались осадки, суточная сумма которых превышала 95 процентиля за период 1961–1990 гг.

**R10** – число дней с интенсивными осадками. Для умеренных широт осадки более 10 мм можно считать интенсивными.

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, представленный на графиках, рассчитывался методом наименьших квадратов, уровень статистической значимости тренда определялся с помощью критерия Стьюдента.

## Результаты

### **1. Индексы продолжительности волн тепла и холода**

На рис. 1 представлено распределение на территории России средних многолетних значений индексов продолжительности волн тепла HWDD и волн холода.

Максимальные значения индекса HWDD получены в Сибири, в среднем и нижнем течении Енисея. Это обусловлено в основном повышением зимних температур. Именно в центральных районах Красноярского края в 90-х годах прошлого века отмечался наибольший рост числа дней с аномально высокими температурами воздуха [2]. Довольно продолжительные волны тепла (11–14 дней) наблюдаются на большей части европейской территории и на северо-востоке азиатской (рис. 1а). Минимальная продолжительность волн тепла и холода отмечается на дальневосточном юге, что связано с частой сменой воздушных масс в период летнего муссона. Интересно, что максимальная продолжительность волн

холода наблюдается в центральных районах Красноярского края и на Чукотке (рис. 16), что нельзя объяснить изменениями в температурном режиме этих районов. По-видимому, преобладающая роль здесь принадлежит циркуляционной составляющей.

Атмосферная циркуляция является важнейшим фактором формирования волн тепла и холода, однако, как было показано в [21], зависимость между аномалиями приземной температуры и модами крупномасштабной циркуляции носит сложный характер.

Рис. 2 на примере изменения индекса HWDD в Енисейске наглядно демонстрирует смену фаз потепления в Сибири, связанную со сменой режимов крупномасштабной атмосферной циркуляции. В конце 1960-х – начале 1970 гг. меридиональная циркуляция сменилась зональной с возросшей ролью североатлантических центров действия атмосферы (ЦДА) [21]. Со второй половины

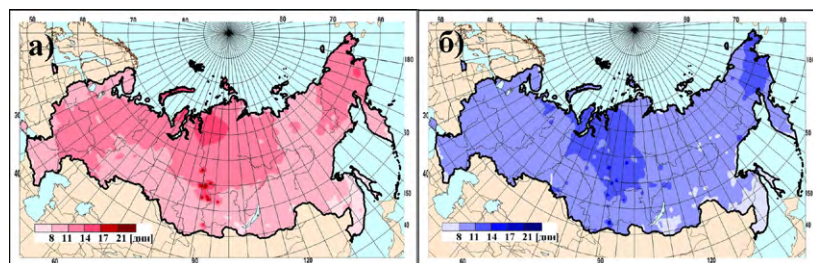


Рис. 1. Средние многолетние значения индексов продолжительности волн тепла (а) и волн холода (б)

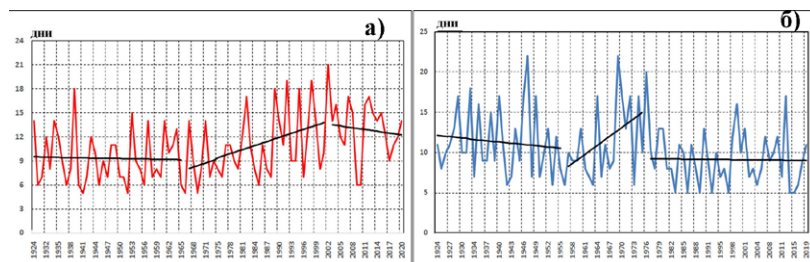


Рис. 2. Изменение индекса продолжительности волн тепла HWDD (а) и волн холода (б) в Енисейске

1990-х годов вновь возрастает интенсивность меридиональной циркуляции – и потепление замедляется. Одновременное увеличение волн тепла и холода, а следовательно их более частая смена, свидетельствует об увеличении изменчивости климата.

Если рассмотреть изменение индекса HWDD в других районах страны (рис. 3), можно отметить, что увеличение волн тепла

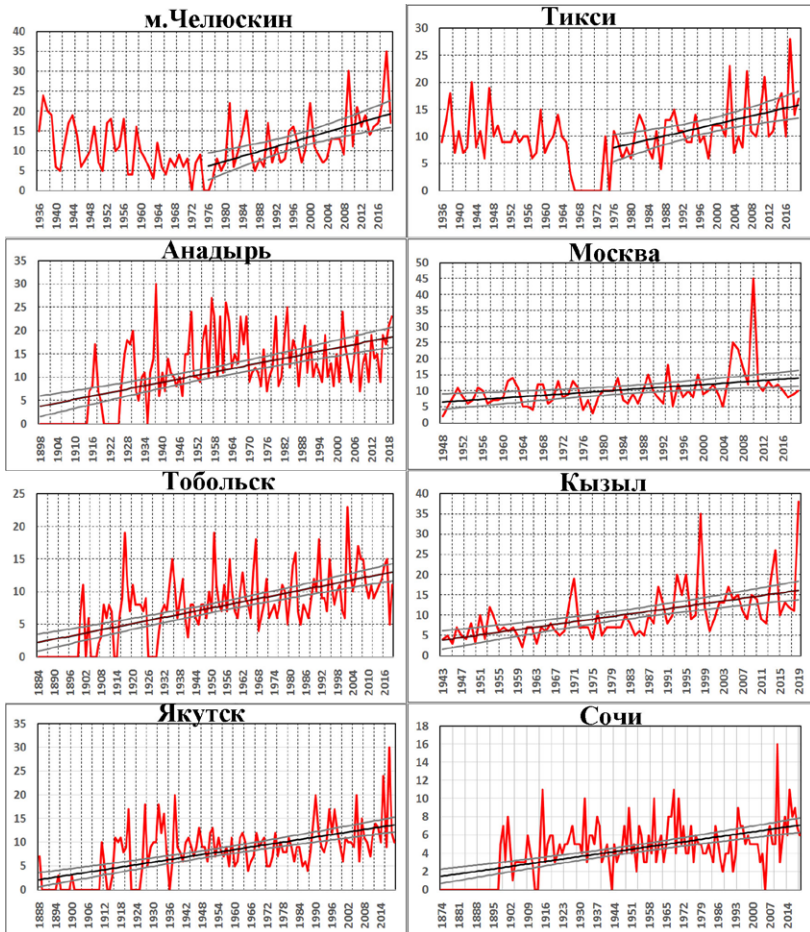


Рис. 3. Изменение индекса волн тепла HWDD на метеорологических станциях, расположенных в различных климатических зонах России

в течение всего периода с разной скоростью происходит во всех регионах, за исключением арктического побережья (м. Челюскина, Тикси). В Арктике после значительного потепления в 30-е годы прошлого века наблюдалось похолодание, что привело к уменьшению волн тепла. Начиная с 1976 года, который условно считается началом потепления, в арктическом регионе наблюдается значительное увеличение продолжительности волн тепла.

## 2. Индексы тёплых и холодных ночей

Среднее значение индекса тёплых ночей слабо меняется и на большей части страны составляет 10–11 % (рис. 4а). Максимальные значения – 12–13 % – территориально совпадают с очагом максимальных значений индекса HWDD. Минимальные значения – 8–9 % – отмечены на Южном Урале, в северо-восточных районах ЕТР, а также на тихоокеанском побережье Чукотки и Камчатки.

Значительно больше изменяется по территории индекс холодных ночей (рис. 4б), поскольку на режим минимальной температуры воздуха в большей степени, чем на режим максимальной температуры, влияют особенности рельефа. Это определяет такой «пятнистый» характер пространственного распределения. Наиболее заметно влияние форм рельефа в зимний период, когда влияние высоты из-за образования инверсий сглаживается. В [8] отмечается, что в Восточной Сибири перепад минимальной температуры между низиной и горными вершинами может достигать 15–20 °С.

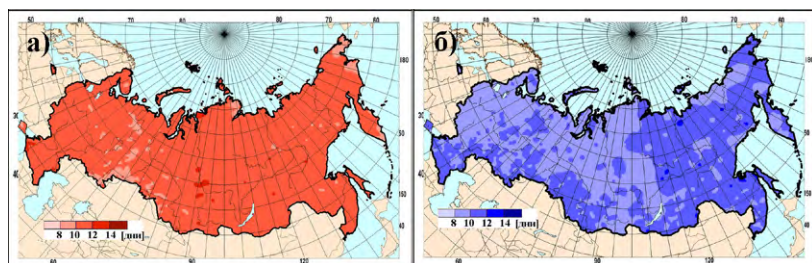


Рис. 4. Средние многолетние значения индексов тёплых (а) и холодных ночей (б)

### 3. Индексы интенсивных осадков и «сухих» периодов

В пространственном распределении индекса «сухих» периодов выделяются два обширных очага максимальных значений в Республике Саха-Якутия, включая арктические острова, и в Забайкалье (рис. 5а), которые обусловлены большей частью продолжительными периодами без осадков в зимний период, когда эти районы находятся в зоне влияния Сибирского антициклона. В отдельные годы продолжительность «сухих» периодов может превышать 100–130 дней. Однако в летнее время в этих районах, а также на северном побережье Охотского моря, в бассейне Ангары и Приморье увеличивается число дней с экстремальными осадками [5], что приводит к увеличению доли интенсивных осадков в годовой сумме и формированию очагов максимальных значений индекса R95 (рис. 5б). Именно увеличение экстремальных осадков стало причиной катастрофических наводнений в последние годы в Прибайкалье (2019 год – реки Ия, Ока, Бирюса, Уда), Забайкалье (2018 год – реки Витим, Шилка, Ингода) и на дальневосточном юге (2013 год – река Амур; 2017 год – малые реки Приморья).

На европейской территории максимальная продолжительность «сухих» периодов отмечается в Астраханской области и Калмыкии в летний период. На севере ЕТР (Архангельская область, Республика Коми) максимальная продолжительность «сухих» периодов не превышает 20 дней. В этих районах, а также в среднем и нижнем течении Енисея преобладают продолжительные осадки малой интенсивности (рис. 5б).

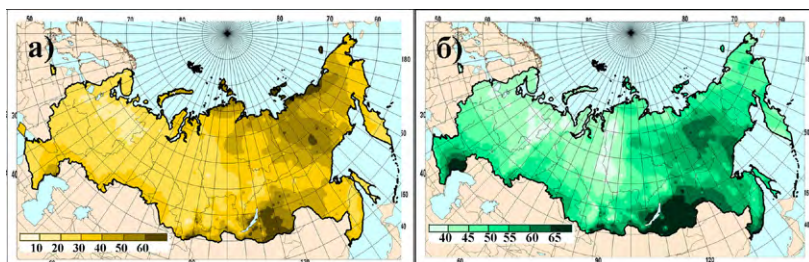


Рис. 5. Средние многолетние значения индекса «сухих» периодов (а); средние многолетние значения индекса «интенсивных осадков» (б)

На рис. 6 представлено изменение индексов экстремальности влажностного режима на метеорологических станциях Мурманск, где во все сезоны, кроме лета, наблюдается тенденция увеличения числа дней с аномально большими осадками, и Волгоград, где в течение всего года отмечается уменьшение таких дней [5]. В Мурманске число «сухих» периодов (CDD) неуклонно снижается при увеличении числа дней с интенсивными осадками (R10), однако их доля в годовой сумме осадков практически не меняется (R95). Это свидетельствует о том, что на Кольском полуострове уменьшение индекса CDD обусловлено увеличением числа дней с непродолжительными осадками малой интенсивности.

В Волгограде, напротив, продолжительность «сухих» периодов довольно существенно выросла именно за счёт уменьшения

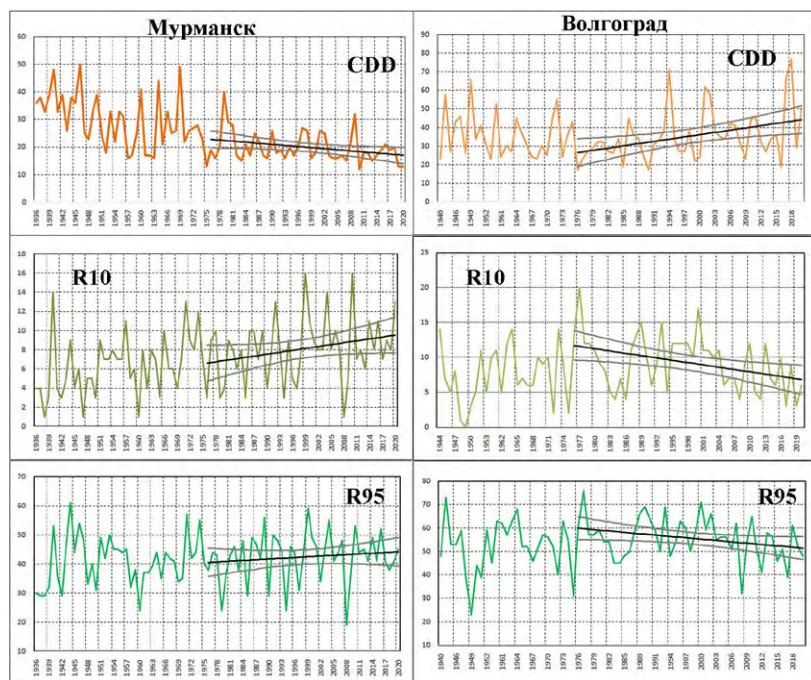


Рис. 6. Изменение индексов экстремальности режима осадков на метеорологических станциях Мурманск и Волгоград

числа дней с интенсивными осадками при уменьшении их доли в годовой сумме осадков.

### Заключение

По актуальным данным рассчитаны основные индексы экстремальности, рассмотрено их временное и пространственное распределение на территории России. Показано, что на большей части страны в последние годы возрастает экстремальность климата, что выражается в увеличении как волн тепла, так и волн холода, а значит в их более частой смене. Это обусловлено влиянием многих факторов, в частности циркуляционных, мезо- и микроклиматических особенностей района и др.

Анализ изменения индексов экстремальности влажностного режима показал, что в северо-западных областях Европейской территории России увеличение числа дней с интенсивными осадками не приводит к увеличению их доли в годовой сумме осадков, а продолжительность «сухих» периодов уменьшается из-за увеличения числа дней с малоинтенсивными осадками. На юге европейской территории выявленная тенденция увеличения «сухих» периодов обусловлена уменьшением интенсивных осадков.

Результаты исследования могут быть полезны при планировании в различных отраслях экономики, а также для выработки эффективных и своевременных адаптационных мер для минимизации ущерба от неблагоприятных погодных условий и изменений климата.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Доклад о состоянии климатического обслуживания в 2020 году: от заблаговременных предупреждений к заблаговременным действиям // Пресс-релиз ВМО, Женева. 13 сентября 2020 г.
2. Булыгина О. Н., Коршунова Н. Н., Разуваев В. Н., Шаймарданов М. З., Швец Н. В. Изменчивость экстремальных климатических явлений на территории России // Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2000. Вып. 167. С. 16–31.
3. Bulygina O. N., Razuvaev V. N., Korshunova N. N., Groisman P. Ya., 2007: Climate variations and changes in extreme climate events in Russia // Environ. Res. Let. 2. N 4 (October–December 2007) 045020. 7 p.

4. Булыгина О. Н., Коршунова Н. Н., Разуваев В. Н. Критерии экстремальности климатических явлений в температурном режиме и режиме осадков на территории России // Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2007. Вып. 173. С. 38–53.

5. Коршунова Н. Н., Булыгина О. Н., Разуваев В. Н. Оценки экстремальности температурного режима и режима осадков для территории РФ и её регионов // Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2018. Вып. 183. С. 20–30.

6. Austin J. F. The blocking of middle latitude westerly winds by planetary scale waves // Q.J.R. Meteorol. Soc., 1980. V. 106. P. 327–350.

7. Lejenas H., Okland H. Characteristics of Northern Hemisphere blocking as determined from a long time series of observational data // Tellus. 1983. V. 35A. P. 350–362.

8. Rex D. F. Blocking action in the middle troposphere and its effect upon regional climate: part I // Tellus. 1950. V. 2. P. 275–301.

9. Tibaldi S., Molteni F. On the operational predictability of blocking // Tellus. 1990. V. 42A. P. 343–365.

10. Hoek G., Brunekreef B., Verhoeff A., van Wijnen J., Fischer P. Daily mortality and air pollution in the Netherlands // J. of the Air and Waste Management Association. 2000. N 50 (8). P. 1380–1389.

11. Johnson H., Kovats R. S., McGregor G., Stedman J., Gibbs M., Walton H., Cook L., Black E. The impact of the 2003 heat wave on mortality and hospital admissions in England // Health Statistics Quarterly. 2005. V. 25. P. 6–11.

12. Варгин П. Н., Лукьянов А. Н., Ганьшин А. В. Исследование динамических процессов в период формирования блокирующего антициклона над европейской частью России летом 2010 года // Известия РАН. Серия: Физика атмосферы и океана. 2012. Т. 48, № 5. С. 523–537.

13. Локощенко М. А. Катастрофическая жара 2010 года в Москве по данным наземных метеорологических измерений // Известия РАН. Серия: Физика атмосферы и океана. 2012. Т. 48, № 5. С. 523–537.

14. Мохов И. И. Особенности формирования летней жары 2010 г. на Европейской территории России в контексте общих изменений климата и его аномалий // Известия РАН. Серия: Физика атмосферы и океана. 2011. Т. 47, № 6. С. 709–717.

15. Шакина Н. П., Иванова А. Р. Блокирующие антициклоны: современное состояние исследований и прогнозирования // Метеорология и гидрология. 2010. № 11. С. 5–17.

16. Рочева Э. В., Смирнов В. Д. О тенденциях в изменении продолжительности «волн тепла» на территории России // URL: [http://downloads.igce.ru/publications/pemem/PEMEM25/05\\_Rocheva\\_Smirnov\\_V\\_D.pdf](http://downloads.igce.ru/publications/pemem/PEMEM25/05_Rocheva_Smirnov_V_D.pdf) (дата обращения: 6.04.2022).

17. Шевченко О. Г. Характеристика хвилі тепла літнього сезону 2010 р. на території України // Наукові праці УкрНДГМІ. 2012. Вип. 262. С. 59–70.

18. *Matsueda M.* Predictability of Euro-Russian blocking in summer of 2010 // *Geophys. Res. Let.* 2011. V. 38, issue 6. DOI: 10.1029/2010GL046557.

19. *Козлова Д. С., Харламова Н. Ф.* Изменение индексов экстремальности климата г. Барнаула // Материалы молодёжной конференции с международным участием «Географические исследования молодых учёных в регионах Азии». Барнаул: Изд-во «Алтай-Циклон», 2012. С. 124–126.

20. *Огурцов Л. А., Чердыко Н. Н. Волкова М. А., Журавлев Г. Г.* Динамика показателей экстремальности климата на территории Западной Сибири // *Оптика атмосферы и океана*. 2016. Т. 29, № 8. DOI: 15372/АОО20160803.

21. *Попова В. В.* Современные изменения климата на севере Евразии как проявление вариации крупномасштабной атмосферной циркуляции // *Фундаментальная и прикладная климатология*. 2018. Т. 1. С. 84–111. DOI: 10.21513/2410-2018-1-84-111.

УДК 551.506.7

## **РЕЗУЛЬТАТЫ МОНИТОРИНГА ПОЛНОТЫ И СОДЕРЖАНИЯ ОПЫТНЫХ ФАЙЛОВ НОВОГО МАССИВА ТЕКУЩИХ АЭРОЛОГИЧЕСКИХ ДАННЫХ, ПОСТУПАЮЩИХ ИЗ СЕТИ ГСТ В КОДОВЫХ ФОРМАХ BUFR**

**Т. В. Руденкова<sup>1</sup>, А. А. Тимофеев<sup>2</sup>**

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

*<sup>1</sup> lae@meteo.ru, <sup>2</sup> arseni@developitbest.com*

### **Введение**

В ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД» ведутся работы по архивации текущих аэрологических данных по станциям мира, поступающих по глобальной сети телесвязи (ГСТ) в виде сообщений в таблично-ориентированных кодовых формах (BUFR) [1]. Архивация данных BUFR проводится по технологии, разработанной в лаборатории комплексной автоматизации (ЛКА) [2, 3]. В 2021 году технология архивации была передана в опытную эксплуатацию в центр гидрометеорологических данных (ЦГМД) для получения массивов аэрологических данных в формате Аэробафр [4]. В отделе аэрологии (ОА) регулярно выполнялась проверка архивных файлов Аэробафр на соответствие формату массива, на полноту и качество данных по станциям. Проводился анализ справочных материалов и собственно данных по файлам аэрологического массива Аэробафр за 2020 и 2021 годы.

Выявленные замечания передавались разработчику технологии архивации (ЛКА) для внесения изменений в технологию.

В данной работе частично описаны результаты анализа полноты и содержания архивных файлов массива Аэробафр за март, апрель, май, июнь 2021 года.

Работа выполнена в ОА по разделу темы 2.6 за 2021 год «Мониторинг и анализ поступлений в массивы аэрологической

информации Единого государственного фонда данных, создаваемые в ФГБУ ВНИИГМИ-МЦД».

### **Полнота массива Аэробафр по станциям**

С помощью разработанных в ОА программных средств проводится анализ полноты поступлений данных по станциям для аэрологического массива Аэробафр. В данной работе представлены результаты анализа полноты массива за период наблюдений с марта по июнь 2021 года.

Массив Аэробафр за март 2021 года содержит данные по 651 станции, за апрель – по 645 станциям, за май – по 654 станциям, за июнь – по 659 станциям глобальной сети станций. Сравнение по полноте массива Аэробафр по станциям проведено по базовому аэрологическому массиву Аэростас [5]. В массиве Аэробафр выявлен ряд станций с отсутствующими данными. За указанный период наблюдений отсутствуют данные приблизительно по 170 аэрологическим станциям мира. На рис. 1 приведено географическое распределение аэрологических станций по регионам с отсутствующими данными в массиве Аэробафр за период март – июнь 2021 года (по сравнению с базовым архивом Аэростас).



*Рис. 1. Географическое распределение аэрологических станций по регионам с отсутствующими данными в массиве Аэробафр за период март – июнь 2021 года (по сравнению с базовым массивом Аэростас)*

Особо надо отметить, что в массиве Аэробафр отсутствуют данные по станциям Росгидромета: ст. **33966** (Белогорск, Крым), ст. **25042** (о. Айон).

При этом данные в Бафр по этим двум станциям получает ФГБУ «Центральная аэрологическая обсерватория» (ЦАО) через ФГБУ «Авиаметтелеком Росгидромета».

**По региону Европы** отсутствуют данные по станции 02527 за март, апрель, май; по станции 03918 отсутствуют данные за апрель, май, июнь. За март – июнь отсутствуют данные по всем аэрологическим станциям Украины (6 станций) – 33317, 33345, 33393, 33791, 33837, 34300.

**По региону Азии** за март, апрель, май, июнь в массиве отсутствуют данные:

- по четырём станциям Казахстана: 28951 (Кустанай), 35229 (Актобе), 35394 (Караганда), 35671 (Джесказган);

- по 22 станциям – Саудовская Аравия, Эмираты, Оман: 40373, 40375, 40394, 40417, 40430, 40437, 40706, 40745, 40754, 40766, 40800, 40809, 40811, 40841, 40848, 40856, , 40948, 41024, 41112, 41217, 41256, 41316;

- по 26 станциям Индии: 42027, 42103, 42182, 42314, 42339, 42348, 42379, 42410, 42498, 42542, 42647, 42667, 42675, 42724, 42809, 42867, 42874, 42971, 43003, 43063, 43150, 43192, 43279, 43295, 43333, 43371;

- по 4 станциям Шри-Ланка: 43413, 43418, 43466, 43497;

- по 4 станциям Монголии: 44212, 44231, 44292, 44373;

- по станции Республики Корея – 47122;

- по станции Мьянма – 48097.

Отсутствуют данные за апрель 2021 года по всем 10 станциям Вьетнама:

- 48811, 48820, 48839, 48845, 48855 , 48900 – (файл 1 архива Аэробафр),

- 48870, 48877, 48887, 48914 – (файл 2 архива Аэробафр).

**По региону Юга – западной части Тихого океана** за период март – июнь 2021 года отсутствуют данные по станциям: 48601, 48615, 48650, 48657, 93112, 93417 , 93844 , 96315, 96323, 96413, 96441, 96471, 96481, 99939.

Дополнительно по региону юго-западной части Тихого океана отсутствуют данные за апрель, май, июнь по станции 91643.

**По региону Африки** в массиве Аэробафр за период март – июнь 2021 года отсутствуют данные по 18 станциям: 60096, 60155, 60715, 60760, 61024, 61660, 62306, 62414, 63450, 64400, 64450, 64500, 64700, 65344, 65548, 65578, 67083, 68906.

Дополнительно по региону Африки отсутствуют данные:

- за март 2021 г. – по 9 станциям: 61052, 61265, 61291, 61687, 61995, 62118, 62378, 62423, 63985;
- за апрель – по 4 станциям: 61052, 61687, 62423, 63741;
- за май – по 6 станциям: 61052, 61995, 62378, 62403, 63741, 68110;
- за июнь – по 5 станциям: 61995, 62378, 62403, 63741, 68110.

**По региону Северной и Центральной Америки** в массиве Аэробафр за период март – июнь 2021 года отсутствуют данные по 25 станциям: 71081, 71082, 71603, 71722, 71802, 71811, 71815, 71816, 71823, 71836, 71906, 71907, 71908, 71909, 71917, 73110, 78384, 78397, 78486, 78762, 78807, 78866, 78954, 78970, 78988.

Дополнительно отсутствуют данные за май, июнь 2021 года по станции 71843.

**По региону Южной Америки** в массиве Аэробафр за период март – июнь 2021 года отсутствуют данные по 41 станции: 80371, 82022, 82026, 82099, 82107, 82193, 82244, 82332, 82400, 82411, 82532, 82599, 82705, 82824, 82917, 82965, 83208, 83362, 83378, 83525, 83554, 83566, 83612, 83649, 83746, 83768, 83779, 83827, 83840, 83899, 83928, 83937, 83971, 85586, 87155, 87344, 87418, 87576, 87623, 87715, 87860.

Дополнительно за март, май, июнь 2021 года отсутствуют данные по станции 80001; за март, апрель – 80398; за март – 82281.

**По региону Антарктики** в массиве Аэробафр за март, апрель, май 2021 года отсутствуют данные по станции 89002; за апрель, май, июнь отсутствуют данные по станции 89055.

### **Об ошибках в данных массива Аэробафр**

В массиве Аэробафр за март – июнь 2021 года помещены радиопилотные данные по 10 станциям Пакистана: 41506, 41515,

41529, 41598, 41624, 41640, 41675, 41718, 41749, 41780. В расположенной ниже таблице приведены данные о количестве наблюдений по станциям Пакистана для массивов Аэробафр и Аэростас за период март – июнь 2021 года. Данные в массиве присутствуют только по 2-3 наблюдениям по каждой станции за каждый месяц. Для сравнения, например, в массиве Аэростас для разных станций за период март – июнь присутствует от 1 до 94 наблюдений).

Таблица

**Данные о количестве наблюдений по станциям Пакистана в массивах Аэробафр и Аэростас за март – июнь 2021 года**

| Стан-<br>ция | Количество наблюдений |               |               |               |               |               |               |               |
|--------------|-----------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
|              | Март                  |               | Апрель        |               | Май           |               | Июнь          |               |
|              | Аэро-<br>бафр         | Аэро-<br>стас | Аэро-<br>бафр | Аэро-<br>стас | Аэро-<br>бафр | Аэро-<br>стас | Аэро-<br>бафр | Аэро-<br>стас |
| 41506        | 2                     | 10            | 2             | 15            | 2             | 17            | 2             | 38            |
| 41515        | 2                     | 9             | 2             | 13            | 2             | 17            | 2             | 20            |
| 41529        | 3                     | 37            | 2             | 38            | 2             | 40            | 2             | 51            |
| 41598        | 2                     | 16            | 1             | 19            | 1             | 17            | 1             | 16            |
| 41624        | 1                     | 28            | 2             | 25            | 1             | 29            | 2             | 56            |
| 41640        | 1                     | 22            | 2             | 16            | 1             | 21            | 1             | 22            |
| 41675        | 1                     | 1             | 2             | 2             | 1             | -             | 2             | 4             |
| 41718        | 2                     | 31            | 1             | 27            | 1             | 27            | 1             | 27            |
| 41749        | 3                     | 31            | 2             | 34            | 2             | 9             | -             | -             |
| 41780        | 4                     | 94            | 4             | 91            | 4             | 86            | 4             | 88            |

На рис. 2 представлены данные наблюдений по станции **41506** за 01 июня 2021 года за время 06 час на 16 уровнях. В записи на месте, предусмотренном по формату для занесения данных по давлению, занесены значения стандартных высот: 6000, 4500, 3600, 2100 (на рис. 2 – это 4–7 строка). В конце записи (15–16 строка) на месте значений высоты уровней занесены значения изобарических поверхностей (500 и 700 гПа). Данные по ветру на уровнях стандартных высот (11–14 строка) отсутствуют. Данные ветра на изобарических поверхностях 700 и 500 гПа массива Аэробафр не совпадают с данными ветра на одноимённых уровнях массива Аэростас. В результате записи массива Аэробафр

```

0018300004150620210601060000+3585000+071830001200016011
014+014990+015000+015010990029900401999999
99999999999999999999
999999          9999999999999999
0150400004150620210601060000+3585000+071830001200016012
01016
999999008192005000000000000850000999999999.....9990050000500099999999  1
999999008192005000000000000700000999999999.....9993600000500099999999  2
999999008192005000000000000500000999999999.....9990100000600099999999  3
999999008192005000000000000600000999999999.....9999999999999999999999  4
999999008192005000000000000450000999999999.....9999999999999999999999  5
999999008192005000000000000360000999999999.....9999999999999999999999  6
999999008192005000000000000210000999999999.....9999999999999999999999  7
999999008192005000000000000000000999999999.....9999999999999999999999  8
999999008192005000000000099999999000090999.....999005000500099999999  9
99999900819200500000000009999999000090999.....9999999999999999999999 10
9999990081920050000000000999999921000999.....9999999999999999999999 11
9999990081920050000000000999999936000999.....9999999999999999999999 12
9999990081920050000000000999999945000999.....9999999999999999999999 13
9999990081920050000000000999999960000999.....9999999999999999999999 14
9999990081920050000000000999999500000999.....9990100000600099999999 15
9999990081920050000000000999999700000999.....9993600000500099999999 16

```

*Рис. 2. Данные записи массива Аэробафр по станции 41506 за 01.06.2021 г. за 06 час с данными наблюдений ветра на изобарических поверхностях (850, 700, 500 гПа) и стандартных уровнях по высоте 2100, 3600, 4500, 6000 м (уровни наблюдения и данные ветра выделены красным цветом).*

по станциям Пакистана сформированы не по формату массива и данные по станциям Пакистана за все 4 месяца (март – июнь) не подлежат обработке.

В массиве Аэростас данные по ветру на стандартных высотах по станциям Пакистана имеются и соответствуют наблюденным (рис. 3).

Ошибки в данных массива Аэробафр не всегда обусловлены и связаны с технологией архивации и декодированием сообщений BUFR, поступающих по ГСТ. По отдельным станциям в данных массива Аэробафр, например в данных по станциям Вьетнама (48811, 48820, 48839, 48845, 48885, 48900) за период наблюдений март–июнь 2021 года для радиозондовых наблюдений присутствуют ошибки в значениях высоты изобарических поверхностей



Наличие описанных в статье ошибок в данных массива Аэробафр по станциям Пакистана и Вьетнама не исключает возможности наличия ошибок такого типа и в данных других станций.

### **Заключение**

С 2021 года технология архивации аэрологических данных, поступающих по каналам связи в виде сообщений в кодовых формах BUFR, и получение массива в формате Аэробафр переданы в опытную эксплуатацию в ЦГМД ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД». В ОА проведено сравнение полноты массива Аэробафр по станциям за период март–июнь 2021 года с данными базового аэрологического массива Аэростас. В массиве Аэробафр за указанный период наблюдений отсутствуют данные приблизительно по 170 аэрологическим станциям мира.

В данных отдельных станций присутствуют ошибки на примере данных по станциям Пакистана и Вьетнама, возникшие при передаче перекодированных данных из кодов TEMP и PILOT в кодовые формы BUFR.

Чтобы не потерять данные аэрологических наблюдений по станциям, которые отсутствуют в массиве Аэробафр, предлагается вести две технологии создания массивов и получать два массива – Аэробафр и Аэростас. Анализ данных показал, что и после внедрения технологии создания массива Аэробафр в опытную эксплуатацию требуется проводить постоянный мониторинг и контроль поступления данных по каналам связи. При обнаружении новых ошибок в созданных файлах массива ЛКА следует планировать и выполнять работы по внесению изменений в технологию получения массива. Всё это делает актуальной работу по мониторингу состава и содержания формируемого нового массива Аэробафр.

### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. *Наставление по кодам. Международные коды. Том 1.2. Часть В – Двоичные коды. Часть С – Общие элементы двоичных и буквенно-цифровых кодов* // Всемирная метеорологическая организация. 2015. № 306.

2. 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.
3. Сенова Л. Н. Обработка системой OMEGA данных, поступающих по каналам связи в коде BUFR // Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2020. Вып. 186. С. 142–155.
4. 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.
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. 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.
7. Сборник аэрологических кодов. СПб.: Гидрометеоиздат, 1994. 80 с.
8. Отчёт о положении дел в области перехода на таблично-ориентированные кодовые формы. 25 сентября 2015 г. URL: [https://old.wmo.int/extranet/pages/prog/www/WMOCodes/MigrationTDCF/PR6868/2015-09-25-PR-6868-OBS-WIS-DRMM-MIGRATION\\_ru.pdf](https://old.wmo.int/extranet/pages/prog/www/WMOCodes/MigrationTDCF/PR6868/2015-09-25-PR-6868-OBS-WIS-DRMM-MIGRATION_ru.pdf) (дата обращения: 14.02.2022).

УДК 551.583 + 551.32

## **ПЛОЩАДЬ МОРСКОГО ЛЬДА В СЕВЕРНОМ ЛЕДОВИТОМ ОКЕАНЕ: ИЗМЕНЕНИЯ, ПРОГНОЗ**

**Б. Г. Шерстюков<sup>1</sup>, А. Б. Шерстюков**

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

### **Введение**

Современное глобальное потепление климата затронуло многие стороны жизни всего человечества. Самые существенные его изменения зафиксированы в высоких широтах Северного полушария, включая Арктику. Связанное с этим уменьшение площади морского льда Арктики способствовало оживлению Северного морского пути и развитию северных регионов страны в части извлечения углеводородов. Несмотря на многочисленные заявления некоторых исследователей об антропогенной причине потепления Арктики и об ожидаемом неуклонном сокращении площади морского льда в будущем, вопрос о будущих климатических условиях Арктики остаётся открытым.

Высокие широты Земли, Арктика являются уникальным регионом в части формирования температурного режима. Так как радиационный баланс в высоких широтах Земли преимущественно отрицательный, то температурный режим там определяется преимущественно адвективным теплом и способностью атмосферы препятствовать тепловому излучению в космос пришедшего адвективного тепла. С одной стороны, тепло Арктического региона в значительной мере определяется количеством адвективного тепла, принесённого океаническими течениями и воздушными потоками из низких географических широт; с другой стороны, Арктика – это район с климатом, наиболее чувствительным к изменениям количества парниковых газов в атмосфере (водяной

пар, углекислый газ, метан и др.). Дополнительную особенность Арктике создаёт геомагнитный полюс, который находится вблизи географического полюса и определяет в высоких широтах наиболее благоприятные условия для вторжения в атмосферу заряженных солнечных и космических частиц. Интенсивность потоков этих частиц зависит от переменной солнечной активности. Солнечная активность часто рассматривается как один из факторов изменения климата.

Все накопленные знания и гипотезы пока не удаётся объединить и проверить в рамках одной модели. Поэтому на первом этапе необходимо ответить на главный вопрос – изменения климата являются однонаправленными антропогенными или это природные колебания с присущими им повторяющимися фазами потепления и похолодания, не зависящими от человека. Последствия от неправильного ответа на этот вопрос огромны для стратегических планов развития человечества.

Уменьшение площади льда Арктики в последнее время во многих публикациях представляется как самое яркое доказательство антропогенной гипотезы потепления климата. При этом упускаются важные детали наблюдаемых изменений.

В настоящей работе ставилась цель определить по данным наблюдений, являются ли изменения площади льда Арктики однонаправленным явлением или мы наблюдаем фрагмент природного колебания площади морского льда Арктики.

### **1. Постановка задачи**

По оценкам [1, 2], арктические регионы характеризуются самыми сильными и быстрыми климатическими изменениями, особенно в последние десятилетия.

Арктике уделяется особое внимание, ведь в некоторых публикациях не исключается полное таяние морского льда в Арктике летом уже в этом столетии в результате антропогенного усиления парникового эффекта в атмосфере. Так, например, в [3] по среднему значению мультимодельного ансамбля моделей 6-го поколения получено, что Северный Ледовитый океан останется практически без морского льда, начиная с сентября 2050 года

как при самом жёстком, так и при мягких сценариях изменения концентрации углекислого газа в атмосфере.

В публикациях, выполненных по данным наблюдений, изменение климатических условий Арктики объясняется природными циклическими процессами с их поочерёдными фазами уменьшения и увеличения площади морского льда Арктики. В [4] известными исследователями Арктики обращается внимание на то, что никто из сторонников глобального «парникового» потепления не доказал, что наблюдаемого увеличения концентрации  $\text{CO}_2$  достаточно для того, чтобы вызвать потепление последних 30 лет. По мнению авторов [4], главной причиной изменений климата масштаба десятков и сотен лет являются естественные колебания полного потока солнечной энергии (электромагнитной и корпускулярной), поступающей к Земле. Аналогично в [5] показано, что колебания климата модулируются изменениями теплообмена между океаном и атмосферой при изменениях геомагнитной активности с участием индуцированных электрических токов в Мировом океане во время возмущений геомагнитного поля. По оценкам [6], основной вклад в тренд средней температуры в Арктике за 1969–2008 гг. внесло усиление меридионального переноса тепла в атмосфере. Этот вклад составляет около 80 % в тренды температуры во все сезоны, кроме лета, и почти 90 % в тренд средней за год температуры. В [7] подтверждается, что глобальное потепление в Арктике усиливается под влиянием роста атмосферного и океанского переносов тепла и влаги из низких широт, увеличения притока длинноволновой радиации к поверхности вследствие роста притока водяного пара зимой и усиления таяния морских льдов и увеличения пространств открытой воды летом. По мнению авторов указанной работы, совместное влияние атмосферных и океанических притоков тепла из низких широт океана на приатлантическую Арктику формирует межгодовые изменения температуры воздуха и площади морского льда.

Ранее уже отмечались важные проблемные вопросы о состоянии климата в Арктике, и они до сих пор остаются открытыми: каковы механизмы, ответственные за столь быстрое таяние льда

в Арктике? Каков относительный вклад естественных и антропогенных факторов в наблюдаемое ускорение? [8].

Накопленные данные наблюдений за климатом в Арктике дают возможность проверить, является ли наблюдаемый процесс деградации морского льда Арктики в последние десятилетия однонаправленным процессом, связанным с человеческой деятельностью, или наблюдаемая деградация – это фрагмент природных колебаний на нисходящей фазе.

## **2. Исходные данные и методы анализа**

В работе использованы данные о температуре воздуха ( $T_v$ ) в узлах регулярной географической сетки  $5 \times 5^\circ$  Северного полушария Земли за 1880–2020 гг. [9], данные о температуре поверхности Мирового океана (ТПО) в узлах географической сетки  $2 \times 2^\circ$  Северного полушария за 1930–2020 гг. [10], средние значения за июнь – август индекса Северо-Атлантического колебания (NAO) за 1950–2020 гг. [11], данные о площади ( $S$ ) морского льда в Арктике в сентябре по спутниковым наблюдениям за 1979–2020 гг. [12, 13].

Вычислялись синхронные и асинхронные коэффициенты корреляции между индексом NAO и общей площадью морского льда Арктики за 1979–2020 гг., а также между площадью ледового покрова и  $T_v$  в узлах географической сетки Северного полушария. Для прогностических целей выполнен асинхронный регрессионный анализ зависимости  $S$  от  $T_v$  и ТПО в избранных узлах географической сетки.

## **3. Основные результаты**

Известно, что потепление Арктики сопровождается уменьшением площади ледового покрова Северного Ледовитого океана. Минимальная площадь морского льда бывает в сентябре, как следствие летнего притока тепла. На рис. 1 показано изменение общей площади, занятой льдом, в Северном Ледовитом океане в сентябре по спутниковым данным за 1979–2020 гг.

Представленные на графике изменения площади морского льда Арктики в сентябре часто неоправданно аппроксимируют

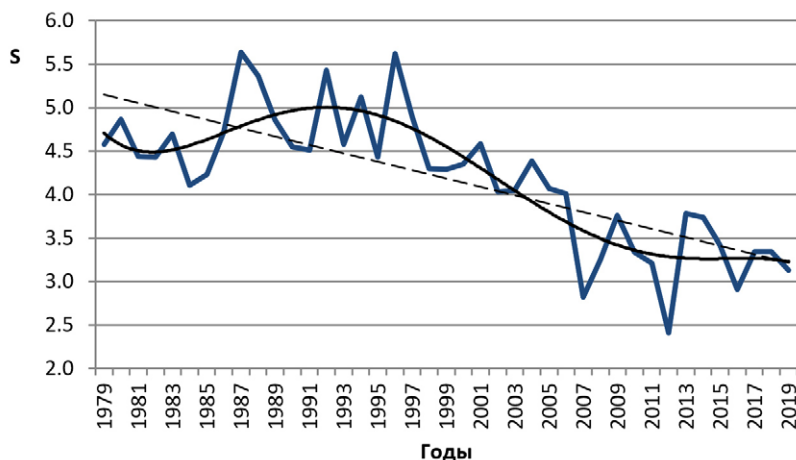


Рис. 1. Площадь морского льда Арктики ( $S$ ) в сентябре (млн км<sup>2</sup>), линейный и полиномиальный тренды

линейным трендом [13], но из рис. 1 видно, что с 1979 по 1991 год площадь морского льда медленно увеличивалась, затем с 1992 по 2010 год площадь сокращалась, а далее до конца наблюдений (2020 г.) сокращения площади не наблюдалось. Изменения  $S$  на рис. 1 показывают уменьшение площади арктического льда за 1979–2020 гг., которое не во все годы однонаправленное. Эти изменения больше похожи на фрагмент долгопериодного колебания. Изменения площади льда значительно лучше описываются полиномом 4-й степени (73 % общей изменчивости).

Большую часть года радиационный баланс в Арктике отрицательный, и поэтому адвективное тепло, переносимое атмосферой и океаном из низких широт в Арктику, имеет решающее значение для климата этого высокоширотного региона. В Арктическом районе хорошо известным показателем атмосферной циркуляции является индекс Североатлантического колебания (NAO). По мнению [14], в последние десятилетия NAO рассматривается как один из возможных источников глобального потепления.

Для сравнения на рис. 2 показаны изменения площади морского льда Арктики ( $S$ ) в сентябре по спутниковым данным и летний (июнь – август) индекс NAO, сглаженный по скользящим

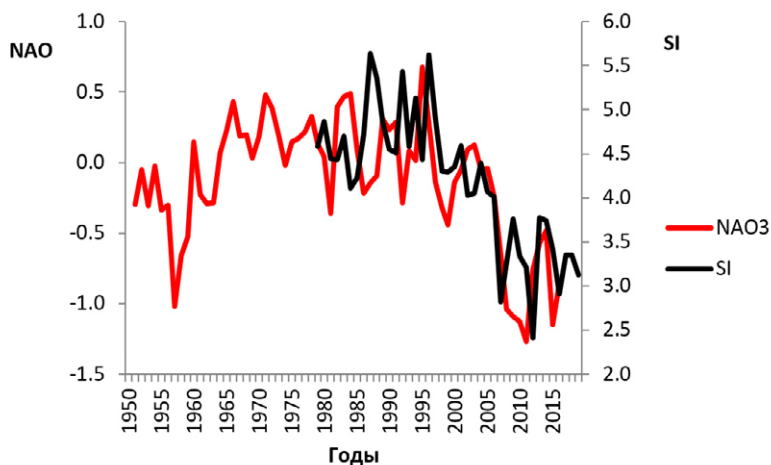


Рис. 2. Площадь морского льда Арктики ( $S$ ) в сентябре (млн км<sup>2</sup>) по спутниковым данным и летний (июнь – август) индекс Североатлантического колебания, сглаженный по скользящим трёхлетиям (NAO3)

трёхлетиям (NAO3). Сглаживание индекса NAO выполнено с целью приведения его межгодовой изменчивости в соответствие с инерционностью изменений площади льда Арктики.

Рис. 2 демонстрирует хорошее согласие многолетних изменений площади морского льда и индекса NAO. Коэффициент корреляции между ними  $R = 0,77$ . Тесная связь изменений площади морского льда с индексом колебаний согласуется с предположением о том, что наблюдаемые изменения площади ледового покрова Арктики являются следствием колебаний адвекции тепла в высокие широты. Связь площади ледового покрова с индексом NAO имеет физическое объяснение. Известно, что в отрицательной фазе NAO происходит усиление меридионального переноса тепла из субтропиков в высокие широты [14], площадь морских льдов при этом уменьшается. А при положительной фазе усиливается зональная циркуляция, приток тепла в высокие широты ослабляется, и поэтому в высоких широтах температура воздуха понижается, а площадь морского льда при этом увеличивается. Положительная фаза NAO и большая площадь льда наблюдалась

в 1980–1990-е гг. Отрицательная фаза NAO началась в 1990-х гг., с этого времени площадь морского льда уменьшалась. После 2007 года ослабление NAO прекратилось и остановилось уменьшение площади морского льда Арктики.

В [15] по данным наблюдений выявлен полициклический характер климатических изменений, произошедших с конца XIX до начала XXI вв. В работе показано, что в Арктике наибольшую амплитуду имели 60-летние циклы, с которыми связано чередование тёплых и холодных эпох. Аналогичные циклы обнаружены и в других регионах планеты. Полученные результаты согласуются с выводами [16] о том, что совместное влияние атмосферных и океанических притоков тепла из низких широт океана в приатлантическую Арктику формирует многолетние колебания площади морского льда.

Североатлантическое колебание является одним из наиболее известных явлений, отражающих естественные колебания климата. Тесная связь изменений площади морского льда с изменениями индекса NAO является дополнительным подтверждением того, что наблюдаемые на интервале 1979–2020 гг. изменения площади морского льда Арктики в сентябре действительно являются фрагментом многолетнего колебания, как следствие хорошо известных колебательных процессов в климатической системе.

Будет ли в ближайшие годы уменьшение площади льда Арктики? С 1992 по 2012 год индекс NAO уменьшался, а вместе с ним уменьшалась площадь морского льда Арктики. За фазой уменьшения индекса NAO всегда следовала фаза его усиления, наиболее вероятно так будет и в последующие годы. Это может означать, что за современным уменьшением площади морского льда Арктики сначала последует её восстановление (уже началось с 2013 года), а затем может начаться увеличение площади льда. Долгопериодные колебания, а не деградация, являются главной особенностью наблюдаемых изменений площади морского льда Арктики.

По сведениям [17] со ссылкой на [18], в совместной модели общей циркуляции атмосферы и океана в Северной Атлантике были найдены колебания климата с характерным периодом около

50 лет. В [4] выявлен 50–60-летний цикл в долговременных изменениях ледовитости морей Евразийской Арктики. На рис. 2 этот период очень отчётливо проявляется в изменениях индекса NAO (55 лет между локальными минимумами 1957 и 2012 гг.). Связь между NAO и площадью морского льда совершенно очевидна и достоверна. Если связь площади морского льда с изменениями индекса циркуляции не нарушится, то при прочих равных условиях через 50–60 лет после начала 1990-х гг. сентябрьская площадь морского льда может восстановиться до уровня начала 1990-х гг. Не исключено, что эти колебания будут происходить на фоне небольшого тренда вместе с трендом NAO.

Для выявления особенностей влияния атмосферы и океана на общую площадь морского льда Арктики вычислялись коэффициенты корреляции площади морского льда  $S$  в сентябре со средней ТПО за июнь – август и со средней  $T_v$  за июнь – август в узлах географической сетки Северного полушария. Ледовый покров обладает определённой тепловой инерционностью, поэтому вычислялись асинхронные коэффициенты корреляции со сдвигами от 0 до 7 лет. Предполагалось, что изменения площади льда могут отставать от изменений ТПО и  $T_v$ . В каждом узле из серии асинхронных корреляций выбирался максимальный по модулю коэффициент и фиксировался сдвиг, при котором он был получен. На рис. 3 и 4 показаны поля наилучших коэффициентов корреляции  $R < -0,5$  площади морского льда с ТПО (рис. 3) и с  $T_v$  (рис. 4) за 1979–2020 гг.

Отрицательные коэффициенты синхронной корреляции между  $S$  и ТПО (рис. 3), по модулю превышающие 0,5, обнаружались на Лабрадорском течении в море Баффина и в прилегающей части Атлантического океана, на Восточно-Гренландском течении, а также в Норвежском и частично в Баренцевом морях (рис. 3). Запаздывание изменений площади льда при наилучших коэффициентах корреляции составляло 4 года. Максимальные по модулю коэффициенты корреляций в некоторых районах превышали 0,7. Более слабые связи обнаружались в некоторых удалённых районах океана Северного полушария. Температура воды в перечисленных высокоширотных морях может непосредственно влиять

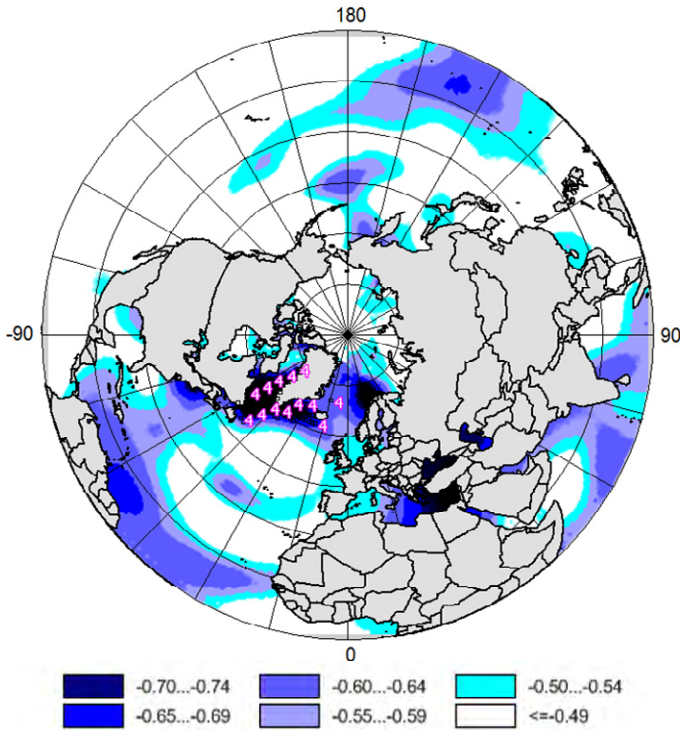


Рис. 3. Коэффициенты асинхронной корреляции площади морского льда в сентябре в Арктике с температурой поверхности океана за июнь – август. Цифрами показано время запаздывания (годы) изменений площади льда относительно изменений температуры.

на площадь морского льда, а удалённые очаги более слабых корреляций демонстрируют наличие там синхронных колебаний, которые на арктические льды повлиять не могут.

Между площадью  $S$  и  $T_v$  (рис. 4) отрицательные коэффициенты корреляции, по модулю превышающие 0,5, обнаружены на юге Гренландии, в Исландии и на островах в Гренландском и Норвежском морях. Наилучшими оказались коэффициенты корреляции  $R < -0,7$  при сдвигах на 4–5 лет (изменения площади отстают от изменений  $T_v$ ). Кроме этого, тесная асинхронная корреляция изменений площади льда Арктики обнаружилась с

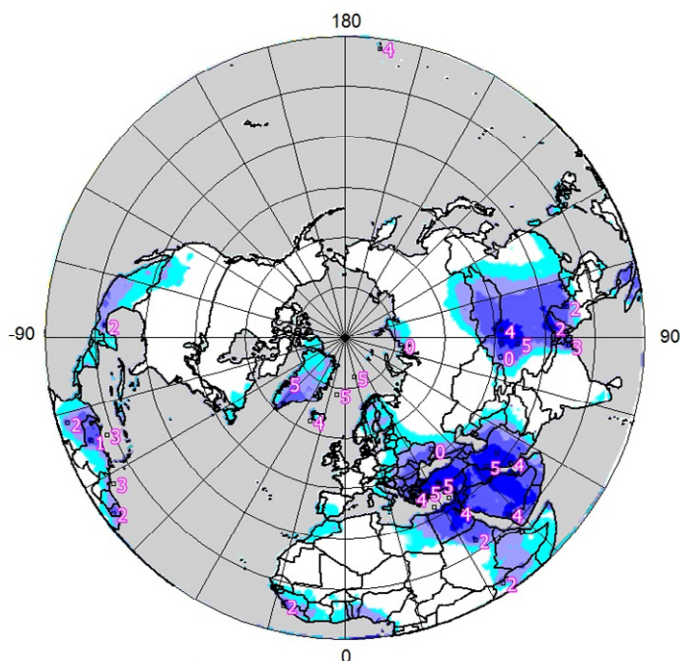


Рис. 4. Коэффициенты асинхронной корреляции площади морского льда в сентябре в Арктике с температурой воздуха над континентами за июнь – август (см. легенду на рис. 3).

температурой воздуха на юге Европы, на Иранском нагорье и на Аравийском полуострове. Удалённые связи не могут оказывать прямого влияния на морской лёд Арктики, они возникают в результате взаимосвязанных крупномасштабных циркуляционных процессов.

На основе представленных оценок можно сделать вывод о том, что изменение общей площади морского льда в Арктике происходит через 4 года после изменения ТПО в высокоширотной Северной Атлантике и в прилегающей части Северного Ледовитого океана, включая следующие акватории: море Лабрадор (коэффициент корреляции  $R < -0,7$ ), Лабрадорская котловина (наилучшая корреляция  $R = -0,81$ ), область южнее Гренландии ( $R < -0,7$ ), Норвежское море ( $R < -0,7$ ), Баренцево море ( $R < -0,6$ ), Гренландское

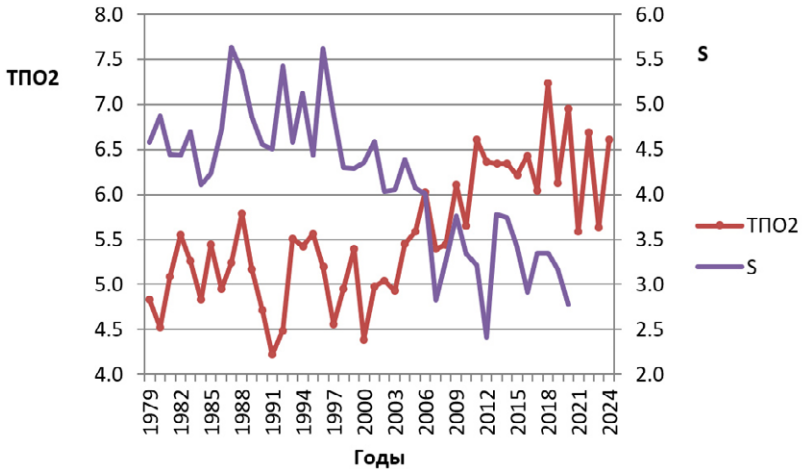


Рис. 5. Площадь арктических льдов в сентябре и осреднённый ряд температуры поверхности океана (ТПО2) со сдвигом на 4 года вперёд

море ( $R < -0,6$ ). Дополнительный вклад в изменения площади льда вносят изменения температуры воздуха на юге Гренландии, в Исландии и на островах в Гренландском и Норвежском морях.

По узлам с коэффициентами асинхронной корреляции между  $S$  и ТПО лучше  $R < -0,7$  был получен осреднённый временной ряд температуры поверхности океана (ТПО2). На рис. 5 показан график изменения площади морского льда и график изменения ТПО2 со сдвигом изменений ТПО2 на 4 года вперёд.

Зависимость площади морского льда от ТПО2 оказалась очень тесной при запаздывании изменений площади на 4 года от изменений ТПО. Коэффициент асинхронной корреляции между ними  $R = -0,81$ .

Аналогичное обобщение было проделано с временными рядами температуры. По узлам с коэффициентами асинхронной корреляции между  $S$  и Тв лучше  $R < -0,65$  был получен осреднённый ряд температуры воздуха (Тв2). На рис. 6 показан график изменения площади морского льда и график изменения Тв2 со сдвигом второго ряда на 5 лет вперёд. За 1979–2020 гг. коэффициент асинхронной корреляции между ними оказался  $R = -0,91$ .

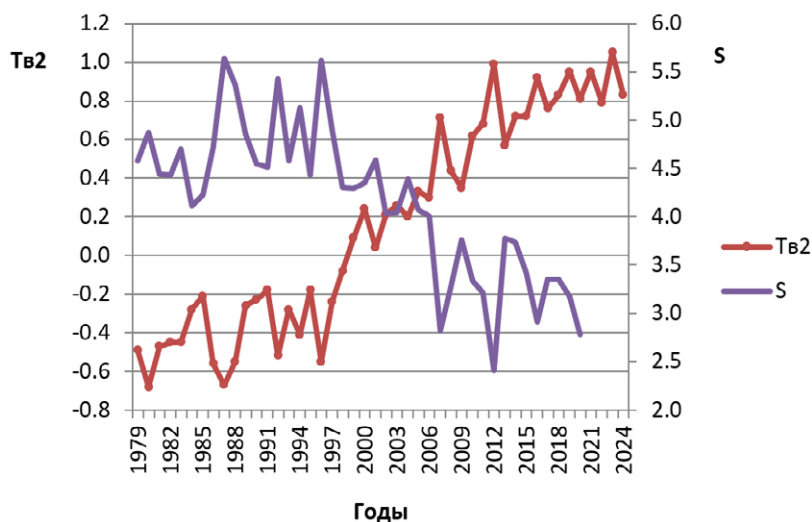


Рис. 6. Площадь арктических льдов  $S$  в сентябре и осреднённый ряд  $Tв2$  (сдвинут на 5 лет вперёд)

Опережающие изменения  $Tв$  и ТПО имеют прогностическое значение для последующих изменений площади льда. С учётом ранее полученных результатов построено уравнение асинхронной регрессии общей площади морского льда Арктики в сентябре от  $Tв$  и ТПО за июнь – август в избранных узлах географической сетки. Уравнение асинхронной регрессии позволило построить прогноз изменения площади морского льда Арктики на предстоящие 4 года (рис. 7).

Регрессионная модель описывает 84 % общей изменчивости общей площади Арктического морского льда на интервале 1979–2020 гг.

Прогностические значения площади морского льда (рис. 6) показывают, что в ближайшие годы не ожидается дальнейшего уменьшения площади ледового покрова Арктики. Прогностические оценки на 2021–2024 гг. совместно с данными наблюдений по 2020 год на рис. 7 демонстрируют стабилизацию площади ледового покрова Арктики в сентябре в течение 2013–2024 гг.

Для проверки качества такого прогноза были составлены ретроспективные прогнозы изменения площади морских льдов Арктики с заблаговременностью от 0 до 3 лет по пяти последовательным четырёхлетиям на 2001–2004, 2005–2008, 2009–2012, 2013–2016, 2017–2020 гг. По независимым данным выполнялась оценка оправдываемости площади льда на каждый год путём сравнения прогностических значений с данными наблюдений за те же годы. Прогнозы на 2001–2004 год составлялись по данным наблюдений за 1979–2000 гг. (заблаговременность от 0 до 3 лет), на 2005–2008 гг. прогнозы составлялись по данным наблюдений за 1979–2004 гг. (заблаговременность от 0 до 3 лет) и так далее. Аналогично ретроспективные прогнозы составлялись на все последующие четырёхлетия, указанные выше. Составлено 20 прогнозов. Прогностические значения сравнивались с данными наблюдений на прогнозируемый год.

Средняя квадратическая ошибка по 20 прогнозам оказалась 0,11 млн км<sup>2</sup>, это составляет 6,1 % относительно средней площади в сентябре за 1979–2020 гг.

Вычисленные прогностические значения общей площади морского льда Арктики показали, что в ближайшие 4 года не ожидается уменьшения площади морского льда Арктики. Общая площадь морского льда будет сохраняться около  $3,1 \pm 0,11$  млн км<sup>2</sup> по 2024 год.

### **Заключение**

Связь изменения площади морского льда в конце тёплого периода года с многолетними изменениями индекса Североатлантического колебания позволяет интерпретировать современные изменения площади морского льда Арктики как природные колебания, являющиеся частью глобальных колебательных процессов в климатической системе. Спутниковые данные об изменении площади морского льда Арктики за 1979–2020 гг. показывают фрагмент колебания площади с периодом около 50–60 лет, известного для многих метеорологических величин в Северной Атлантике и других регионах. Фаза уменьшения площади 1992–2012 гг. сменилась фазой стабилизации в последние годы.

Тесная асинхронная связь площади льда Арктики с температурой поверхности океана и температурой воздуха в прилегающих районах океана и суши позволяют получать прогностические оценки площади морского льда Арктики на предстоящие 4 года. Согласно таким оценкам, до 2024 года сокращения площади морского льда не ожидается. Вывод о колебательной особенности изменений площади морского льда, полученный при анализе связей ледовых условий с NAO, подтверждается независимыми результатами прогностических оценок по асинхронным связям с ТПО и Тв.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мохов И. И., Хон В. Ч. Продолжительность навигационного периода и её изменения для Северного морского пути: модельные оценки // Арктика: экология и экономика. 2015. № 2 (18). С. 88–95.
2. Алексеев Г. В., Кузмина С. И., Уразгильдеева А. В., Бобылев Л. П. Влияние атмосферных переносов тепла и влаги на потепление в Арктике в зимний период // Фундаментальная и прикладная климатология. 2016. № 1. С. 43–63.
3. Notz D. & SIMIP Community. Arctic sea ice in CMIP6 // Geophys. Res. Lett. 2020. V. 47. e2019GL086749. <https://doi.org/10.1029/2019GL086749>.
4. Фролов И. Е., Гудкович З. М., Карклин В. П., Смоляницкий В. М. Климатические вариации площади ледяного покрова в Евразийской Арктике и ожидаемые их изменения в XXI веке // Материалы Совета-семинара при Президенте Российской академии наук: Возможности предотвращения изменения климата и его негативных последствий. Проблема Киотского протокола. М.: Наука, 2006. С. 353–370.
5. Шерстюков Б. Г., Переведенцев Ю. П. Многолетние колебания температуры поверхности Мирового океана в связи с изменениями геомагнитной активности // Вестник ВГУ, Серия: География. Геоэкология. 2020. № 1. С. 14–21.
6. Алексеев Г. В., Радионов В. Ф., Александров Е. И., Иванов Н. Е., Харланенкова Н. Е. Изменения климата Арктики при глобальном потеплении // Проблемы Арктики и Антарктики. 2015. № 1 (103). С. 32–41.
7. Алексеев Г. В., Вязилова А. Е., Глок Н. И., Иванов Н. Е., Харланенкова Н. Е. Влияние аномалий температуры воды в низких широтах океана на колебания климата Арктики и их предсказуемость // Арктика: экология и экономика. 2019. № 3 (35). С. 73–83.

8. Катцов В. М., Порфирьев Б. Н. Климатические изменения в Арктике: последствия для окружающей среды и экономики // Арктика: экология и экономика. 2012. № 2 (6). С. 66–79.
9. NOAA*GlobalTemp V5*. NOAA Merged Land Ocean Global Surface Temperature Analysis.URL: <https://www.ncdc.noaa.gov/noaa-merged-land-ocean-global-surface-temperature-analysis-noaaglobaltemp-v5> (дата обращения: июль 2020).
10. Huang B., Thorne P., Banzon V., Boyer T., Chepurin G, Lawrimore J., Menne J., Smith T., Vose R., Zhang H. 2017. Extended Reconstructed Sea Surface Temperature version 5 (ERSSTv5), Upgrades, validations, and intercomparisons // J. Climate. DOI: 10.1175/JCLI-D-16-0836.1.
11. Barnston A., Livezey R. Classification, seasonality and persistence of low-frequency atmospheric circulation patterns // Mon. Wea. Rev. 1987. V. 115. P. 1083–1126.
12. Sea ice. URL: <ftp://sidacs.colorado.edu/DATASETS/NOAA/G02135/north/monthly/data/> (дата обращения: 23.03.2021).
13. NSIDC. National Snow and Ice Data Center URL: <https://nsidc.org/> (дата обращения: 01.03.2021)
14. Нестеров Е. С. Североатлантическое колебание: атмосфера и океан. М.: Триада лтд, 2013. 144 с.
15. Гудкович З. М., Карклин В. П., Смоляницкий В. М., Фролов И. Е. О характере и причинах изменений климата Земли // Проблемы Арктики и Антарктики. 2009. № 1 (81). С. 15–23.
16. Фролов И. Е., Гудкович З. М., Карклин В. П., Смоляницкий В. М., Клячкин С. В., Фролов С. В. Морской лёд // Методы оценки последствий изменения климата для физических и биологических систем. Глава 10 / Научный редактор С. М. Семенов. М., 2012. 505 с.
17. Володин Е. М. Естественные колебания климата на временных масштабах порядка десятилетий // Фундаментальная и прикладная климатология. 2015. № 1. С. 78–95.
18. Delworth T., Manabe S., Stouffer R. J. Interdecadal variations of the thermohaline circulation in a coupled ocean – atmosphere model // J. Climate. 1993. V. 6. P. 1993–2011.

УДК 551.465

## **СЕЗОННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ТОЛЩИНЫ ИЗОТЕРМИЧЕСКОГО СЛОЯ В МИРОВОМ ОКЕАНЕ**

***Р. С. Салугашвили***

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

### **Введение**

Одной из основных задач исследования климата современности является выявление причинно-следственных связей между элементами климатической системы и климатообразующими факторами. Синхронные колебания температуры в удалённых между собой частях Земли нельзя объяснить простыми механизмами, и обуславливаются они дальними связями, генератором которых является главным образом океан. Океан является наиболее инерционной составляющей климатической системы Земли. Верхний слой перемешивания океана (перемешанный или изотермический) всего в несколько метров обладает большей теплоёмкостью, чем вся атмосфера Земли. Обменные процессы, происходящие на границе океана и атмосферы, зависят от толщины этого слоя и играют важнейшую роль в формировании глобального климата. Колебания толщины слоя перемешивания и его термического состояния влияют на изменчивость температуры поверхности океана (ТПО) и поглощение океаном атмосферного CO<sub>2</sub> [1].

Термическое состояние верхней части океана является важной характеристикой. Поэтому целью работы является исследование региональных и сезонных различий толщины изотермического слоя океана. Эти различия очень важны для понимания сезонных и межгодовых вариаций во взаимодействии океана и атмосферы.

### Исходные данные и методы анализа

Данные для расчёта среднемноголетних значений скорости ветра на поверхности океана высокого временного и пространственного разрешения взяты из [2] в формате netCDF3 и netCDF4. Данные о скорости ветра собраны системой дистанционного зондирования на основе спутниковых датчиков микроволнового радиометра. Поверхностные ветры над океаном, получаемые со спутниковых радиометров, представляют скорость ветра на высоте 10 метров. Были рассчитаны среднемесячные значения скорости ветра, осреднённые за 2004–2021 гг.; для примера приведена карта средней скорости ветра в январе (рис. 2).

В настоящей работе рассчитаны среднемесячные значения толщины изотермического слоя (ILD), осреднённые за период 2004–2021 гг., в узлах географической сетки. Затем построены карты этого распределения.

Изотермический слой рассчитывается на основе данных наблюдений, поступающих с дрейфующих буёв-профилировщиков Арго (Argo). Программа Арго рассчитана на то, чтобы охватить наблюдениями температуры и солёности весь океан в его верхних двух тысячах метрах, данные доступны [3]. Уже в конце 2007 года глобальная сеть Арго насчитывала около трёх тысяч свободно дрейфующих буёв с высоким пространственным разрешением приблизительно 300 км ( $3^\circ$  широты  $\times$   $3^\circ$  долготы).

Чтобы понять, как рассчитывается толщина перемешанного и изотермического слоёв, обратимся к терминологии. В зависимости от критериев, применённых для расчёта толщины перемешанного слоя, она может называться Mixed Layer Depth (толщина перемешанного слоя) или Isothermal Layer Depth (толщина изотермического слоя); в одних случаях они будут идентичны, а в других могут отличаться.

Есть несколько разновидностей методов расчёта толщины перемешанного слоя по данным профиля: пороговые методы, градиентный метод, регрессионные методы, интегральные методы и другие [4].

Наибольшее распространение получил пороговый метод за свою простую схему реализации. По вертикальному профилю температуры можно рассчитать изотермический слой, его глубина определяется, как глубина, на которой температура уменьшается на заданный порог от температуры на контрольном уровне. Как правило, контрольный уровень задаётся 10 метрами, чтобы исключить самый верхний слой, подверженный суточному перемешиванию. В этом методе используются различные температурные пороги, такие как 0,1; 0,2; 0,5; 0,8 °C.

В [5] рассматриваются критерии для расчёта перемешанного слоя как по профилям температуры, так и по профилям плотности. Было выявлено, что порог 0,2 °C является наиболее подходящим для оценки толщины перемешанного слоя океана по отдельным профилям. Согласно результатам данного исследования, максимумы MLD обнаруживаются в зимние месяцы в Северной Атлантике со значениями около 700 м в Гренландском море, Исландско-Норвежском регионе и до 550 м – в Лабрадорском море. А максимальные значения MLD в Южном полушарии наблюдаются в Южном океане между 45° и 60° ю.ш., где отмечается сезонный цикл с очень большими значениями MLD зимой, достигающими более 300 м, и минимальными летними MLD 70 м. Исследование проводилось за период с 1941 по 2002 год по данным механического батитермографа (MBT), расходного батитермографа (ХВТ), проводимость–температура–глубина (CTD) и профилирующих поплавков (PFL). Таким образом, оценка перемешанного слоя, основанная на температурном пороге, соответствует определению изотермического слоя.

Но толщина изотермического слоя (ILD) не всегда в точности соответствует толщине перемешанного слоя (MLD) из-за расслоения солёности. Есть районы Мирового океана, где толщина перемешанного слоя больше, чем толщина изотермического слоя [6]. В шельфовых, прибрежных районах из-за инверсий лучше использовать оценки MLD, рассчитанные по плотностному критерию, а выбор температурного порога должен быть различным для мелководных и глубоководных областей океана.

Свойства верхнего перемешанного слоя океана на региональном масштабе рассматривались ранее в [7, 8]. Из недавних статей, в которых исследуется изотермический слой, выделяются работы [9, 10], в которых показано ослабление термоклина и потепление верхнего изотермического слоя (ITL) в Мировом океане. Эти работы выполнены по данным NOAA/NCEI World Ocean Database (батитермограф – ХВТ), в них исследуется более длительный период – 1970–2017 гг., по сравнению с программой Argo, которая охватывает период 1999–2021 гг., но данные NOAA / NCEI имеют меньшее пространственное разрешение и хуже охватывают Южный океан. В этих работах внимание уделено изменению теплосодержания изотермического слоя, а пространственные особенности толщины изотермического слоя не рассматривались.

В [11] слой перемешивания океана рассматривается глобально, но результаты основаны на данных до 2002 года и опубликованы в 2004 году.

В [12] авторы работы указывают на то, что MLD, рассчитанная с помощью их гибридного алгоритма, как правило, более точна, чем MLD, рассчитанная с использованием порогового метода, в регионах с глубоким зимним перемешиванием. Но результаты, получаемые по данной базе данных, не в полной мере охватывают Южный океан, а также есть районы в Тихом океане, где данных недостаточно.

В [13] описывается не только методология и климатология, но ещё и сравниваются результаты с другими наборами данных. Эта работа основана на исходных данных, представленных Китайским центром данных Арго по интернет-адресу [14], ассимилирующих данные Арго, используя автоматические фильтры в реальном времени и с задержкой. Но, несмотря на применение различных критериев контроля данных, качество получаемых характеристик всё ещё не всегда достаточно хорошее. Особенно это относится к сетчатым наборам данных.

Так, сетчатые наборы данных с привязкой к сетке в основном основаны на оптимальной интерполяции, но данные Арго распределены неравномерно, это вызывает сложности для интерполяции таких данных без появления ошибок. Авторы [13]

уточнили классический метод Барнса, провели дополнительные этапы контроля качества данных, которые после проверки послужили основой для создания базы данных температуры и солёности BOA Argo с координатной привязкой на регулярную географическую сетку. На основе этой базы данных температуры рассчитывается толщина изотермического слоя (ILD) и другие производные величины.

Авторы базы данных в своей публикации описывают период с 2004 по 2014 год, сравнивают с другими базами данных о температуре и солёности, но географическое распределение толщины изотермического слоя (ILD) рассматривается лишь за 2009 год для сравнения с другими наборами данных.

Так как цель нашей работы – описать географические и сезонные особенности распределения толщины изотермического слоя (ILD), в отличие от работ, описанных выше, мы рассмотрим ILD на всём имеющемся интервале лет, поэтому продлили данные из [3], представленные в формате NetCDF, и получили массив данных ILD в узлах сетки в  $1^\circ$  с 2004 по 2021 год.

### **Результаты и обсуждение**

Толщина изотермического слоя (ILD) или толщина смешанного слоя (MLD) даже для одного и того же арго-профиля может отличаться, в зависимости от применённого метода для его расчёта. Но если расчёт (MLD) проводится по температурному критерию с постоянным температурным порогом, то MLD соответствует ILD. Перемешанный слой ещё называют верхним квазиоднородным слоем (ВКС).

Исследования выполнены по центральным месяцам экстремальных сезонов (январь: зима – в Северном полушарии, лето – в Южном; июль: лето – в Северном полушарии, зима – в Южном). Так как сезонные изменения в океане происходят с запаздыванием на 1–2 месяца, то дополнительно выполнены исследования по данным за март и сентябрь.

На карте (рис. 1.) показано глобальное распределение толщины изотермического слоя ILD (Isothermal Layer Depth), средние по месяцам данные, осреднённые за период с 2004 по 2021 год.

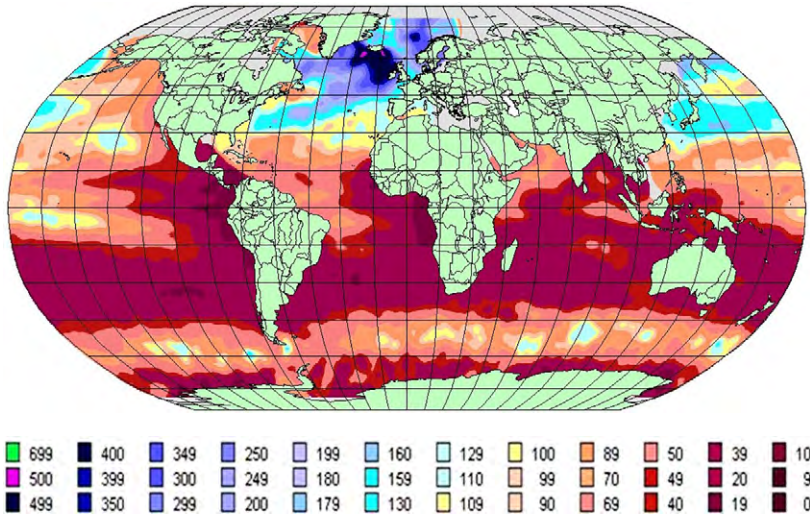


Рис. 1. Средняя за январь глубина изотермического слоя ILD за период 2004–2021 гг. в узлах сетки  $1^\circ \times 1^\circ$

В январе в Южном полушарии в широтном диапазоне от экватора до 45 параллели толщина изотермического слоя (ILD) достигает 10–50 метров.

Ещё южнее, после 45 параллели, вплоть до побережья Антарктиды, географические особенности толщины изотермического слоя (ILD) выражены более ярко. У побережья Антарктиды толщина ILD составляет 5–10 метров, а в широкой полосе южной части Атлантического, Тихого и Индийского океанов от 45 до 60 параллели толщина слоя достигает значений в 100–130 метров в середине. Область наибольших значений толщины слоя примерно совпадает с положением Антарктического циркумполярного течения.

В Северном полушарии в районе течения Куроиси значения толщины слоя достигают 100 метров, а в районе, где течение Куроиси переходит в Северо-Тихоокеанское течение, в интервале широт 30–45 градусов северной широты значения толщины изотермического слоя составляет от 100 до 160 метров.

Западнее побережья Северной Америки, в районе, где Калифорнийское течение уходит от континента, глубина слоя

составляет от 5–10 метров на юго-востоке и до 50–100 метров – в открытом океане, где начинается Северное пассатное течение.

Наиболее ярко видны на карте пространственные особенности толщины изотермического слоя в системе течений Северной Атлантики. В Мексиканском заливе ILD достигает 100 метров, а в районе течения Гольфстрим – 160–200 метров, с наибольшими значениями – до 500 метров – южнее Исландии между хребтом Рейкьянес и Великобританией, также большие значения толщины слоя выделяются в районе Норвежского течения, где ILD достигает 250 метров.

Между островом Исландия и Фарерскими островами находится так называемый Фарерско-Исландский порог. Проходя далее, Северо-Атлантическое течение превращается в Норвежское течение, а ответвление, проходящее вдоль южного побережья Исландии, называется течение Ирмингера, которое идёт вдоль Исландии к Гренландии. Территориальное положение областей с наибольшими значениями толщины изотермического слоя в Северной Атлантике повторяет траекторию течений.

В научной литературе указано, что одной из главных причин, формирующих основные течения Мирового океана, является ветровое воздействие.

Ниже, на рис. 2, показана скорость ветра по спутниковым данным на уровне 10 метров над океаном, осреднённая за 2004–2021 гг.

Как видно из рисунка, наибольшие средние значения скорости ветра в январе наблюдаются в тех же районах, в которых наблюдаются высокие значения толщины изотермического слоя. Это заметно в районе Гольфстрима, Северо-Атлантического течения, течения Ирмингера, Куроисио и Северо-Тихоокеанского течения, а также течения Западных Ветров. Минимумы скорости ветра наблюдаются в приэкваториальных широтах у западных побережий материков над течениями: Южное пассатное течение, Ангольское течение, Перуанское течение и муссонное течение в Индийском океане.

На рис. 3 представлено географическое распределение толщины изотермического слоя в марте.

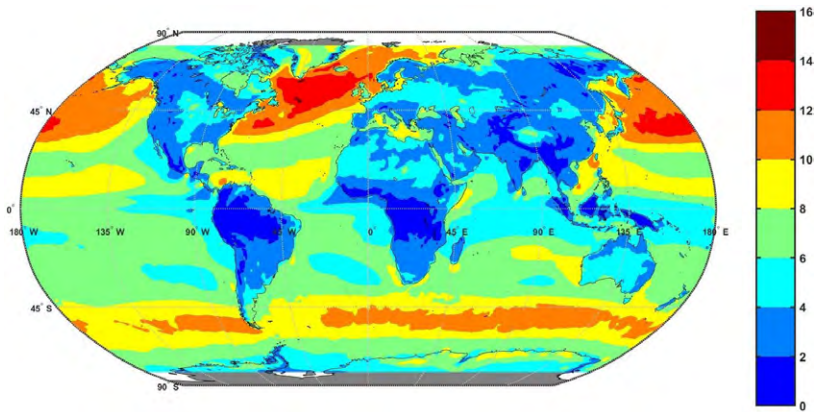


Рис. 2. Среднее значение скорости ветра в январе на высоте 10 м

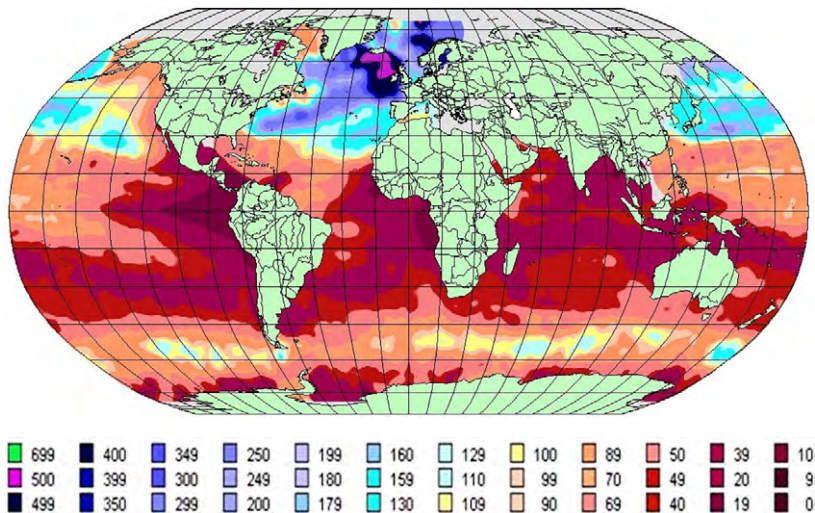


Рис. 3. Средняя за март изотермическая глубина слоя ILD за период 2001–2021 гг.

Сезонные особенности толщины изотермического слоя наиболее ярко выражены в марте. Все области на карте с большими значениями глубины слоя, отмеченные в январе, расширились, а сами значения глубины изотермического слоя увеличились.

В марте максимальные значения толщины изотермического слоя в Северном полушарии совпадают с положением течений Северной Атлантики и течения Курисио.

Наибольшая область по размеру и толщине слоя расположена в районе между о. Исландия и Великобританией. Там, где значения толщины слоя ILD в январе были около 250 метров, стали достигать 500 метров. Также большая толщина слоя – до 500 метров – наблюдается в районе Лофотенской котловины.

Большая толщина слоя – до 200 метров – наблюдается в районе холодного Канарского течения в Атлантическом океане и течения Курисио в Тихом океане.

В широтной зоне от 30° северной широты и до 45° южной широты толщина слоя небольшая (до 10–30 метров) во всех океанах. В приэкваториальных широтах в марте, в сравнении с январём, значительно уменьшилась широтная зона с малыми (5–10 метров) значениями глубины изотермического слоя. В этой зоне преимущественно небольшие скорости ветра, что благоприятствует малому перемешиванию верхнего слоя океана.

В литературе указывается одной из основных причин формирования течений ветровое воздействие, но проявляется оно в верхних слоях океана. В то же время в [15] американские исследователи указывают на то, что один из главных факторов перемешивания водных масс Южного океана у континентального шельфа Антарктиды и выхода глубинных вод на поверхность обуславливается топографией дна. Также это заметно на всём протяжении Антарктического циркумполярного течения Южного океана, где, как указывают авторы, происходит столкновение приполярных течений с поднятиями океанического дна вокруг Антарктиды.

Также из рис. 3 видно, что в районе Антарктического циркумполярного течения значения глубины изотермического слоя сохранили те же черты географического распределения, что и в январе (50–100 метров), лишь эта область расширилась в сторону Антарктиды. В июле во всём Северном полушарии толщина изотермического слоя не превышает 50–70 метров.

В Южном полушарии наиболее ярко проявляются все особенности распределения глубины слоя в сентябре, поэтому на рис. 4

показано географическое распределение толщины изотермического слоя за сентябрь, осреднённое за период 2004–2021 гг.

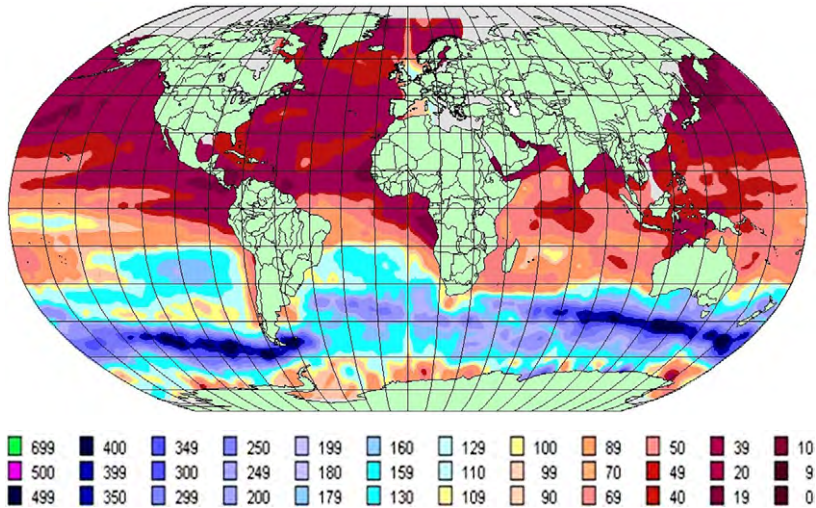


Рис. 4. Средняя за сентябрь изотермическая глубина слоя ILD за период 2004–2021 гг.

В сентябре, так же, как и в июле, на большей части Южного полушария глубина слоя ILD больше 70 метров. Но в южной части между 45° с.ш. и 60° с.ш. значения глубины слоя ILD составляют от 100 до 350 метров.

В районе Восточно-Тихоокеанского поднятия в сентябре, в сравнении с июлем, обширный очаг со значениями глубины ILD до 150 метров также расширился.

В целом наибольшие значения толщины слоя соответствуют местам прохождения течения над подводными хребтами в океанах (Срединно-Атлантический хребет, Западно-Индийский хребет, Австрало-Антарктическое поднятие).

На рис. 4 наибольшие значения толщины слоя видны в районах пересечения Антарктическим циркумполярным течением хребтов и их склонов южнее Австралии и Новой Зеландии. Оно пересекает Австрало-Антарктическое поднятие, поднятия южнее

Тасмании и Новой Зеландии (значения глубины изотермического слоя порядка 200–250 метров) на восточных долготах примерно на 130, 150 и 170 меридиане Южного полушария.

В Тихом океане западнее Южно-Антарктической котловины в широтной зоне между 45 и 65° ю.ш. расположена область, где толщина изотермического слоя составляет 150–200 метров.

В море Уэдделла и шельфовых водах вокруг Антарктиды всегда глубина слоя отличается от глубины слоя в центре течения Западных Ветров. Так как в море Уэдделла водные массы отделены от циркумполярного течения линией плавучих льдов и там образуется круговорот, причём он циклонический. Поэтому воды в море Уэдделла сильно перемешаны в верхних 90–100 метрах. Между Антарктическим циркумполярным течением и Антарктидой в прибрежной полосе свойства вод отличаются от Антарктического течения и направление движения противоположное (восточный ветровой дрейф).

После детального рассмотрения на всех картах видно, что районы крупных очагов с большими значениями толщины слоя ILD можно отнести к крупным океаническим течениям, более того прослеживается связь с расположением подводных хребтов и перепадов глубин, а также с областями с высоким значением скорости ветра над океаном. Особенно заметны очаги в системе течений Северной Атлантики, течения Куросио, течения Западных Ветров, а также немного менее выраженной является экваториально-тропической зона. В субтропических, а также в средних широтах хорошо выделяется заметный сезонный цикл, колеблющийся от 20–40 метров летом и до 140–200 метров – зимой. Максимальная толщина ILD в зимний сезон Северной Атлантики со значениями более 500 метров выделяется в Гренландском море, над хребтами между Гренландией и Исландией, а также западнее Норвегии и в Лабрадорском море. Ярко выраженный годовой ход ILD в этих регионах составляет более 150 м.

### **Заключение**

Полученные результаты за весь период – с 2004 по 2021 год – в сравнении с [5], в которой рассматривают период с 1941

по 2002 год, показывают, что по данным до 2002 года и после результаты согласуются. Региональные особенности изменения толщины перемешанного слоя между двумя периодами не рассматриваются, но общие черты характеризуются наличием больших значений толщины перемешанного слоя в Северной Атлантике, с максимальными значениями в районе Гольфстрима, Северо-Атлантического течения, в Тихом океане в районе Куроисио, а также в Южном океане между 45° и 60° ю.ш. Это значит, что толщина слоя сохраняет свои черты на всём интервале лет. В то же время, хотя общие черты сохраняются, авторы [10] заключают, что за рассматриваемый период – 1970–2017 гг. – происходит ослабление термоклина (кроме Южного океана), и в свою очередь потепление изотермического слоя ITL (в терминологии статьи), что, как указывают авторы, ослабление термоклина может играть роль в глобальном изменении климата в дополнение к парниковому эффекту атмосферы.

Таким образом, по результату работы выявлено, что глубина изотермического слоя по Мировому океану имеет региональные и сезонные особенности, описанные на всём доступном интервале лет программы Арго. Дополняя результаты научных публикаций других авторов, сделанных ранее, а также основываясь на других исходных данных, тем самым дополняя их результаты, в целом можно сказать, что региональные закономерности в многолетнем осреднении по сезонам сохраняют свои черты, что говорит об устойчивости факторов, их формирующих.

В Северных районах с глубокой конвекцией, в морях Лабрадор и Ирмингера, как и в районе Северо-Атлантического течения, важным элементом формирования изотермического и перемешанного слоёв является топография дна, скорость течения, господствующие ветры. Это характерно и для течения Куроисио. Как отметили авторы [15], одним из главных факторов перемешивания водных масс Циркумполярного течения является топография дна.

Также важным фактором перемешивания верхней части океана в районе основных течений является их скорость и расход, а также скорость ветра над океаном.

Для течения Гольфстрим характерна полугодовая цикличность максимальных скоростей в январе и июле, максимальный расход воды и тепла приходится на январь, апрель и август, а минимальный — на март, май и октябрь [16]. Расход Флоридского течения имеет максимум летом и минимумом в конце осени — начале зимы. Межгодовая изменчивость расходов Гольфстрима лишь на 50 % обусловлена низкочастотными колебаниями завихренности поля ветра в Субтропической Атлантике, но изменчивость потоков тепла на границе раздела океан—атмосфера не менее важна [17].

### **Выводы**

1. Наибольшие значения глубины изотермического слоя в целом совпадают с положением морских течений и частично — с районами максимальных ветров над океаном.

2. Самые большие по площади очаги, где значения глубины изотермического слоя больше 100 метров — наблюдаются в системе течений (Гольфстрим, Куроисио и Антарктического).

3. Наибольшие значения глубины изотермического слоя наблюдаются в районах пересечения морскими течениями поднятий рельефа океана и цепей островов, особенно у берегов Антарктиды.

4. Изменения глубины изотермического слоя в течение года в районе Гольфстрима и Антарктического течения противоположны. То есть во время зимы в Северном полушарии максимальные значения толщины слоя наблюдаются в районе Гольфстрима, а в районе Антарктического течения они наблюдаются в зимний сезон Южного полушария.

5. В районе Гольфстрима толщина изотермического слоя имеет большие значения с ноября по май.

6. В районе Антарктического течения весь год значения толщины изотермического слоя остаются большими, с минимумом в январе-феврале. Они также подвержены сезонной цикличности, как и в районе Гольфстрима, но наиболее выраженное увеличение глубины слоя происходит с апреля по декабрь.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Kraus E. B., Businger J. A. Atmosphere – ocean interaction. Oxford University Press. 2<sup>nd</sup> edition, 1995. P. 362.
2. Wentz, F. J., Scott J., Hoffman R., Leidner M., Atlas R., Ardizzone J., 2015: Remote Sensing Systems Cross-Calibrated Multi-Platform (CCMP) 6-hourly ocean vector wind analysis product on 0,25 deg grid, Version 2.0.
3. URL: <http://www.argo.ucsd.edu/> (дата обращения: 15.01.2022).
4. Thomson R., Fine I. (2003). Estimating Mixed Layer Depth from Oceanic Profile Data // J. of Atmos. and Oceanic Technology – J. ATMOS. OCEAN TECHNOL. 20. DOI: [https://doi.org/10.1175/1520-426\(2003\)020<0319:EMLDFO>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-426(2003)020<0319:EMLDFO>2.0.CO;2).
5. De Boyer Montégut C., Madec G., Fischer A. S., Lazar A., Iudicone D., 2004: Mixed layer depth over the global ocean: An examination of profile data and a profile-based climatology // J. Geophys. Res. 2004. V. 109. C12003, <https://doi.org/10.1029/2004JC002378>.
6. Lindstrom E., Lukas R., Fine R., Firing E., Godfrey S., Meyers G., Tsuchiya M., 1987: The Western Equatorial Pacific Ocean Circulation Study // Nature. V. 330. P. 533–537.
7. D’Ortenzio F., Iudicone D., de Boyer Montégut C., Testor P., Antoine D., Marullo S., Santoleri R. et al. 2005. Seasonal variability of the mixed layer depth in the Mediterranean Sea as derived from in situ profiles // Geophys. Res. Lett. V. 32 (12). P. 1–4.
8. Keerthi M. G., Lengaigne M., Drushka K. et al. Intraseasonal variability of mixed layer depth in the tropical Indian Ocean. Clim Dyn 46, 2633–2655 (2016). <https://doi.org/10.1007/s00382-015-2721-z>.
9. Chu P. C., Fan C. Global ocean synoptic thermocline gradient, isothermal-layer depth, and other upper ocean parameters. Sci Data 6, 119 (2019). <https://doi.org/10.1038/s41597-019-0125-3>.
10. Chu P. C., Fan C. World Ocean Thermocline Weakening and Isothermal Layer Warming // Appl. Sci. 2020. V. 10(22):8185. <https://doi.org/10.3390/app10228185>.
11. Clément de Boyer Montégut, Gurvan Madec, Albert S. Fischer, Alban Lazar, Daniele Iudicone. Mixed layer depth over the global ocean: An examination of profile data and a profile-based climatology // J. of Geophys. Res., American Geophysical Union. 2004. V. 109. P. C12003. <https://doi.org/10.1029/2004JC002378>.
12. Holte J., Talley L. D., Gilson J., Roemmich D. An Argo mixed layer climatology and database // Geophys. Res. Lett. 2017. V. 44. P. 5618–5626, DOI: 10.1002/2017GL073426.

13. *Li, Hong & Xu, Fanghua & Zhou, Wei & Wang, Dongxiao & Wright, Jonathon & Liu, Zenghong & Lin, Yanluan.* (2017). Development of a global gridded Argo data set with Barnes successive corrections // *J. of Geophys. Res.: Oceans*. <https://doi.org/10.1002/2016JC012285>.
14. URL: <http://www.argo.org.cn/>(дата обращения: 17.01.2022).
15. *Ruan X., Thompson A., Flexas M. et al.* Contribution of topographically generated submesoscale turbulence to Southern Ocean overturning. *Nature Geosci.* V. 10. P. 840–845 (2017). <https://doi.org/10.1038/ngeo3053>.
16. *Смирнов Н. П.* Сезонные вариации в деятельности системы Гольф-стрим // *Проблемы Арктики и Антарктики*. Вып. 22. Л., 1966. С. 43–51.
17. *Водные массы и переносы тепла в Северной Атлантике / С. Б. Крашенинникова.* Симферополь: ИТ «АРИАЛ», 2019. 124 с.

УДК 551.46.06:681.3.06

## ПРАКТИЧЕСКАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ МОРСКОГО КЛИМАТИЧЕСКОГО СПРАВОЧНИКА НА ПРИМЕРЕ ЧЁРНОГО МОРЯ

**А. А. Воронцов<sup>\*1</sup>, В. М. Грузинов<sup>\*\*4</sup>, С. А. Баталкина<sup>\*2</sup>,  
А. М. Булыгин<sup>\*\*5</sup>, Г. И. Нефёдова<sup>\*3</sup>**

<sup>\*</sup> ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский институт  
гидрометеорологической информации – Мировой центр данных»,  
<sup>1</sup> av10921@meteo.ru, <sup>2</sup> slim@meteo.ru, <sup>3</sup> gin@meteo.ru;

<sup>\*\*</sup> ФГБУ «Государственный океанографический институт»,  
<sup>4</sup> gruzinov@oceanography.ru, <sup>5</sup> bam524@mail.ru

### Введение

Изменения климата в течение последних десятилетий определили актуальность и значимость режимно-справочных изданий, особенно тех, которые оценивают гидрометеорологические характеристики для последнего тридцатилетия.

В концепции [1] морского климатического справочника (МКС) на основе анализа потребностей пользователей гидрометеорологической информацией, положений различных руководящих документов (РД) и рекомендаций Всемирной метеорологической организации (ВМО)[2] был разработан инструментарий для визуального представления климатических и обобщённых характеристик морской среды для обеспечения различных сфер деятельности (строительство, транспортные операции, добыча углеводородов, портовая деятельность, рыболовство, энергообеспечение прибрежных территорий и др.).

При принятии решений о наполнении справочника изначально предполагалось поместить не только результаты обобщений, но и текущее состояние выбранного объекта.

Однако преобладал, как нам кажется, здравый смысл, и справочник разделили на два независимых издания: морской

климатический справочник (МКС) с многолетними обобщениями и ежегодное справочное издание – гидрометеорологический бюллетень с текущими характеристиками по выбранному морю [3].

В настоящее время выполнена практическая реализация всех основных положений проекта МКС как по видовому составу, так и по наполненности статистическими характеристиками выбранных параметров.

### **Создание макета морского климатического справочника**

На первом этапе разработки, на котором должен быть сформирован МКС с традиционными гидрометеорологическими параметрами, было выполнено макетирование справочника.

Необходимо отметить, что создание макета и практическая реализация МКС по выбранному морю основано на ряде требований, среди которых основные – информационные, функциональные и технологические.

#### *Информационные требования:*

- максимально возможное использование всех доступных источников для формирования информационных основ;
- полноценная информационная полнота;
- максимальное удовлетворение запросов потребителей.

#### *Функциональные требования:*

- максимально достижимое информационное обеспечение морской деятельности в регионе с учётом специфики выполняемых работ (судоходство, портовое строительство, портовая деятельность, включая логистику грузов и др.);
- удобный и интуитивно понятный интерфейс при использовании.

#### *Технологические требования:*

- унифицированное представление информационной продукции;
- использование принятых в РФ топооснов для отображения тематических картографических материалов.

#### *Технические требования:*

- использование определённого комплекса технических средств;

- применение специализированных программных средств поддержки функционирования МКС.

Именно на основе всех вышеприведённых требований были разработаны проектно-технологические решения по реализации МКС.

В макет, помимо раздела «Общие сведения», в который помещена информация по истории изучения моря, его географическому описанию, геолого-морфометрическим характеристикам и описанию климата региона, помещены разделы с расчётной информацией по метеорологии, гидрологии моря, ледовым условиям, гидрохимии и загрязнению.

В тематических разделах, например «Метеорология», для каждого параметра в разделе (температура воздуха, скорость ветра, атмосферное давление, горизонтальная видимость и т.п.) организованы подразделы по прибрежной зоне и открытой части моря.

Поскольку МКС ориентирован на различных потребителей (исследователей, специалистов-практиков судоходства, навигации, строительства в прибрежной зоне, разведки и добычи МПИ, рыболовства и др.), то в нём приводятся не только средние значения (среднее многолетнее значение, среднемесячное, среднесезонное и т.п.), но и различные вероятностные характеристики, такие как среднее квадратическое отклонение, коэффициенты асимметрии и эксцесса, оценки параметров изменчивости, оценки повторяемости и обеспеченности и др.

Ниже для примера приведён типовой перечень для отдельно взятого параметра (температура воды):

- экстремумы за многолетний период и за 1991–2020 гг.;
- стандартная статистика за многолетний период и за период 1991–2020 гг. по месяцам, сезону, году;
- статистика малых выборок за многолетний период – за 1991–2020 гг. – по месяцам, сезону, году;
- повторяемость, обеспеченность;
- аномалии за многолетний период и за 1991–2020 гг.

В справочнике приводятся как общепринятые характеристики, получаемые за весь период наблюдений, так и обновляемые

каждое десятилетие нормы гидрометеорологических характеристик за современный климатический период (30 лет, предшествующих текущему десятилетию).

В настоящее время для периода с 2021 по 2030 год норма рассчитывается за современный климатический период с 1991 по 2020 год включительно (решение о внедрении этой нормы принято на 16-й сессии Комиссии ВМО по климату, проходившей 3–8 июля 2014 года в г. Гейдельберге).

Результаты макетирования интерфейса электронного МКС показаны на рис. 1 и 2.

Рис. 1 представляет общий вид справочника, в котором используются левая вертикальная панель выбора характеристик и верхняя горизонтальная панель выбора станции, для которой даны расчётные табличные и графические материалы.

Рис. 2 иллюстрирует реализацию меню выбора статистических характеристик выбранного параметра (для примера взят уровень моря).

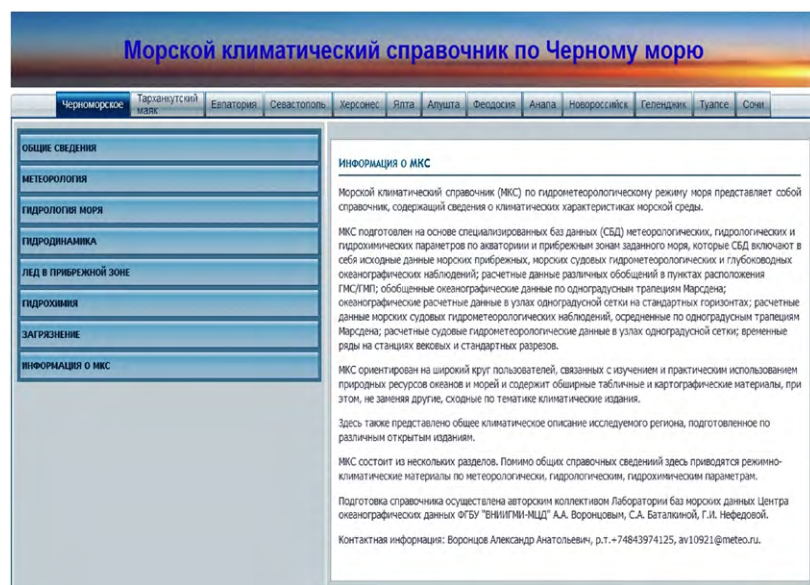


Рис. 1. Вид панели управления электронным справочником



Рис. 2. Вид панели выбора статистик в МКС для уровня моря

Как видно из рис. 2, в подраздел собраны все расчётные характеристики для различных потребителей:

- учёных: экстремумы, стандартная статистика, статистика малых выборок, повторяемость и обеспеченность уровня;
- проектировщиков: экстремумы, стандартная статистика, статистика малых выборок, повторяемость и обеспеченность уровня, редкие обеспеченности уровня;
- судоводителей: экстремумы, стандартная статистика, повторяемость и обеспеченность уровня, особенно за навигационный период;
- для портовой деятельности, включая погрузочно-разгрузочные работы: стандартная статистика, повторяемость и обеспеченность уровня.

Необходимо отметить, что ряд проектных решений по МКС всё ещё не получил практической реализации. В планах реализации МКС было определено, что будет деление по наполнению

справочника отдельными материалами с ориентацией на различных пользователей (исследователей, проектировщиков, судоводителей и т.д.). Пока эта задача находится в стадии решения, поскольку очень много пересечений и повторов в представлении материалов, например средние характеристики требуются почти всем, и их либо надо повторять, либо потребителям самим надо осуществлять поиск нужных им данных и информации. И пока нет решений, вся доступная информация помещена в один подраздел (например характеристики по уровню находятся в одном подразделе).

Типовой подход принят для основных подразделов. Особняком отстоит «Загрязнение», где набор характеристик и представление информации отличается от основных подразделов (рис. 3).

В тематических подразделах (метеорология, гидрология моря, гидрохимия, ледовые условия, гидродинамика) в основном принято табличное представление материала (рис. 4), дополненное тематическими картами средних и экстремальных значений параметров.

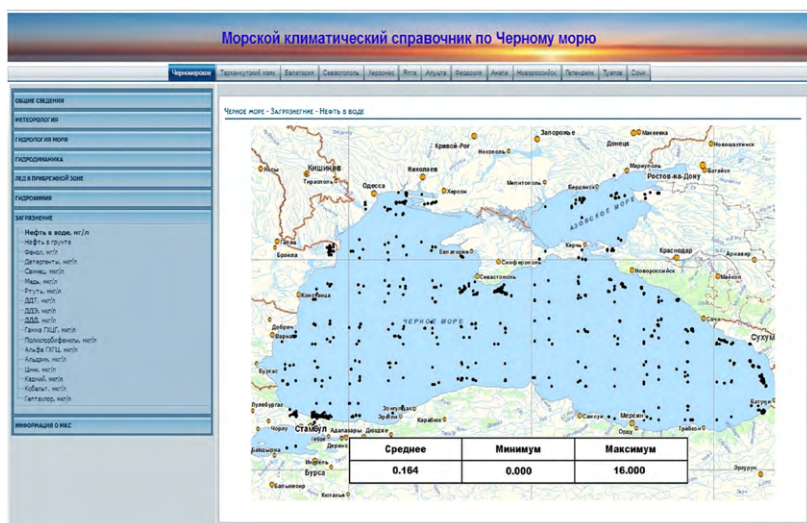


Рис. 3. Вид представления данных в МКС по загрязнению

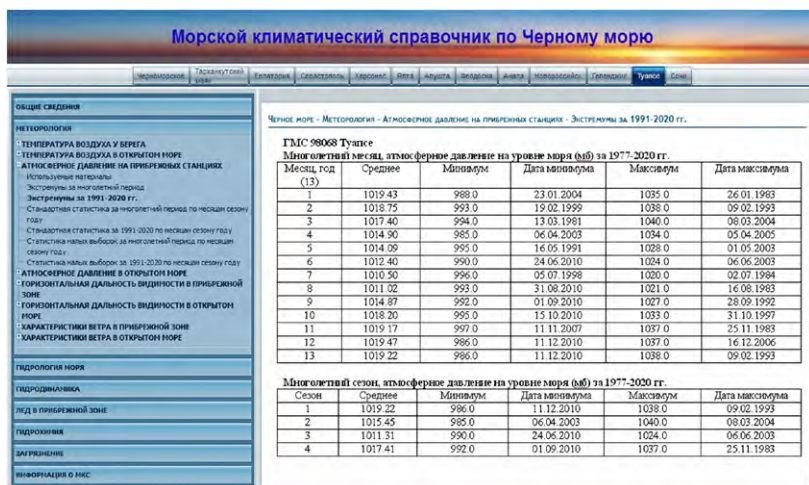


Рис. 4. Табличное представление данных в МКС

Помимо описанных ранее характеристик, в МКС далее будут добавлены тренды или тенденции изменения выбранных гидрометеорологических параметров за последние 10–15 лет. Надо сказать, что в настоящее время нет нормативных и руководящих документов, полностью регламентирующих перечень характеристик и статистических параметров режимного состояния морской среды, хотя по отдельным отраслям существуют нормативы (например СНИП для строительства).

В целом, по нашему мнению, создаваемый справочник будет полезен и востребован специалистами основных видов морской деятельности: мореплавания, строительства и эксплуатации портовых сооружений, рыбного хозяйства, изысканий и эксплуатации морских месторождений ископаемых (в первую очередь углеводородов).

МКС – электронный справочник, поэтому он будет помещён на сайте Центра океанографических данных (<http://nodc.meteo.ru/ERSP/scrblack/>) в разделе, где помещена режимно-справочная информация по морям России, которая пользуется повышенным вниманием пользователей и находит своё практическое применение. Надо отметить, что применение комплексных

справочников такого рода становится одним из важнейших условий успешного выполнения различных работ, связанных с морской деятельностью.

Как отмечалось ранее, вначале на сайт будет помещён макетный вариант. После его апробации, редактирования и дополнения он будет заменён на полный МКС по Чёрному морю. В дальнейшем, в соответствии с плановыми работами, будут созданы МКС по другим морям – Азовскому, Каспийскому, Балтийскому.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Воронцов А. А., Грузинов В. М., Булыгин А. М.* Развитие режимно-справочных пособий по морской природной среде для информационного обеспечения морской деятельности // Труды «ВНИИГМИ-МЦД». 2021. Вып. 187. С. 205–223.
2. *Руководящие указания ВМО по расчёту климатических норм.* Женева: Изд-во ВМО, 2017. № 1203. 32 с.
3. *Грузинов В. М. и др.* / В. М. Грузинов, А. М. Булыгин, С. А. Баталкина, Г. И. Нефёдова, А. А. Воронцов, А. В. Григорьев, Н. Н. Дьяков, И. М. Кабатченко, А. Е. Липченко, Ю. А. Мальченко, А. В. Холопцев, И. В. Мезенцева, Т. Н. Копейкина // Бюллетень гидрометеорологического состояния Чёрного моря в 2020 году. Обнинск: Артифекс, 2021. 877 с.

УДК 551.501

## **РАЗРАБОТКА ПРИКЛАДНЫХ СЕРВИСОВ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ МОРСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ЕДИНОЙ ГОСУДАРСТВЕННОЙ СИСТЕМЫ ИНФОРМАЦИИ ОБ ОБСТАНОВКЕ В МИРОВОМ ОКЕАНЕ**

**Д. А. Мельников<sup>1</sup>, Н. Н. Михайлов<sup>2</sup>, Е. Д. Вязилов<sup>3</sup>**

*ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский институт  
гидрометеорологической информации – Мировой центр данных»,  
<sup>1</sup> melnikov@meteo.ru, <sup>2</sup> nodc@meteo.ru, <sup>3</sup> vjaz@meteo.ru*

### **Введение**

При осуществлении морской деятельности потребности в надёжном и удобном потребителю преставлении гидрометеорологической и иной информации об обстановке в Мировом океане возникает на всех уровнях – от руководителей до специалистов органов государственной власти, организаций, проектных учреждений, портов, судов и т.п. В контексте решения этих задач информационными системами и комплексами гидрометеорологического обеспечения морской деятельности (ГМОМД) отметим несколько нерешённых проблем.

Во-первых, средства поддержки принятия решений информационных систем, где обычно осуществляется визуализация данных, требуют интегрировать данные от различных источников, что ведёт к многократному повышению их объёмов и разнородности. Даже при условии применения правильной трансформации данных в универсальную модель наблюдается пропорциональное усложнение процесса поиска данных и последующей работы с ними в силу объёма и комплексности содержания данных.

Во-вторых, расширение состава пользователей вследствие цифровизации предприятий различного уровня и повышения охвата Интернетом населения ведёт к увеличению спектра запросов на информацию. Информационное обслуживание вынуждено становиться персонализированным и клиентоориентированным,

заимствуя соответствующие успешные практики из других сфер деятельности.

В-третьих, для принятия обоснованных решений недостаточно отображения данных «как они есть» и требуется их обогащение путём предобработки по алгоритмам статистики и моделирования интерактивного подключения дополнительных данных, например, прогностической или климатической информации в режиме онлайн.

Цель настоящей статьи состоит в рассмотрении решений по построению прикладных сервисов гидрометеорологического обеспечения морской деятельности и их апробации в Единой государственной системе информации об обстановке в Мировом океане (ЕСИМО) [1].

Потребности в предоставлении потребителям информации об обстановке в Мировом океане объёмного по функционалу и одновременно простого, интуитивно понятного визуального интерфейса для работы с данными в области гидрометеорологии и морской среды определяют актуальность статьи.

## **1. Методы и средства гидрометеорологического обеспечения морской деятельности**

ГМОМД осуществляется преимущественно морскими научными учреждениями (НИУ) и территориальными управлениями гидрометеорологической службы (УГМС) Росгидромета. Для решения задач ГМОМД обычно используются отдельные массивы или базы данных [8, 10, 13] в различных форматах данных. Геоинформационные системы (ГИС), наиболее масштабно применяемые в области обработки и представления гидрометеорологических данных, представлены в [9, 11]. Ведутся исследования по созданию интерактивной доски на основе формата вычисляемых документов [12].

Одним из важнейших подходов по организации комплексной обработки распределённых и неоднородных данных является их предварительная интеграция. Такие подходы используются в следующих системах [7, 14, 15].

В последние годы интенсивно ведутся работы по цифровизации отраслей экономики России [2] и предоставления для информационного обслуживания соответствующих цифровых технологий. В применении к ГМОМД эта задача реализуется посредством создания цифровой платформы ЕСИМО [3].

Состав и содержание ГМОМД (цифрового в том числе) в формальном плане определяются руководствами и наставлениями ВМО и Росгидромета, например [4]. В процессе цифровой трансформации спецификации и средства ГМОМД систематизируются и переводятся в цифровой вид (в формат цифровых объектов) для многократного применения в бизнес-процессах потребителей. На их основе формируется реестр прикладных задач цифрового гидрометеорологического обеспечения морской деятельности средствами ЕСИМО.

Прикладные сервисы классифицируются по видам морской деятельности: транспортная инфраструктура и операции; рыболовство; поиск и спасение на море; оборона морских границ; спорт и отдых. Процессы их реализации выполняются наборами прикладных сервисов ЕСИМО в применении к каждой задаче.

## **2. Решения по построению прикладных сервисов обслуживания пользователей ЕСИМО**

### **2.1. Общие положения**

Интерфейс прикладных сервисов ЕСИМО должен быть доступен по сети Интернет широкому кругу пользователей, что требует его развёртывания на основе веб-сервера приложений.

Для использования интегрированных данных прикладной сервис должен иметь соединение с базой данных или с другими источниками данных, например с веб-сервисами данных. Параметры отбора информации для предоставления пользователям из общего набора данных должны быть гибкими и настраиваться на пользователя. Для этого требуется, во-первых, интерфейс настройки профилей данных администратором, во-вторых, алгоритм автоматической настройки на пользователя, поскольку

администратор физически не может производить настройки на весь спектр пользовательских запросов.

Настроенный профиль данных затем используется как источник при обработке всех последующих запросов пользователей. Сами запросы пользователя не должны подаваться через сложную форму с множеством полей и специфических терминов. Количество интерфейсных элементов должно быть минимизировано до выбора самых необходимых. В идеале это должна быть строка текстового поиска с подсказкой, которая работала бы на основе обученного искусственного интеллекта обработки текстовых запросов на ГМО, чат бота или аналогичного модуля. Поскольку ГМО привязано к географии, то также обязательным элементом интерфейса является карта с возможностью навигации и геолокации, построенная на основе какой-либо динамической библиотеки ГИС для интернет-браузеров. Через одну и ту же карту можно как подавать запросы (путём выбора объектов на карте), так и получать результат в виде слоёв точек, изолиний, областей или поверхностей.

Поскольку пользователю может потребоваться подробная информация, то необходимо предусмотреть вызов табличного модуля отображения данных от карты и модуля скачивания данных. Также необходим модуль отображения графиков, поскольку большинство наблюдаемых или рассчитанных параметров являются временными рядами, которые привычно представлять на графике.

Определённый круг задач требует представления информации об уровне опасности или превышении какого-либо предельного значения. Для отображения таких величин нужно использовать элементы интерфейса с цветовой индикацией, которые выглядят как приборные панели со стрелкой, термометры, светофоры. Подобные элементы общеприняты для этих задач, поэтому воспринимаются пользователем быстрее.

Такая совокупность визуальных форм отображения позволяет предоставить пользователю информацию из профиля данных в наиболее удобной форме для каждой конкретной информации.

Чтобы не только отображать существующие данные, но и рассчитывать на их основе новые в режиме онлайн, требуется также дать доступ пользователю к расчётным инструментам. Вызов таких

инструментов может быть реализован в виде панели инструментов с кнопками, а вызов инструментов осуществляет обращение к серверу, веб-сервису или микросервису в облаке, осуществляющему расчёт с помощью асинхронного javascript-запроса. Результат расчёта характеристики затем выводится в виде таблицы или графика.

Представленные выше базовые решения по построению прикладных сервисов ГМОМД представлены в виде общей схемы функционирования сервисов, помещённой на рис. 1. Здесь выделяются интерфейс администратора и интерфейс пользователя, которые затем включают в себя различные интерфейсные модули.

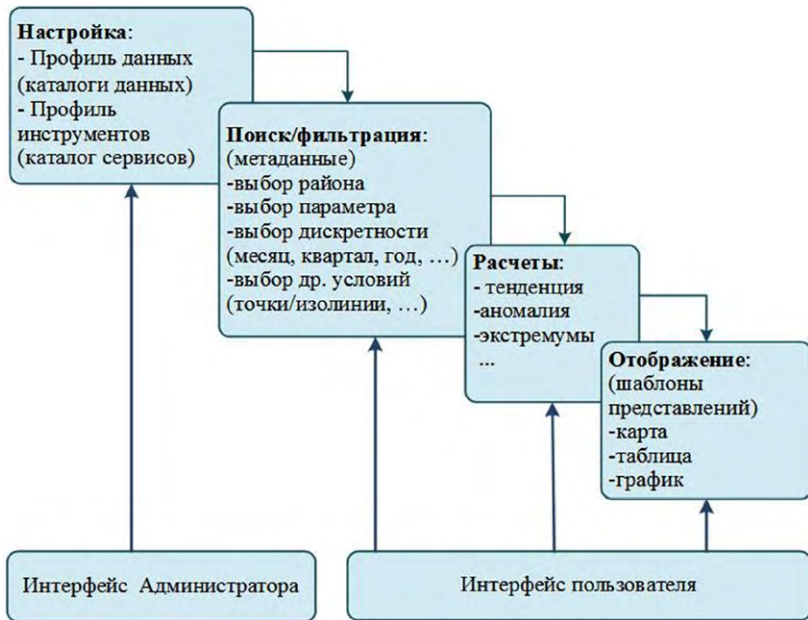


Рис. 1. Общая схема функционирования прикладной задачи [16]

Вид визуального интерфейса прикладного сервиса представлен на рис. 2. Поисковые функции осуществляются на панели слева, выбор времени – на панели снизу, панель инструментов – вверху, карта – посередине и занимает максимально возможное пространство. Такое расположение принято в популярных картографических

сервисах, таких как Google map или Яндекс карты, поэтому является привычным для широкого круга пользователей.

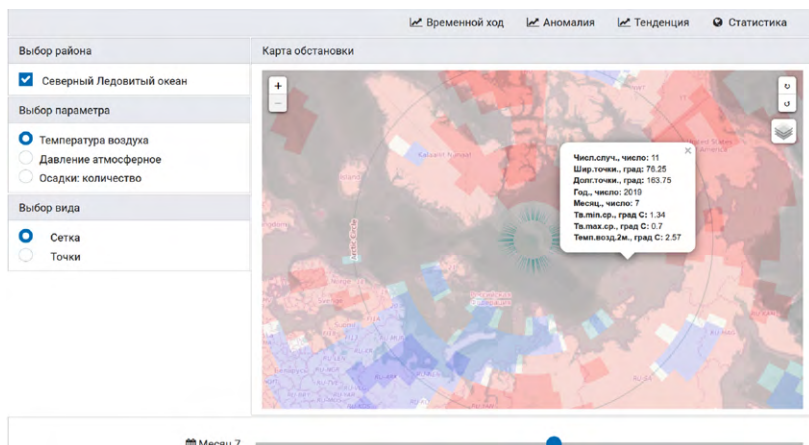


Рис. 2. Пример экранной формы прикладной задачи

## 2.2. Объединение и отображение данных

Настройка профиля данных позволяет на основе просмотра метаданных автоматически выбрать из каталога необходимые наборы данных методом поиска соответствий наборов данных для выполняемой прикладным сервисом задачи. На основе выбора района, параметров и других поисковых атрибутов подбирается список наборов данных, на основе которых производится как стандартная визуализация отдельных наборов в виде карты, графика и таблицы, так и сложная интерпретация выбранных данных с возможностями:

- расчёта тенденций изменения параметров, аномалий от климатических значений, обобщения в более высоком временном обобщении (от месяца до года), экстремальных значений параметров;
- визуализации карт как загруженных ИР, так и расчётных значений (тенденций, аномалий, экстремальных значений, обобщённых значений и других);

- визуализации графиков для тенденций, аномалий, экстремальных значений в виде изолиний, полигонов, центров барических образований, центров падения и роста давления на основной карте;
- визуализации таблиц с индикацией значений по пороговым значениям уровня опасности.

Если данные представляют более широкий географический район, то за счёт настройки прикладного сервиса на район, параметр(ы), масштаб пространственного и временного разрешения, тип представления (точка, полигон, траектория, профиль) для каждого прикладного сервиса будет выбираться или отфильтровываться поднабор данных. В дальнейшем необходимо предусмотреть возможность подключения собственных массивов данных пользователя к прикладным сервисам.

### ***2.3. Расчётные инструменты прикладных сервисов***

На основе имеющихся данных с помощью сервисов производится расчёт статистических характеристик средних, экстремумов, тенденций, аномалий, вычисляемых значений параметров. Для наблюдаемых, рассчитанных и прогностических значений параметров производится индикация уровня опасности по их пороговым значениям. Для реализации используется панель инструментов. Примерами инструментов являются метеомонитор погоды в точке, метеограмма – график изменения параметров по любой траектории, прогноз в точке или области, расчёт тенденций, аномалий в точке, по траектории или области. В зависимости от типа данных на панели инструментов появляются кнопки: анимация за назначенный период, расчёт характеристик, просмотр графиков, метеограмма, редактор отчёта, подписка, метаданные.

Форма визуализации данных зависит от типа данных, отмеченного в метаданных (точка, сетка, профиль, каталог объектов); типа платформы (фиксированная точка – можно производить обобщение данных для временного ряда; дрейфующая платформа – строится изменение параметров по траектории); наличия географических координат (можно строить пространственное распределение значений параметров в виде изолиний или полигонов); наличия

даты, времени (можно строить временной ряд). Например, для фиксированной точки и наличия атрибутов даты (времени) можно строить график временного хода. Раздел «Графики» включает построение нескольких графиков временного хода в разных точках для сравнения. При наличии координат данные могут быть представлены в ГИС в виде точек, траекторий, полигонов; профилей (вертикальный профиль изменения параметров среды по высоте или глубине). С помощью каталога пространственных объектов с координатами и временем можно спутниковые изображения нанести на карту. Раздел «Отчёты» формируется на основе выделения необходимых карт, графиков, таблиц и оформляется соответствующим поясняющим текстом. Для ускорения получения отдельных уже готовых результатов используются «Горячие клавиши», с помощью которых можно получить список актуальных опасных явлений (ОЯ), посмотреть значения пороговых значений показателей, показать результаты мониторинга работы системы, имеющиеся отчёты по прикладным сервисам.

Предоставление расчётов онлайн может осуществляться за счёт асинхронного обращения к веб-сервисам расчётов, которые производят расчёты по исходным данным, используемым в профиле данных прикладного сервиса и затем сразу отдадут результат. Важно, чтобы алгоритм работы таких веб-сервисов позволял им выполняться достаточно быстро, чтобы пользователь не находился в ожидании.

#### **2.4. Персонализация прикладных сервисов**

Для персонализации прикладных сервисов выделяются следующие типы пользователей: физическое лицо, юридическое лицо (предприятие), орган государственной власти.

Категории объектов, для которых прикладные сервисы предоставляют информацию пользователям: точечный объект, траектория или маршрут движения, произвольная область, существующий административный или географический район, границы которого описаны в соответствующем справочнике.

Настройки профиля данных прикладного сервиса и набора инструментов в прикладном сервисе и их входные параметры по

умолчанию задаются в зависимости от категории пользователя и объекта.

Для поддержки решений расчётные инструменты прикладных сервисов необходимо связать с базой знаний, которая содержит рекомендации о действиях в той или иной ситуации для каждого конкретного типа пользователя и объекта [11]. Характер ситуации определяется полученной из профиля данных или рассчитанной с помощью инструментов совокупностью параметров. Подбор рекомендаций из базы знаний осуществляется с помощью искусственного интеллекта автоматически, пользователь или эксперт не участвует в этом процессе.

Результаты выборки данных, расчёта параметров или рекомендаций из базы знаний могут быть доставлены пользователю по подписке (если данные прикладных сервисов обновляются регулярно). Для подписки используется доставка файлов данных на ftp или e-mail и оповещений в виде push-уведомлений на мобильный телефон.

### **3. Примеры прикладных сервисов**

Полигоном для апробации решений по построению прикладных сервисов ГМОМД стал российский сегмент Интегрированной системы наблюдений в Арктике (ИСНА), который создан в 2019–2020 гг. в рамках совместных работ российских организаций с организациями стран Европейского союза по программе HORIZON-2020. Разработки осуществлены на базе программных и информационных средств и технологий ЕСИМО, при этом сценарий адаптации определял российскому сегменту ИСНА статус самостоятельного информационно-технического узла, взаимодействующего с ИСНА и ЕСИМО [5, 6]. На примере российского узла ИСНА реализовано несколько прикладных сервисов прикладной задачи по исследованию климата Арктики – мониторинг опасных природных явлений (ОЯ); оценки климата; мониторинг климата; долгосрочное прогнозирование; транспортные операции [10]. Ниже представлено их формализованное описание.

**Прикладной сервис «Мониторинг опасных явлений».** Предназначен для получения показателей интенсивности ОЯ различных

направлений за последний месяц, год в Северном Ледовитом океане и отдельных регионах (морях) в различных временных масштабах (месяц, сезон).

Описание функций: получить оценку изменения количества ОЯ во всём Арктическом регионе и арктических морях по месяцам; выделить штормовые зоны на основе скорости ветра, высоты ветрового волнения, сплочённости льда; визуализировать информационную продукцию в виде интерактивных карт, графиков, таблиц с возможностью быстрого перехода на другие представления во времени, индикации значений параметров по их пороговым значениям, возможности просмотра значений параметров в любой точке карты.

Параметры: ветер (скорость), давление атмосферное на уровне моря, лёд плавучий: общая сплочённость, температура поверхности воды, уровень моря.

Потенциальные пользователи: организации Росгидромета – Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, Северное. Мурманское, Якутское УГМС, организации, эксплуатирующие буровые платформы на шельфе морей.

**Прикладной сервис «Оценка климата».** Предназначен для получения оценок изменения климата в Арктике и отдельных морях в различном временном масштабе (месяц, год, многолетние обобщения).

Описание функций: получить сведения об изменчивости параметров окружающей среды в виде аномалий, средних и экстремальных значений в точке и для макрорайонов; визуализировать информационную продукцию в виде интерактивных карт, графиков, таблиц с возможностью быстрого перехода на другие представления во времени, индикации значений параметров по их пороговым значениям, возможности просмотра значений параметров в любой точке карты.

Параметры: температура воздуха, ветер (скорость), солёность воды, видимость горизонтальная, температура воды, высота ветровых волн, давление атмосферное.

Потенциальные пользователи: Арктический региональный климатический центр России, Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, Гидрометцентр России, УГМС.

**Прикладной сервис «Мониторинг климата».** Предназначен для получения показателей изменения климата в Арктике и отдельных морях в различном временном масштабе (месяц, сезон, год, многолетние обобщения).

Описание функций: получить показатели изменения климата в виде значений средних и экстремальных значений, аномалий, тенденций в точках сетки и для макрорайонов; визуализировать информационную продукцию в виде интерактивных карт, графиков, таблиц с возможностью быстрого перехода на другие представления во времени, индикации значений параметров по их пороговым значениям, возможности просмотра значений параметров в любой точке карты.

Параметры: температура воздуха, давление атмосферное, осадки (количество), площадь арктических льдов.

Потенциальные пользователи: Арктический региональный климатический центр России.

**Прикладной сервис «Долгосрочное прогнозирование».** Предназначен для получения сведений об изменчивости климата в Арктике.

Описание функций: рассчитать показатели изменения климата в виде значений средних и экстремальных значений, аномалий, тенденций в точках сетки и для макрорайонов; построить месячные карты изменения аномалий температуры воздуха за последний год и её прогноз на три месяца и сезон; визуализировать информационную продукцию в виде интерактивных карт, графиков, таблиц с возможностью быстрого перехода на другие представления во времени, индикации значений параметров по их пороговым значениям, возможности просмотра значений параметров в любой точке карты.

Параметры: сроки разрушения и замерзания льда, сплочённость льда прогнозная, сплочённость льда (повторяемость), суммы осадков, температура воздуха, толщина деятельного слоя вечной мерзлоты.

Потенциальные пользователи: Арктический региональный климатический центр России, Гидрометцентр России, Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, УГМС и др.

Поддержка языков: русский, английский.

**Прикладной сервис «Обеспечение транспортных операций».**

Предназначен для ГМО транспортных операций по Северному морскому пути.

Описание функций: определить гидрометеорологические и ледовые условия в районе местоположения судна, маршрута его движения, порта назначения по текущим наблюдениям, прогнозам погоды и ледовым условиям; по актуальным точкам маршрута и порту назначения сформировать сведения о Погоде в точке, Лёд в точке, Метеограммы и Ледограммы; подготовить отчёт о сложившихся и прогнозируемых гидрометеорологических условиях с привязкой к району (судну, времени), точкам маршрута и порту назначения; сохранить и отправить отчёт по электронной почте на судно или в береговой центр для передачи на судно.

Параметры: сведения об ОЯ, горизонтальная видимость, волнение (высота), ветер (скорость), уровень моря, ледовые условия, толщина льда.

Потенциальные пользователи: капитаны ледоколов, транспортных судов.

Поддержка языков: русский, английский.

### **Выводы**

Проведён анализ существующих ИТ-систем и подходов, использующихся для обслуживания пользователей гидрометеорологической информацией. Наиболее эффективным средством организации обслуживания из одного окна является предварительная интеграция данных из разнородных источников. Перспективными направлениями гидрометеорологического обеспечения должны стать персонализация и клиентоориентированность обслуживания, упрощение интерфейсов в расчёте на массового пользователя.

В результате проделанной работы сформулированы методы и принципы ГМО на основе использования прикладных сервисов.

Разработаны основные принципы построения прикладных сервисов для ГМО: профилизация данных, минимизация интерфейса с возможностью перехода к комплексному отображению, обогащение информации посредством расчётов с использованием отдельных веб-сервисов в режиме онлайн, персонализированная доставка данных.

Впервые в гидрометеорологии предложенные методы реализации комплексного информационного обслуживания апробированы на площадке российского сегмента Интегрированной системы наблюдений в Арктике.

Реализовано пять прикладных сервисов, различных по составу предоставляемых функций и используемых источников гидрометеорологических данных.

Эти методы и принципы могут быть использованы для решения задач обслуживания различных категорий пользователей ГМО в информационных системах с интегрированными источниками данных.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Постановление* Правительства Российской Федерации от 29 декабря 2005 года № 836 «Об утверждении Положения о Единой государственной системе информации об обстановке в Мировом океане».
2. *Распоряжение* Правительства Российской Федерации от 28.07.2017 года № 1632-р «Об утверждении программы «Цифровая экономика Российской Федерации».
3. Михайлов Н. Н., Белов С. В., Воронцов А. А., Вязилов Е. Д., Лобачёв П. С., Кузнецов А. А., Баталкина С. А., Белова К. В., Вязилова Н. А., Ибрагимов В. И., Козловцев А. В., Мельников Д. А., Пузова Н. В., Нефёдова Г. И. Концепция цифровой трансформация гидрометеорологического обеспечения морской деятельности на основе Единой государственной системы информации об обстановке в Мировом океане // Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2021. Вып. 189. С. 5–34.
4. РД 52.27.881–2019 «Руководство по гидрометеорологическому обеспечению морской деятельности». М.: ФГБУ «Гидрометцентр России», 2019. 132 с.
5. *Интегрированная система наблюдений в Арктике/Integrated Arctic Observation System, iAOS*. URL: <http://www.intaros.eu/> (дата обращения: 15.10.2021).

6. Портал ЕСИМО. URL: <http://esimo.ru> (дата обращения: 18.10.2021).
7. Способ отображения окружающей среды. Патент РФ № 2504833 // Бюллетень. 2000. № 2.
8. Способ оперативного гидрометеорологического ледового обеспечения и ледово-информационная система для его осуществления. Патент РФ № 2602428 // Бюллетень. 2016. № 32.
9. Портал Copernicus, URL: [https://resources.marine.copernicus.eu/?option=com\\_csw&task=results](https://resources.marine.copernicus.eu/?option=com_csw&task=results) (дата обращения: 18.05.2021).
10. ЕМОДНЕТ Физика. OGS. Доступ 18 мая 2021, URL: <https://www.emodnet-physics.eu/Portal/>.
11. Формат вычисляемых документов (Computable Document Format, CDF). Компания Wolfram Research. URL: <http://www.wolfram.com/cdf/uses-examples/consulting-reports.html> (дата обращения: 18.05.2021).
12. Миронов Е. У., Девятаев О. С., Бресткин С. В., Смирнов В. Г., Клячкин С. В. Технологии оперативного обеспечения мореплавания ледовой и гидрометеорологической информацией // Метеоспектр. 2008. № 4. С. 38–41.
13. Brad deYoung, Martin Visbeck, Moacyr Cunha de Araujo Filho et al. (всего 20 авторов). An Integrated All-Atlantic Ocean Observing System in 2030. Journal «Frontiers in Marine Science». Published 26 July 2019. URL: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fmars.2019.00428/full> (дата обращения: 18.05.2021). DOI: 10.3389/fmars.2019.00428.
14. Andrew Stewart, Brad DeYoung, Mike Smit, et al. (всего 11 авторов). The Development of a Canadian Integrated Ocean Observing System (CIOOS). Journal «Frontiers in Marine Science». Published 05 Jul 2019. URL: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fmars.2019.00431/full> (дата обращения: 18.05.2021). DOI: 10.3389/fmars.2019.00431
15. Российский сегмент интегрированной системы наблюдений в Арктике. URL <http://portal.intaros.meteo.ru/portal/> (дата обращения: 15.10.2021).
16. Viazilov E. New Paradigm of Hydrometeorological Support for Consumers. Advances in Intelligent Systems and Computing Vol. 1363. Kohei Arai Editor. Advances in Information and Communication Proceedings of the 2021 Future of Information and Communication Conference (FICC), Volume 1. Publish House «Springer». URL: <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-030-73100-7> (дата обращения: 18.05.2021). P. 171–181. DOI: 10.1007/978-3-030-73100-7\_13.

УДК 551.576.1:551.58

## **ТРЕНДЫ ЧИСЛА ВОССТАНОВЛЕННЫХ ОБЛАЧНЫХ СЛОЁВ НАД РАЗНЫМИ ШИРОТНЫМИ ЗОНАМИ ПО ГЛОБАЛЬНЫМ ДАННЫМ РАДИОЗОНДИРОВАНИЯ АТМОСФЕРЫ ЗА 1964–2018 ГГ.**

**И. В. Черных<sup>1</sup>, О. А. Алдухов<sup>2</sup>**

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

### **Введение**

Знания о вертикальной макроструктуре облачных слоёв и её долгопериодных изменениях над разными широтными зонами важны при решении как научных, так и прикладных задач, например при климатических исследованиях облачности, вертикального распределения температуры и характеристик влажности в атмосфере, для оценки условий распространения электромагнитных волн [1–15]. В связи с тем, что данные радиозондирования собраны за достаточно длинный период наблюдений [11, 16–19], большое внимание уделяется изучению вертикальной структуры облачности, восстановленной по радиозондовым профилям температуры и влажности с целью определения её долгопериодных характеристик [20–26]. Одним из основных параметров вертикальной макроструктуры облачных слоёв является их число [1, 2, 4, 7–10].

В данной работе продолжено исследование вертикальной макроструктуры облачных слоёв (ОС), восстановленных по радиозондовым профилям температуры и влажности с использованием СЕ-метода для определения границ и количества облачности [1, 11, 20, 21] и результатов глобальных радиозондовых измерений, прошедших процедуру комплексного контроля [11, 16–18, 27]. Эта работа является частью комплексного изучения вертикальной структуры основных метеорологических величин (температуры,

влажности, ветра), характеристик ОС в атмосфере и их изменений за один период радиозондовых наблюдений 1964–2018 гг. [28–35]. Предыдущие исследования числа ОС были проведены для более коротких периодов наблюдений и/или других территорий [1, 8, 9] и по другой программе. Например: в [1, 8] получены постанционные оценки числа ОС для российских станций за период наблюдений 1964–2017 гг.; в [8] исследования вертикальной структуры ОС проведены за сутки в целом и отдельно для ночного и дневного срока; в [4] для числа ОС, определённых на основе радиозондовых профилей температуры и влажности в слое 0–10 км за 1964–2017 гг., было получено географическое распределение их средних сезонных и годовых значений, а также среднеквадратических отклонений, определена амплитуда их региональных изменений. В [34] представлены многолетние средние значения числа ОС в разных атмосферных слоях с различным количеством облаков и трендов их аномалий для земного шара.

Предметом исследования в данной работе является температурно-влажностное расслоение атмосферы в нижнем десятикилометровом слое атмосферы над уровнем земли на облачные слои и безоблачные прослойки между ними, выявленные с помощью СЕ-метода. Рассмотрена задача о вертикальном распределении средних значений различного масштаба осреднения числа ОС с разным количеством облачности. Получены тренды соответствующих аномалий для атмосферных слоёв 0–2, 2–6, 6–10 и 0–10 км над уровнем земли для пяти широтных зон земного шара (ЗШ): над северными полярными (СПШ) и умеренными (СУШ) широтами; над тропическими широтами (ТРШ); над южными умеренными (ЮУШ) и полярными (ЮПШ) широтами на фоне соответствующих оценок для земного шара. Представлены многолетние средние числа ОС с количеством облачности в градациях 0–20, 20–60, 60–80, 80–100, 0–100 % поверхности небосвода в перечисленных атмосферных слоях и тренды соответствующих аномалий для различных широтных зон и ЗШ в целом. Вычисления выполнены для месяцев, сезонов и года в целом. Получены диапазоны внутригодовых изменений среднемесячных значений числа облачных слоёв и трендов их аномалий. Проведён анализ

полученных результатов для каждой широтной зоны и проведено сравнение с результатами для ЗШ.

### **1. Данные и методы**

В данном исследовании применялся СЕ-метод для определения границ и количества облачности по радиозондовым профилям температуры и влажности, разработанный специально для климатических исследований [1, 8, 9, 11, 12, 20, 21]. Для расчётов использовались данные радиозондовых наблюдений в сроки 0 и 12 ч ВСВ (Всемирное скоординированное время) из глобального массива КАРДС [11, 27], пополненного текущими наблюдениями из массива ВНИИГМИ-МЦД [18] за период 1964–2018 гг. Исходные данные прошли процедуру комплексного контроля качества [11, 17, 18, 27]. С целью использования максимально однородных по технике проведения наблюдений, данные результатов зондирования, проводившихся на станциях глобальной аэрологической сети за период 1937–1963 гг., в расчёты не включены, так как температурные поправки на сети вводились в период с 1960 по 1963 год постепенно [36].

Станции, включённые в данное исследование, должны были иметь данные наблюдений за 15 лет из полного периода наблюдений, включая 2018 год. Для статистических расчётов использовались данные зондирования, при которых имелись данные измерений как температуры, так и влажности в слое от поверхности земли до высоты 10 км.

Для формирования массива данных по 774 станциям глобальной аэрологической сети за период наблюдений 1964–2018 гг. было выполнено несколько этапов обработки исходной информации. Данные близко расположенных аэрологических станций, взаимно заменяемых в процессе эксплуатации, были объединены, а короткие и очень старые ряды наблюдений были исключены.

Наиболее плотно аэрологическими станциями покрыты умеренные широты Северного полушария (СП) и сравнительно редко – Южного полушария (ЮП), Африка и океанские территории Земли. Этот факт необходимо учитывать при анализе результатов расчётов. Вследствие существенной неоднородности

расположения аэрологических станций даже внутри конкретных широтных зон, в данной работе при расчётах климатических характеристик числа ОС, восстановленных по радиозондовым профилям температуры и влажности, осреднение выполняется по площади влияния каждой станции, определяемой радиусом горизонтальной корреляции этих метеовеличин. Кроме того, поскольку станции в соседних широтных зонах, близко расположенные к исследуемой, несут полезную информацию вследствие горизонтальной коррелированности наблюдаемых величин, то данные из станций соседних зон включались в расширенный массив для каждой заданной зоны. Таким образом, дополнялся источник информации для каждой конкретной зоны по данным ближайших соседних станций и выравнивалась пространственная неоднородность исходных наблюдений и пограничный переход между зонами. Число аэрологических станций, расположенных в разных широтных зонах ЗШ, и число станций из соответствующих расширенных массивов, использованных для исследования, составляло: для СПШ – 103/150, СУШ – 483/569, ТРШ – 319/402, ЮУШ – 52/102, ЮПШ – 13/27 соответственно.

Определение облачных слоёв по вертикальным профилям температуры и влажности с использованием СЕ-метода 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 ОС. За критерий существования облачного слоя приняты условия:

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

при требовании изменения знака 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, 20, 21]. 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 [37–39].

На втором этапе для каждого из выделенных ОС по значениям температуры и дефицита точки росы на уровне максимальной относительной влажности внутри такого слоя по кусочно-линейной аппроксимации диаграммы Арабей – Мошникова [1, 21] определяется количество облачности по градациям 0–20, 20–60, 60–80, 80–100 % поверхности небосвода.

Анализ долгопериодных тенденций изменения числа ОС проведён с использованием метода наименьших квадратов. Значимость трендов проверялась по критерию Стьюдента. При вычислении аномалий средних значений числа ОС за базовый период (период осреднения среднего значения метеовеличины, относительно которого рассчитываются аномалии) был выбран полный 55-летний период наблюдений 1964–2018 гг.

С целью изучения особенностей вертикального распределения средних значений числа ОС различного масштаба осреднения с учётом количества облачности и слоя атмосферы для разных широтных зон были вычислены средние значения числа ОС с количеством облачности 0–20, 20–60, 60–80, 80–100, 0–100 % поверхности небосвода и тренды их аномалий для атмосферных слоёв 0–2, 2–6, 6–10, 0–10 км над уровнем земли для месяцев/сезонов/года. Согласно принятой в метеорологии классификации облаков [40, 41], первые три из них соответствуют нижнему, среднему и верхнему ярусам облаков. Ниже ОС с количеством облачности 0–20, 20–60, 60–80, 80–100 % поверхности небосвода будут называться малобалльными и ОС рассеянной, разорванной и сплошной облачности. Восстановленные с помощью СЕ-метода ОС с толщиной менее 50 м в расчётах не учитывались. Это обусловлено точностью передаваемых в аэрологической телеграмме значений температуры и влажности [1, 4, 9, 22]. При рассмотрении конкретной градации облачности допускалось существование других ОС.

На следующем этапе вычислений было проведено двукратное сглаживание по трём точкам среднесезонных и среднемесячных статистических характеристик числа ОС, при котором центральной точке присваивался двойной вес, а двум крайним – единичный вес. Использование сглаженных статистических характеристик позволяет более наглядно представить внутригодовые изменения их вертикальной структуры в изучаемых слоях атмосферы.

Ниже под сезонами подразумеваются сезоны СП: зима: декабрь – февраль; весна: март – май; лето: июнь – август; осень: сентябрь – ноябрь.

## 2. Результаты

Результаты расчётов средних значений числа ОС с учётом количества облачности в атмосферных слоях 0–2, 2–6, 6–10, 0–10 км над изучаемыми широтными зонами и соответствующие тренды аномалий для месяцев, сезонов и года представлены на рис. 1–6. Они демонстрируют характер годового хода соответствующих статистических характеристик. На рисунках квадратом и квадратом с крестом отмечены тренды со значимостью более 50 и более 95 % соответственно. Анализ результатов показал, что значимость трендов аномалий средних значений числа ОС с количеством облачности 0–20, 20–60, 80–100, 0–100 % поверхности небосвода в изучаемых атмосферных слоях для всех месяцев, сезонов и года в целом для всех широтных зон и ЗШ больше 95 %. Для градации 60–80 % она зависит от слоя атмосферы и широтной зоны. В табл. 1 приведены средние значения числа ОС и тренды их аномалий с учётом градации количества облачности для атмосферного слоя 0–10 км для года и диапазоны внутригодовых изменений их средних месячных значений, а также соответствующих трендов для изучаемых широтных зон и ЗШ, изменения числа ОС за 1964–2018 гг.

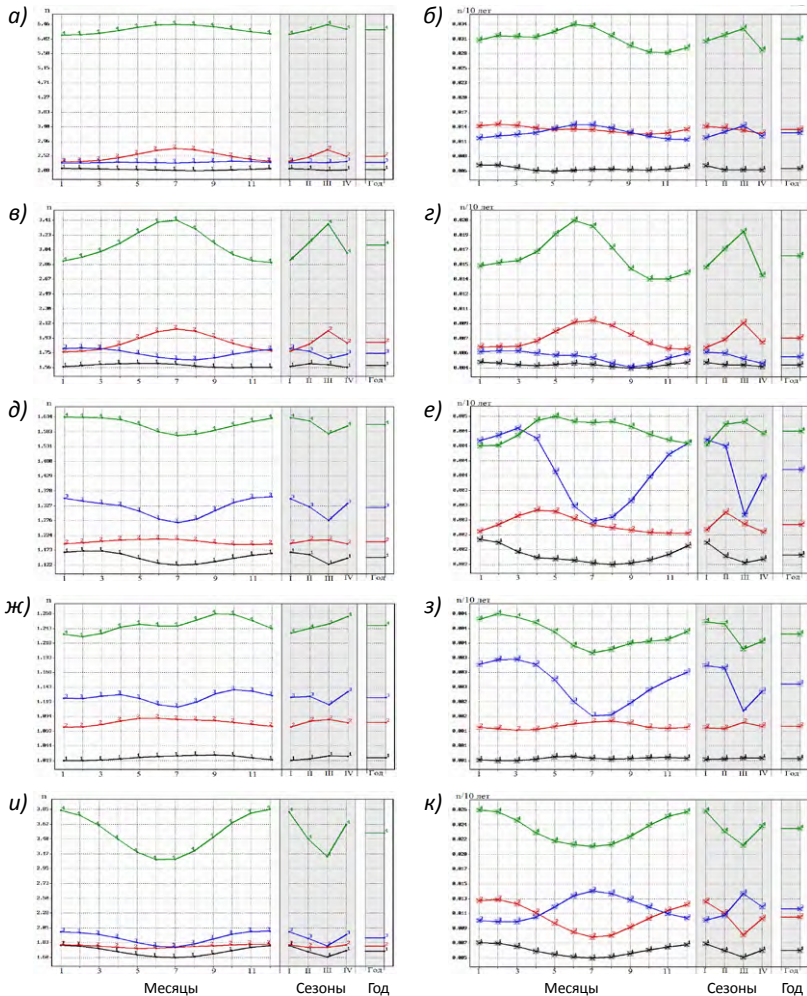


Рис. 1. Многолетние средние значения числа ОС с разным количеством облаков для каждого месяца, сезона и года в целом и тренды их аномалий для северных полярных широт ЗШ. 1964–2018 гг. Здесь и на рис. 2–6: (а, в, д, ж, и) – средние значения числа ОС ( $n$ ), (б, г, е, з, к) – тренды их аномалий ( $n/10$  лет); (а, б) – 0–100 %, (в, г) – 0–20 %, (д, е) – 20–60 %, (ж, з) – 60–80 %, (и, к) – 80–100 % поверхности небосвода; слои атмосферы: чёрные линии – 0–2 км, красные линии – 2–6 км, голубые линии – 6–10 км, зелёные линии – 0–10 км; сезоны: I – зима; II – весна; III – лето; IV – осень.

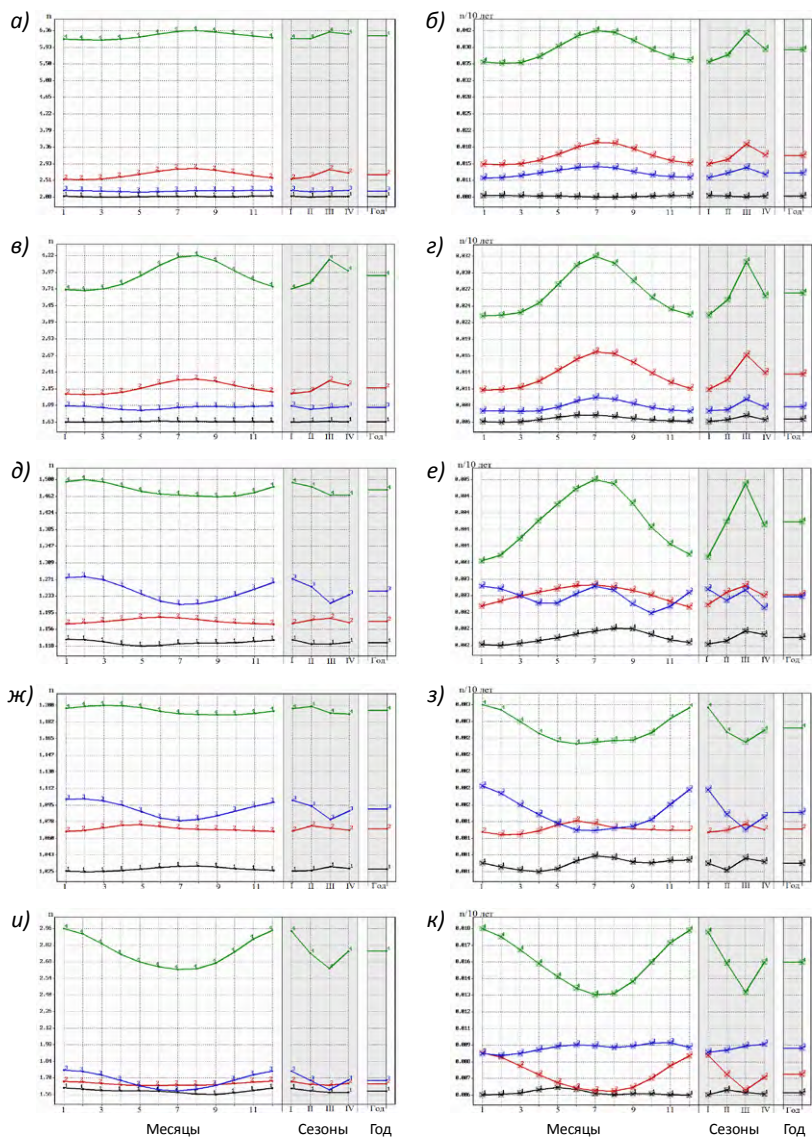


Рис. 2. Многолетние средние значения числа ОС с разным количеством облаков для каждого месяца, сезона и года в целом и тренды их аномалий для северных умеренных широт ЗШ. 1964–2018 гг.

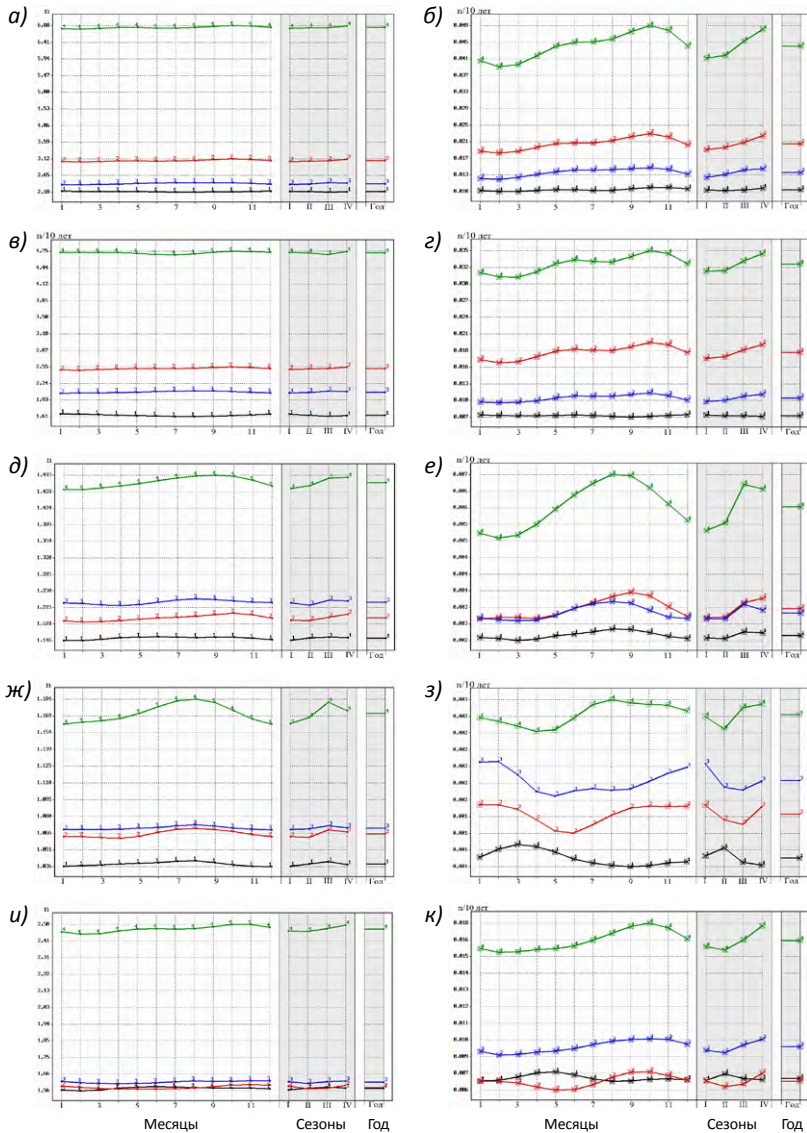


Рис. 3. Многолетние средние значения числа ОС с разным количеством облаков для каждого месяца, сезона и года в целом и тренды их аномалий для тропических широт 3Ш. 1964–2018 гг.

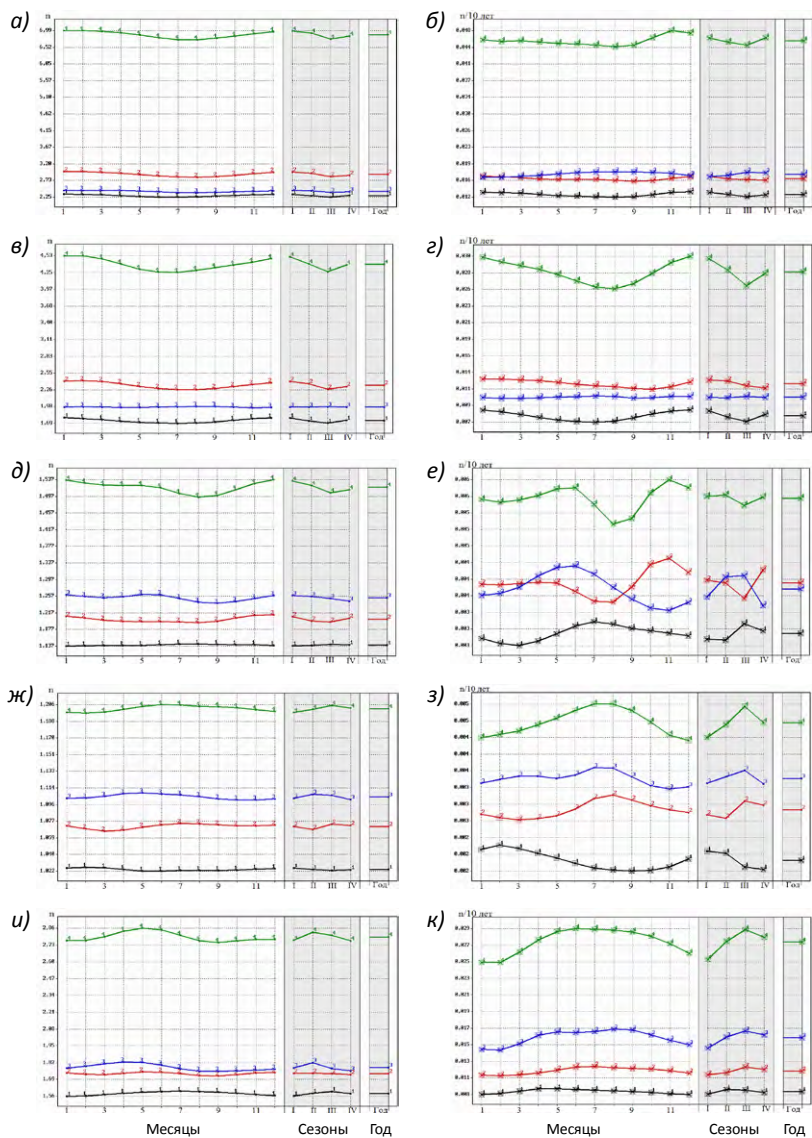


Рис. 4. Многолетние средние значения числа ОС с разным количеством облаков для каждого месяца, сезона и года в целом и тренды их аномалий для южных умеренных широт ЗШ. 1964–2018 гг.

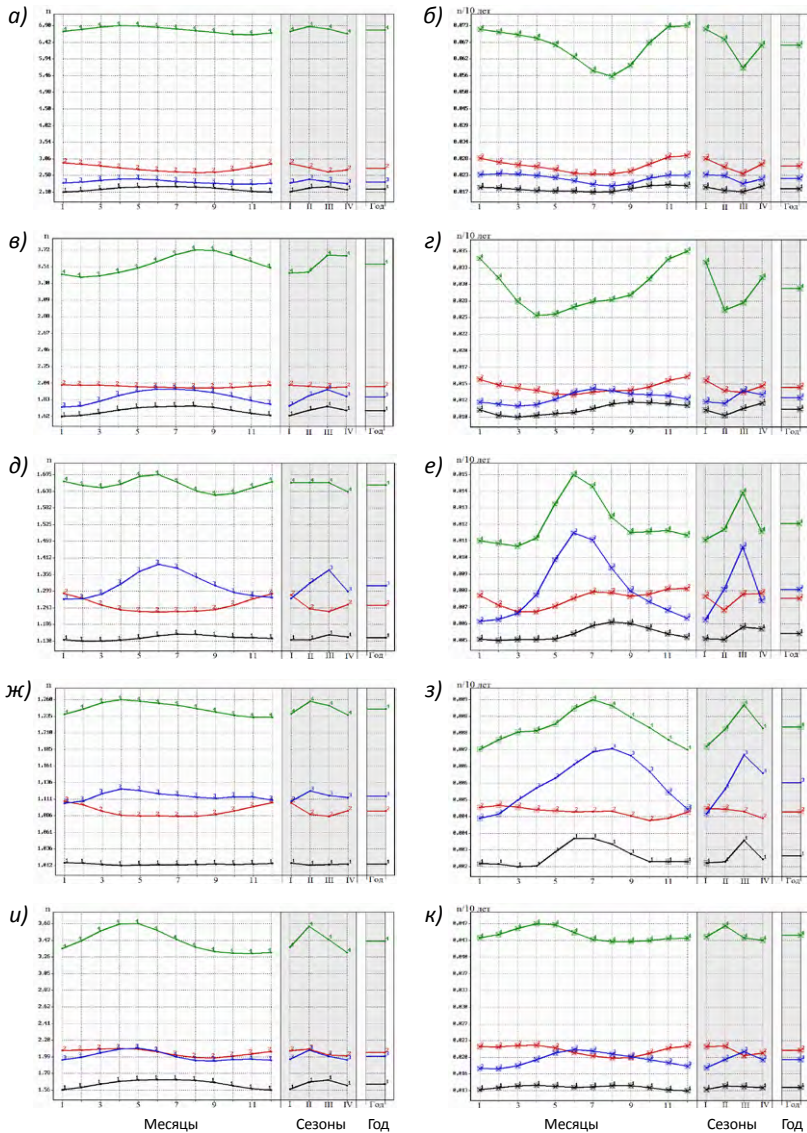


Рис. 5. Многолетние средние значения числа ОС с разным количеством облаков для каждого месяца, сезона и года в целом и тренды их аномалий для южных полярных широт ЗШ. 1964–2018 гг.

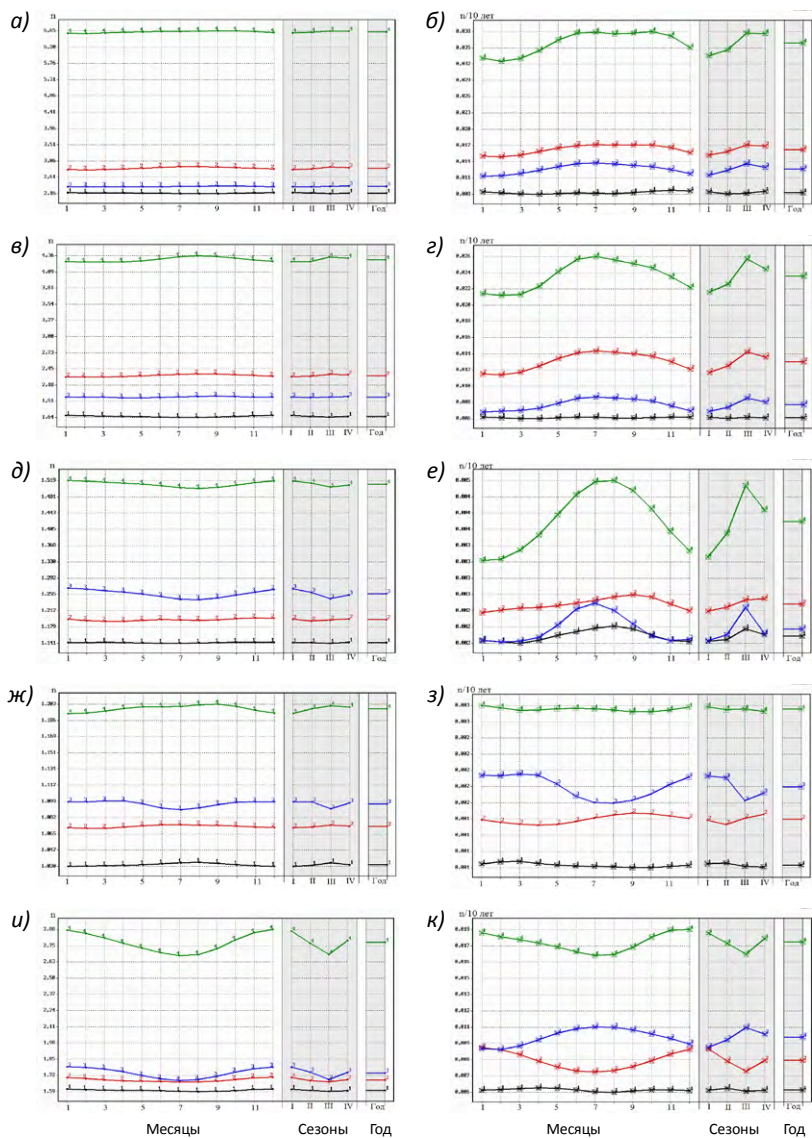


Рис. 6. Многолетние средние значения числа ОС с разным количеством облаков для каждого месяца, сезона и года в целом и тренды их аномалий для земного шара в целом. 1964–2018 гг.

Таблица 1

**Статистические характеристики числа облачных слоёв в атмосферном слое 0–10 км с учётом градации количества облачности для разных широтных зон ЗШ. 1964–2018 гг.**

| Количество облачности, % поверхности небосвода | Средние годовые значения числа ОС, $n$ | $tr$ , $n/10$ лет | Изменения числа ОС за 1964–2018 гг. | $\Delta_{\text{средние}}$ | $\Delta_{tr}$ | $N$   |
|------------------------------------------------|----------------------------------------|-------------------|-------------------------------------|---------------------------|---------------|-------|
| Северные полярные широты                       |                                        |                   |                                     |                           |               |       |
| 0–20                                           | 3,1                                    | 0,016             | 0,088                               | 2,88–3,41                 | 0,014–0,020   | 1,06  |
| 20–60                                          | 1,6                                    | 0,004             | 0,022                               | 1,57–1,63                 | 0,004–0,005   | 0,82  |
| 60–80                                          | 1,2                                    | 0,004             | 0,022                               | 1,23–1,27                 | 0,003–0,004   | 0,55  |
| 80–100                                         | 3,5                                    | 0,024             | 0,132                               | 3,10–3,85                 | 0,021–0,026   | 1,40  |
| 0–100                                          | 6,3                                    | 0,031             | 0,171                               | 6,14–6,46                 | 0,030–0,034   | 1,63  |
| Северные умеренные широты                      |                                        |                   |                                     |                           |               |       |
| 0–20                                           | 3,9                                    | 0,026             | 0,143                               | 3,71–4,22                 | 0,023–0,032   | 14,03 |
| 20–60                                          | 1,5                                    | 0,004             | 0,022                               | 1,46–1,50                 | 0,003–0,005   | 7,20  |
| 60–80                                          | 1,9                                    | 0,003             | 0,017                               | 1,19–1,20                 | 0,002–0,003   | 4,12  |
| 80–100                                         | 2,8                                    | 0,016             | 0,088                               | 2,61–2,96                 | 0,013–0,018   | 11,59 |
| 0–100                                          | 6,3                                    | 0,038             | 0,209                               | 6,15–6,36                 | 0,035–0,042   | 16,52 |
| Тропические широты                             |                                        |                   |                                     |                           |               |       |
| 0–20                                           | 4,7                                    | 0,033             | 0,182                               | 4,70–4,75                 | 0,031–0,035   | 8,87  |
| 20–60                                          | 1,5                                    | 0,006             | 0,033                               | 1,46–1,49                 | 0,005–0,007   | 3,77  |
| 60–80                                          | 1,2                                    | 0,002             | 0,011                               | 1,16–1,84                 | 0,002–0,003   | 1,81  |
| 80–100                                         | 2,5                                    | 0,016             | 0,088                               | 2,46–2,50                 | 0,015–0,018   | 6,18  |
| 0–100                                          | 6,8                                    | 0,044             | 0,242                               | 6,78–6,88                 | 0,039–0,049   | 9,49  |
| Южные умеренные широты                         |                                        |                   |                                     |                           |               |       |
| 0–20                                           | 4,4                                    | 0,028             | 0,154                               | 4,25–4,53                 | 0,026–0,030   | 1,69  |
| 20–60                                          | 1,5                                    | 0,006             | 0,033                               | 1,50–1,54                 | 0,005–0,006   | 0,85  |
| 60–80                                          | 1,2                                    | 0,005             | 0,028                               | 1,19–1,21                 | 0,004–0,005   | 0,41  |
| 80–100                                         | 2,8                                    | 0,027             | 0,149                               | 2,75–2,86                 | 0,025–0,029   | 1,29  |
| 0–100                                          | 6,9                                    | 0,046             | 0,253                               | 6,75–6,99                 | 0,044–0,048   | 1,86  |
| Южные полярные широты                          |                                        |                   |                                     |                           |               |       |
| 0–20                                           | 3,5                                    | 0,030             | 0,165                               | 3,40–3,72                 | 0,025–0,035   | 0,10  |
| 20–60                                          | 1,6                                    | 0,012             | 0,066                               | 1,61–1,70                 | 0,011–0,015   | 0,07  |
| 60–80                                          | 1,2                                    | 0,008             | 0,044                               | 1,24–1,26                 | 0,007–0,009   | 0,03  |
| 80–100                                         | 3,5                                    | 0,045             | 0,248                               | 3,34–3,68                 | 0,043–0,047   | 0,09  |
| 0–100                                          | 6,8                                    | 0,066             | 0,363                               | 6,66–6,90                 | 0,056–0,073   | 0,12  |

Окончание табл. 1

| Количество облачности, % поверхности небосвода | Средние годовые значения числа ОС, $n$ | $tr$ , $n/10$ лет | Изменения числа ОС за 1964–2018 гг. | $\Delta_{\text{средние}}$ | $\Delta_{tr}$ | $N$   |
|------------------------------------------------|----------------------------------------|-------------------|-------------------------------------|---------------------------|---------------|-------|
| Земной шар                                     |                                        |                   |                                     |                           |               |       |
| 0–20                                           | 4,2                                    | 0,023             | 0,127                               | 4,25–4,36                 | 0,021–0,026   | 15,43 |
| 20–60                                          | 1,5                                    | 0,004             | 0,022                               | 1,51–1,52                 | 0,003–0,005   | 7,69  |
| 60–80                                          | 1,2                                    | 0,003             | 0,017                               | 1,19–1,20                 | 0,003         | 4,07  |
| 80–100                                         | 2,8                                    | 0,017             | 0,094                               | 2,67–2,88                 | 0,016–0,019   | 12,34 |
| 0–100                                          | 6,6                                    | 0,036             | 0,198                               | 6,59–6,65                 | 0,033–0,038   | 17,68 |

Примечание:  $n$  – число облачных слоёв;  $tr$  – тренды аномалий средних годовых значений числа облачных слоёв;  $\Delta_{\text{средние}}$  – диапазоны внутригодовых изменений многолетних средних месячных значений числа ОС;  $\Delta_{tr}$  – диапазоны внутригодовых изменений соответствующих трендов;  $N$  – число использованных радиозондовых наблюдений (млн).

### 2.1. Число ОС в слое 0–10 км

Представленные на рис. 1–6 и в табл. 1 результаты демонстрируют, что для атмосферного слоя 0–10 км над всеми широтными зонами и ЗШ средние значения числа ОС различного масштаба осреднения и тренды соответствующих аномалий зависят от количества облачности. Их значения для малобалльных и сплошных ОС существенно больше, чем для ОС рассеянной и разорванной облачности.

Среднегодовые значения числа ОС с количеством облачности 0–100 % поверхности небосвода в слое 0–10 км слабо зависят от широтной зоны. Они изменяются от 6,3 для СПШ и СУШ до 6,8–6,9 для ТРШ, ЮУШ и ЮПШ. При этом тренды соответствующих аномалий увеличиваются в направлении от СПШ (0,031  $n/10$  лет) к ЮПШ (0,066  $n/10$  лет), а изменения числа ОС за 1964–2018 гг. меняется от 0,171  $n$  до 0,363  $n$  соответственно.

Наибольшие значения средних годовых значений числа ОС в слое 0–10 км и трендов соответствующих аномалий зависят от количества облаков и широтной зоны:

- для СПШ и ЮПШ наибольшие значения средних годовых значений числа ОС и трендов соответствующих аномалий

определены для сплошных ОС, причём максимальные средние годовые значения числа ОС для СПШ и ЮПШ совпадают ( $3,5 n$ ), при этом тренды для СПШ ( $0,024 n/10$  лет) почти в 2 раза меньше, чем для ЮПШ ( $0,045 n/10$  лет), а изменения числа сплошных ОС за 1964–2018 гг. составляют  $0,132$  и  $0,248 n$  соответственно;

- для СУШ, ТРШ, ЮУШ, а также для ЗШ, наибольшие значения средних годовых и трендов зафиксированы для малобалльных ОС, изменения их числа за 1964–2018 гг. составляют  $0,143$ ,  $0,182$ ,  $0,154$  и  $0,127 n$  соответственно.

Минимальные средние годовые значения числа ОС для ЗШ и всех широтных зон, кроме СУШ, совпадают ( $1,2 n$ ) и зафиксированы для ОС разорванной облачности, при этом тренды минимальны для ТРШ ( $0,002 n/10$  лет). Для СУШ минимальное среднее годовое значение числа ОС ( $1,5 n$ ) определено для рассеянной облачности, а минимальные тренды ( $0,003 n/10$  лет) – для разорванной облачности.

Для ОС с количеством облачности 0–100 % поверхности небосвода в слое 0–10 км над ЗШ (табл. 1) амплитуда внутригодовых изменений средних месячных значений их числа мала ( $0,06 n$ ); максимальна она для сплошных ОС ( $0,21 n$ ), а минимальна – для ОС рассеянной и разорванной облачности ( $0,01 n$ ). Для трендов аномалий средних месячных значений числа ОС над ЗШ с количеством облачности 0–100 % амплитуда внутригодовых изменений составляет  $0,005 n/10$  лет; максимальна она для малобалльных ОС ( $0,005 n/10$  лет) и минимальна – для ОС разорванной облачности ( $0,000 n/10$  лет). В слое 0–10 км над ЗШ (рис. 6) максимальные тренды аномалий средних месячных значений числа ОС с количеством облачности 0–100 % видны летом и осенью, для малобалльной и рассеянной облачности – летом, для разорванной и сплошной облачности – зимой; а минимальные тренды: для ОС с количеством облачности 0–100 %, для малобалльной и рассеянной облачности – зимой, для разорванной облачности – осенью, для сплошной облачности – летом.

Для средних месячных значений числа ОС с количеством 0–100 % поверхности небосвода в атмосферном слое 0–10 км амплитуда внутригодовых изменений слабо зависит от широтной

зоны: для СПШ определены максимальные значения амплитуды ( $0,3 n$ ); для ТРШ – её минимальные значения ( $0,1 n$ ); для СУШ и ЮУШ и ЮПШ её значения составляют  $0,2 n$  (табл. 1). Для трендов аномалий средних месячных значений числа ОС с количеством 0–100 % в слое 0–10 км амплитуда внутригодовых изменений также слабо зависит от широтной зоны: её максимальные значения ( $0,017 n/10$  лет) определены для ЮПШ, а минимальные ( $0,004 n/10$  лет) – для СПШ и ЮУШ, для СУШ и ТРШ она составляет 0,007 и  $0,010 n/10$  лет соответственно, при этом максимальные тренды определены для СПШ, СУШ, ТРШ, ЮУШ и ЮПШ в июне, июле, октябре, ноябре и декабре соответственно (табл. 1, рис. 1–5 б). Максимальные тренды аномалий средних месячных значений числа ОС для малобалльной облачности определены местным летом: для СПШ и СУШ – в июне и июле, для ЮУШ и ЮПШ – в декабре и январе; для сплошной облачности они определены местной зимой: для СПШ и СУШ – в декабре и январе, для ЮУШ – в июне – августе; местной осенью для ЮПШ – в апреле и мае; для ТРШ максимальные тренды как для малобалльных, так и для сплошных ОС определены в октябре (табл. 1, рис. 1–5 г, к).

## **2.2. Число ОС с учётом яруса облаков**

Ниже приведён анализ средних годовых значений и диапазонов внутригодовых изменений средних месячных значений числа ОС с учётом яруса облаков и соответствующих трендов для изучаемых широтных зон, определены месяцы с максимальными и минимальными трендами числа ОС.

Для среднего годового числа ОС с количеством облачности 0–100 % поверхности небосвода наибольшие значения определены в среднем ярусе, а минимальные – в нижнем ярусе; для широтных зон диапазоны его изменения для нижнего, среднего и верхнего ярусов составляют 2,1–2,3, 2,5–3,1 и 2,2–2,4 слоя, т.е. их различие для зон – 0,2, 0,6 и 0,2 слоя соответственно (табл. 2).

Для широтных зон ЗШ средние месячные значения числа ОС с количеством облачности 0–100 % поверхности небосвода и тренды соответствующих аномалий изменяются в следующих пределах (табл. 2, рис. 1–5):

Таблица 2

**Статистические характеристики числа облачных слоёв с количеством облачности 0–100 % поверхности небосвода в разных атмосферных слоях для разных широтных зон ЗШ. 1964–2018 гг.**

| Слои атмосферы над уровнем земли, км | Средние годовые значения числа ОС, $n$ | $tr$ , $n/10$ лет | Изменения числа ОС за 1964–2018 гг. | $\Delta_{\text{средние}}$ | $\Delta_{tr}$ | $N$   |
|--------------------------------------|----------------------------------------|-------------------|-------------------------------------|---------------------------|---------------|-------|
| Северные полярные широты             |                                        |                   |                                     |                           |               |       |
| 0–2                                  | 2,1                                    | 0,006             | 0,033                               | 2,08–2,15                 | 0,006–0,007   | 1,60  |
| 2–6                                  | 2,5                                    | 0,014             | 0,077                               | 2,32–2,75                 | 0,013–0,015   | 1,68  |
| 6–10                                 | 2,3                                    | 0,013             | 0,072                               | 2,30–2,40                 | 0,012–0,015   | 1,68  |
| Северные умеренные широты            |                                        |                   |                                     |                           |               |       |
| 0–2                                  | 2,1                                    | 0,008             | 0,044                               | 2,08–2,11                 | 0,008–0,009   | 16,17 |
| 2–6                                  | 2,7                                    | 0,017             | 0,094                               | 2,51–2,83                 | 0,015–0,019   | 17,25 |
| 6–10                                 | 2,2                                    | 0,013             | 0,072                               | 2,15–2,20                 | 0,012–0,015   | 16,61 |
| Тропические широты                   |                                        |                   |                                     |                           |               |       |
| 0–2                                  | 2,2                                    | 0,015             | 0,083                               | 2,18–2,24                 | 0,010–0,011   | 9,19  |
| 2–6                                  | 3,1                                    | 0,020             | 0,110                               | 3,06–3,12                 | 0,018–0,023   | 9,48  |
| 6–10                                 | 2,4                                    | 0,014             | 0,077                               | 2,38–2,43                 | 0,012–0,015   | 8,88  |
| Южные умеренные широты               |                                        |                   |                                     |                           |               |       |
| 0–2                                  | 2,3                                    | 0,013             | 0,072                               | 2,25–2,37                 | 0,012–0,014   | 1,85  |
| 2–6                                  | 2,8                                    | 0,016             | 0,088                               | 2,85–3,00                 | 0,016–0,017   | 1,87  |
| 6–10                                 | 2,4                                    | 0,017             | 0,094                               | 2,37–2,43                 | 0,017–0,018   | 1,84  |
| Южные полярные широты                |                                        |                   |                                     |                           |               |       |
| 0–2                                  | 2,2                                    | 0,018             | 0,099                               | 2,10–2,28                 | 0,017–0,019   | 0,14  |
| 2–6                                  | 2,8                                    | 0,026             | 0,143                               | 2,66–2,94                 | 0,023–0,029   | 0,14  |
| 6–10                                 | 2,4                                    | 0,022             | 0,121                               | 2,34–2,50                 | 0,020–0,023   | 0,12  |
| Земной шар                           |                                        |                   |                                     |                           |               |       |
| 0–2                                  | 2,2                                    | 0,008             | 0,044                               | 2,16–2,19                 | 0,008–0,009   | 17,39 |
| 2–6                                  | 2,9                                    | 0,016             | 0,088                               | 2,83–2,98                 | 0,015–0,017   | 18,08 |
| 6–10                                 | 2,4                                    | 0,013             | 0,072                               | 2,33–2,39                 | 0,012–0,014   | 17,26 |

Примечание:  $n$  – число облачных слоёв;  $tr$  – тренды аномалий средних годовых значений числа облачных слоёв;  $\Delta_{\text{средние}}$  – диапазоны внутригодовых изменений многолетних средних месячных значений числа ОС;  $\Delta_{tr}$  – диапазоны внутригодовых изменений соответствующих трендов;  $N$  – число использованных радиозондовых наблюдений (млн).

- в нижнем ярусе – от значения среднего месячного 2,08, определённого для СПШ и СУШ, до 2,37, определённого для ЮУШ; а тренды месячных аномалий – в диапазоне 0,006–0,019  $n/10$  лет, с минимальным значением, зафиксированным для СПШ весной в апреле и мае, а максимальным – для ЮПШ весной ЮП в октябре и ноябре;

- в среднем ярусе – от среднего месячного значения 2,32  $n$ , зафиксированного для СПШ, до 3,12  $n$ , определённого для ТРШ; тренды соответствующих аномалий изменяются в диапазоне 0,013–0,029  $n/10$  лет с минимальным значением, зафиксированными для СПШ осенью в октябре с максимальным значением, зафиксированным для ЮПШ летом ЮП в декабре;

- в верхнем ярусе – от среднего месячного значения 2,15 до 2,50  $n$ , зафиксированных для СУШ и ЮПШ; тренды месячных аномалий изменяются в диапазоне 0,012–0,023  $n/10$  лет с минимальным значением, определённым для СПШ в декабре и январе, для СУШ с декабря по февраль и ТРШ в январе и феврале, и максимальным значением – для ЮПШ с ноября по апрель.

Согласно табл. 2, амплитуда внутригодовых изменений средних месячных значений числа ОС с количеством облачности 0–100 % поверхности небосвода и соответствующих трендов для ярусов зависит от широтной зоны:

- в нижнем ярусе она изменяется для средних месячных значений от 0,03 для СУШ до 0,18 для ЮПШ; для трендов она составляет 0,001  $n/10$  лет для широтных зон в СП и 0,002  $n/10$  лет – в ЮП;

- в среднем ярусе она составляет для средних месячных значений: 0,43, 0,32, 0,06 0,15, 0,28  $n$ , а для трендов: 0,002, 0,004, 0,005, 0,001, 0,006  $n/10$  лет для СПШ, СУШ, ТРШ, ЮУШ, ЮПШ соответственно;

- в верхнем ярусе она изменяется для средних месячных значений от 0,05  $n$  для СУШ, ТРШ до 0,16  $n$  для ЮПШ; для трендов она составляет 0,001  $n/10$  лет для ЮУШ и 0,003  $n/10$  лет – для других широтных зон.

Анализ рис. 16–66 показал, что число ОС с количеством облачности 0–100 % поверхности небосвода для всех месяцев возрастает минимально в слое 0–2 км для всех широтных зон, а

максимально – в слое 2–6 км для ЗШ, СУШ, ТРШ, ЮПШ; для СПШ оно возрастает максимально в слое 2–6 км с ноября по апрель и в слое 6–10 км с июня по август; для ЮУШ оно возрастает максимально в слое 2–6 км в течение зимних месяцев и в слое 6–10 км – во все остальные месяцы.

Наибольшее среднее годовое значение числа малобалльных ОС (табл. 3) зафиксировано в среднем ярусе для всех широтных зон. Различие средних годовых значений числа малобалльных ОС в слоях атмосферы 0–2, 2–6 и 6–10 км над изучаемыми широтами не превышает 0,1, 0,6 и 0,3 слоя при диапазонах их изменения 1,6–1,7, 1,9–2,5 и 1,8–2,1 соответственно.

Для малобалльных ОС средние месячные значения их числа в разных ярусах над всеми широтными зонами изменяются в следующих диапазонах (табл. 3): в нижнем ярусе – 1,56–1,79 с минимальным и максимальным значениями, определёнными для СПШ и ЮУШ; в среднем и верхнем ярусе – в диапазонах 1,75–2,55 и 1,67–2,14 с минимальным и максимальным значениями, зафиксированными для СПШ и ТРШ соответственно.

Таблица 3

**Статистические характеристики числа малобалльных облачных слоёв в разных атмосферных слоях для разных широтных зон ЗШ. 1964–2018 гг.**

| Слои атмосферы над уровнем земли, км | Средние годовые значения числа ОС, $n$ | $tr$ , $n/10$ лет | Изменения числа ОС за 1964–2018 гг. | $\Delta_{\text{средние}}$ | $\Delta_{tr}$ | $N$   |
|--------------------------------------|----------------------------------------|-------------------|-------------------------------------|---------------------------|---------------|-------|
| Северные полярные широты             |                                        |                   |                                     |                           |               |       |
| 0–2                                  | 1,6                                    | 0,004             | 0,022                               | 1,56–1,62                 | 0,004–0,005   | 0,68  |
| 2–6                                  | 1,9                                    | 0,007             | 0,038                               | 1,75–2,06                 | 0,006–0,009   | 0,86  |
| 6–10                                 | 1,8                                    | 0,005             | 0,028                               | 1,67–2,00                 | 0,004–0,006   | 0,59  |
| Северные умеренные широты            |                                        |                   |                                     |                           |               |       |
| 0–2                                  | 1,6                                    | 0,006             | 0,033                               | 1,63–1,65                 | 0,006–0,007   | 9,47  |
| 2–6                                  | 2,2                                    | 0,014             | 0,077                               | 2,06–2,33                 | 0,011–0,017   | 12,74 |
| 6–10                                 | 1,8                                    | 0,008             | 0,044                               | 1,81–1,89                 | 0,007–0,010   | 10,39 |
| Тропические широты                   |                                        |                   |                                     |                           |               |       |
| 0–2                                  | 1,6                                    | 0,007             | 0,038                               | 1,61–1,66                 | 0,007–0,008   | 5,50  |
| 2–6                                  | 2,5                                    | 0,018             | 0,099                               | 2,50–2,55                 | 0,017–0,019   | 8,19  |
| 6–10                                 | 2,1                                    | 0,011             | 0,061                               | 2,03–2,14                 | 0,009–0,011   | 7,66  |

Окончание табл. 3

| Слои атмосферы над уровнем земли, км | Средние годовые значения числа ОС, $n$ | $tr$ , $n/10$ лет | Изменения числа ОС за 1964–2018 гг. | $\Delta_{\text{средние}}$ | $\Delta_{tr}$ | $N$   |
|--------------------------------------|----------------------------------------|-------------------|-------------------------------------|---------------------------|---------------|-------|
| Южные умеренные широты               |                                        |                   |                                     |                           |               |       |
| 0–2                                  | 1,7                                    | 0,008             | 0,044                               | 1,69–1,79                 | 0,007–0,009   | 1,15  |
| 2–6                                  | 2,3                                    | 0,012             | 0,066                               | 2,26–2,41                 | 0,011–0,013   | 1,49  |
| 6–10                                 | 2,0                                    | 0,010             | 0,055                               | 1,97–2,02                 | 0,010         | 1,35  |
| Южные полярные широты                |                                        |                   |                                     |                           |               |       |
| 0–2                                  | 1,7                                    | 0,011             | 0,061                               | 1,62–1,75                 | 0,010–0,012   | 0,07  |
| 2–6                                  | 2,0                                    | 0,015             | 0,083                               | 1,98–2,04                 | 0,013–0,016   | 0,08  |
| 6–10                                 | 1,9                                    | 0,013             | 0,072                               | 1,78–1,98                 | 0,011–0,015   | 0,07  |
| Земной шар                           |                                        |                   |                                     |                           |               |       |
| 0–2                                  | 1,6                                    | 0,006             | 0,033                               | 1,64–1,66                 | 0,006         | 10,04 |
| 2–6                                  | 2,3                                    | 0,013             | 0,072                               | 2,31–2,38                 | 0,011–0,014   | 13,87 |
| 6–10                                 | 2,0                                    | 0,008             | 0,044                               | 1,98–2,00                 | 0,007–0,009   | 12,20 |

Для каждой широтной зоны тренды аномалий средних годовых значений числа ОС с количеством облачности 0–20 и 0–100 % поверхности небосвода минимальны для слоя 0–2 км, а максимальны в основном для слоя 2–6 км (табл. 2 и 3). При рассмотрении малобалльных ОС среднего яруса тренды максимальны для ТРШ, а минимальны для СПШ; для ОС с количеством облачности 0–100 % – минимальны для СПШ, а максимальны для ЮПШ. Для нижнего, среднего и верхнего яруса наибольшие тренды аномалий средних годовых значений числа ОС с количеством облачности 0–100 % поверхности небосвода определены для ЮПШ (0,018, 0,026, 0,022  $n/10$  лет), а минимальные – для СПШ (0,006, 0,014, 0,013  $n/10$  лет). Заметим, что для СУШ соответствующие тренды для слоя 6–10 км тоже малы (0,013  $n/10$  лет).

Относительно средних годовых значений числа ОС рассеянной и разорванной облачности (табл. 4 и 5) отметим их относительную стабильность как при рассмотрении разных ярусов облаков над каждой широтной зоной, так и их изменений в одном атмосферном слое над разными широтными зонами. Действительно, для каждой широтной зоны различие средних годовых

значений числа ОС рассеянной облачности в слоях атмосферы 0–2, 2–6, 6–10 км не превышает 0,2 слоя, а для каждого яруса над разными широтными зонами – 0,1 слоя. Средние годовые значения числа ОС разорванных облаков в слоях 0–2, 2–6, 6–10 км над всеми широтными зонами совпадают и равны 1,0, 1,1, 1,1 соответственно. Тренды аномалий средних годовых значений числа ОС рассеянной и разорванной облачности в разных ярусах также изменяются мало для каждой широтной зоны и для каждого яруса над разными широтными зонами: их различие в первом и во втором случаях не превышает 0,005  $n/10$  лет. Над ЮПШ отмечены максимальные тренды для ОС рассеянной и разорванной облачности всех ярусов.

Таблица 4

**Статистические характеристики числа облачных слоёв рассеянной облачности в разных атмосферных слоях для разных широтных зон ЗШ. 1964–2018 гг.**

| Слои атмосферы над уровнем земли, км | Средние годовые значения числа ОС, $n$ | $tr$ , $n/10$ лет | Изменения числа ОС за 1964–2018 гг. | $\Delta_{\text{средние}}$ | $\Delta_{tr}$ | $N$  |
|--------------------------------------|----------------------------------------|-------------------|-------------------------------------|---------------------------|---------------|------|
| Северные полярные широты             |                                        |                   |                                     |                           |               |      |
| 0–2                                  | 1,2                                    | 0,002             | 0,011                               | 1,22–1,73                 | 0,002         | 0,29 |
| 2–6                                  | 1,2                                    | 0,003             | 0,017                               | 1,20–1,21                 | 0,002–0,003   | 0,39 |
| 6–10                                 | 1,3                                    | 0,004             | 0,022                               | 1,27–1,36                 | 0,003–0,004   | 0,46 |
| Северные умеренные широты            |                                        |                   |                                     |                           |               |      |
| 0–2                                  | 1,1                                    | 0,002             | 0,011                               | 1,12–1,13                 | 0,002         | 2,75 |
| 2–6                                  | 1,2                                    | 0,003             | 0,017                               | 1,17–1,19                 | 0,002–0,003   | 3,16 |
| 6–10                                 | 1,2                                    | 0,003             | 0,017                               | 1,21–1,27                 | 0,002–0,003   | 4,07 |
| Тропические широты                   |                                        |                   |                                     |                           |               |      |
| 0–2                                  | 1,2                                    | 0,002             | 0,011                               | 1,15–1,16                 | 0,002–0,003   | 2,06 |
| 2–6                                  | 1,2                                    | 0,003             | 0,017                               | 1,19–1,21                 | 0,003–0,004   | 1,61 |
| 6–10                                 | 1,2                                    | 0,003             | 0,017                               | 1,22–1,24                 | 0,003         | 1,43 |
| Южные умеренные широты               |                                        |                   |                                     |                           |               |      |
| 0–2                                  | 1,1                                    | 0,003             | 0,017                               | 1,14–1,15                 | 0,003         | 0,41 |
| 2–6                                  | 1,2                                    | 0,004             | 0,022                               | 1,20–1,21                 | 0,004         | 0,35 |
| 6–10                                 | 1,3                                    | 0,004             | 0,022                               | 1,24–1,26                 | 0,003–0,004   | 0,42 |

Окончание табл. 4

| Слои атмосферы над уровнем земли, км | Средние годовые значения числа ОС, $\bar{n}$ | $\bar{tr}$ , $\bar{n}/10$ лет | Изменения числа ОС за 1964–2018 гг. | $\Delta_{\text{средние}}$ | $\Delta_{\bar{tr}}$ | $N$  |
|--------------------------------------|----------------------------------------------|-------------------------------|-------------------------------------|---------------------------|---------------------|------|
| Южные полярные широты                |                                              |                               |                                     |                           |                     |      |
| 0–2                                  | 1,1                                          | 0,005                         | 0,028                               | 1,13–1,16                 | 0,005–0,006         | 0,03 |
| 2–6                                  | 1,2                                          | 0,007                         | 0,038                               | 1,23–1,29                 | 0,007–0,008         | 0,04 |
| 6–10                                 | 1,3                                          | 0,008                         | 0,044                               | 1,24–1,39                 | 0,006–0,011         | 0,04 |
| Земной шар                           |                                              |                               |                                     |                           |                     |      |
| 0–2                                  | 1,1                                          | 0,002                         | 0,011                               | 1,14–1,15                 | 0,002               | 3,57 |
| 2–6                                  | 1,2                                          | 0,003                         | 0,017                               | 1,19–1,20                 | 0,002–0,003         | 3,40 |
| 6–10                                 | 1,3                                          | 0,002                         | 0,011                               | 1,24–1,27                 | 0,002–0,003         | 3,74 |

Таблица 5

**Статистические характеристики числа облачных слоёв разорванной облачности в разных атмосферных слоях для разных широтных зон ЗШ. 1964–2018 гг.**

| Слои атмосферы над уровнем земли, км | Средние годовые значения числа ОС, $\bar{n}$ | $\bar{tr}$ , $\bar{n}/10$ лет | Изменения числа ОС за 1964–2018 гг. | $\Delta_{\text{средние}}$ | $\Delta_{\bar{tr}}$ | $N$  |
|--------------------------------------|----------------------------------------------|-------------------------------|-------------------------------------|---------------------------|---------------------|------|
| Северные полярные широты             |                                              |                               |                                     |                           |                     |      |
| 0–2                                  | 1,0                                          | 0,001                         | 0,006                               | 1,02–1,03                 | 0,001               | 0,12 |
| 2–6                                  | 1,1                                          | 0,001                         | 0,006                               | 1,08–1,09                 | 0,001–0,002         | 0,28 |
| 6–10                                 | 1,1                                          | 0,003                         | 0,017                               | 1,11–1,14                 | 0,002–0,003         | 0,36 |
| Северные умеренные широты            |                                              |                               |                                     |                           |                     |      |
| 0–2                                  | 1,0                                          | 0,001                         | 0,006                               | 1,02–1,03                 | 0,001               | 1,24 |
| 2–6                                  | 1,1                                          | 0,001                         | 0,006                               | 1,07–1,08                 | 0,001               | 2,01 |
| 6–10                                 | 1,1                                          | 0,002                         | 0,011                               | 1,08–1,10                 | 0,001–0,002         | 2,45 |
| Тропические широты                   |                                              |                               |                                     |                           |                     |      |
| 0–2                                  | 1,0                                          | 0,001                         | 0,006                               | 1,03–1,04                 | 0,001               | 0,91 |
| 2–6                                  | 1,1                                          | 0,001                         | 0,006                               | 1,06–1,07                 | 0,001–0,002         | 0,88 |
| 6–10                                 | 1,1                                          | 0,002                         | 0,011                               | 1,07–1,08                 | 0,002               | 0,64 |
| Южные умеренные широты               |                                              |                               |                                     |                           |                     |      |
| 0–2                                  | 1,0                                          | 0,002                         | 0,011                               | 1,02–1,03                 | 0,002               | 0,13 |
| 2–6                                  | 1,1                                          | 0,003                         | 0,017                               | 1,07–1,08                 | 0,003               | 0,19 |
| 6–10                                 | 1,1                                          | 0,003                         | 0,017                               | 1,09–1,11                 | 0,003–0,004         | 0,24 |

Окончание табл. 5

| Слои атмосферы над уровнем земли, км | Средние годовые значения числа ОС, $n$ | $tr$ , $n/10$ лет | Изменения числа ОС за 1964–2018 гг. | $\Delta$ средние | $\Delta tr$ | $N$  |
|--------------------------------------|----------------------------------------|-------------------|-------------------------------------|------------------|-------------|------|
| Южные полярные широты                |                                        |                   |                                     |                  |             |      |
| 0–2                                  | 1,0                                    | 0,003             | 0,017                               | 1,00–1,01        | 0,002–0,004 | 0,09 |
| 2–6                                  | 1,1                                    | 0,004             | 0,022                               | 1,09–1,11        | 0,004–0,005 | 0,02 |
| 6–10                                 | 1,1                                    | 0,006             | 0,033                               | 1,10–1,13        | 0,004–0,007 | 0,02 |
| Земной шар                           |                                        |                   |                                     |                  |             |      |
| 0–2                                  | 1,0                                    | 0,001             | 0,006                               | 1,03–1,04        | 0,001       | 1,47 |
| 2–6                                  | 1,1                                    | 0,001             | 0,006                               | 1,07–1,08        | 0,001       | 2,01 |
| 6–10                                 | 1,1                                    | 0,002             | 0,011                               | 1,09–1,10        | 0,002       | 2,10 |

Средние месячные значения числа ОС рассеянной облачности в разных ярусах над широтными зонами изменяются в следующих диапазонах (табл. 4): в нижнем ярусе – 1,12–1,73 с минимальным и максимальным значениями, зафиксированными для СУШ и СПШ; в среднем и верхнем ярусах – 1,17–1,29 и 1,21–1,39 с минимальным и максимальным значениями, определёнными для СУШ и ЮПШ соответственно.

Для ОС разорванной облачности в изучаемых широтных зонах средние месячные значения числа изменяются в следующих пределах (табл. 5): в нижнем ярусе – 1,00–1,04 с минимальным и максимальным значениями, определёнными для ЮПШ и ТРШ; в среднем ярусе – 1,06–1,11 с минимальным и максимальным значениями, зафиксированными для ТРШ и ЮПШ; в верхнем ярусе – 1,07–1,14 с минимальным и максимальным значениями, зафиксированными для ТРШ и СПШ соответственно.

Для сплошных ОС (табл. 6) средние годовые значения их числа максимальны в верхнем ярусе для СПШ и ЮУШ, для остальных широтных зон – также в среднем ярусе; минимальны – в нижнем ярусе для полярных и умеренных широт обоих полушарий; для ТРШ они равны для всех ярусов. Амплитуды изменения средних годовых значений числа сплошных ОС в атмосферных слоях 0–2, 2–6, 6–10 км над изучаемыми широтами равны 0,1, 0,4, 0,4 слоя

соответственно. Число сплошных ОС в каждом ярусе уменьшается в направлении от полярных широт к тропическим.

Таблица 6

**Статистические характеристики числа сплошных облачных слоёв в разных атмосферных слоях для разных широтных зон 3Ш. 1964–2018 гг.**

| Слои атмосферферы над уровнем земли, км | Средние годовые значения числа ОС, $\bar{n}$ | $\sigma$ , $n/10$ лет | Изменения числа ОС за 1964–2018 гг. | $\Delta_{\text{средние}}$ | $\Delta_{\sigma}$ | $N$  |
|-----------------------------------------|----------------------------------------------|-----------------------|-------------------------------------|---------------------------|-------------------|------|
| Северные полярные широты                |                                              |                       |                                     |                           |                   |      |
| 0–2                                     | 1,7                                          | 0,006                 | 0,033                               | 1,60–1,78                 | 0,005–0,007       | 1,09 |
| 2–6                                     | 1,8                                          | 0,011                 | 0,061                               | 1,78–1,80                 | 0,008–0,013       | 1,01 |
| 6–10                                    | 1,9                                          | 0,012                 | 0,066                               | 1,78–1,99                 | 0,010–0,014       | 0,95 |
| Северные умеренные широты               |                                              |                       |                                     |                           |                   |      |
| 0–2                                     | 1,6                                          | 0,006                 | 0,033                               | 1,56–1,63                 | 0,006–0,007       | 8,75 |
| 2–6                                     | 1,7                                          | 0,007                 | 0,038                               | 1,65–1,68                 | 0,006–0,008       | 7,44 |
| 6–10                                    | 1,7                                          | 0,009                 | 0,050                               | 1,59–1,77                 | 0,008–0,009       | 5,95 |
| Тропические широты                      |                                              |                       |                                     |                           |                   |      |
| 0–2                                     | 1,6                                          | 0,007                 | 0,038                               | 1,56–1,62                 | 0,006–0,007       | 4,98 |
| 2–6                                     | 1,6                                          | 0,007                 | 0,038                               | 1,57–1,62                 | 0,006–0,007       | 3,52 |
| 6–10                                    | 1,6                                          | 0,010                 | 0,055                               | 1,61–1,62                 | 0,009–0,010       | 1,98 |
| Южные умеренные широты                  |                                              |                       |                                     |                           |                   |      |
| 0–2                                     | 1,6                                          | 0,008                 | 0,044                               | 1,56–1,60                 | 0,008–0,009       | 1,04 |
| 2–6                                     | 1,7                                          | 0,012                 | 0,066                               | 1,71–1,74                 | 0,011–0,012       | 0,76 |
| 6–10                                    | 1,8                                          | 0,016                 | 0,088                               | 1,75–1,82                 | 0,014–0,017       | 0,55 |
| Южные полярные широты                   |                                              |                       |                                     |                           |                   |      |
| 0–2                                     | 1,7                                          | 0,014                 | 0,077                               | 1,56–1,72                 | 0,013–0,014       | 0,08 |
| 2–6                                     | 2,0                                          | 0,021                 | 0,116                               | 1,98–2,10                 | 0,020–0,022       | 0,08 |
| 6–10                                    | 2,0                                          | 0,020                 | 0,110                               | 1,96–2,10                 | 0,018–0,022       | 0,05 |
| Земной шар                              |                                              |                       |                                     |                           |                   |      |
| 0–2                                     | 1,6                                          | 0,006                 | 0,033                               | 1,59–1,61                 | 0,006             | 9,77 |
| 2–6                                     | 1,7                                          | 0,008                 | 0,044                               | 1,68–1,70                 | 0,007–0,009       | 7,73 |
| 6–10                                    | 1,7                                          | 0,010                 | 0,055                               | 1,68–1,85                 | 0,009–0,011       | 5,48 |

Для сплошных ОС средние месячные значения их числа в разных ярусах над всеми широтными зонами изменяются в следующих пределах (табл. 6): в нижнем ярусе – 1,56–1,78 с минимальным значением, зафиксированным для всех широт,

кроме СПШ, и максимальным, определённым для СПШ; в среднем ярусе – 1,57–2,10 с минимальным и максимальным значениями, зафиксированными для ТРШ и ЮПШ соответственно; в верхнем ярусе – 1,59–2,10 с минимальным и максимальным значениями, зафиксированными для СУШ и ЮПШ соответственно.

### Заключение

В итоге анализа результатов расчётов, выполненных на основе данных радиозондирования атмосферы за 1964–2018 гг. с использованием СЕ-метода для восстановления границ и количества облачности, получены новые знания о пространственно-временных изменениях числа восстановленных облачных слоёв в атмосферном слое 0–10 км над уровнем земли для разных широтных зон ЗШ, а именно установлено:

- Среднегодовые значения числа ОС с количеством облачности 0–100 % поверхности небосвода слабо зависят от широтной зоны: они изменяются в диапазоне 6,3–6,9  $n$ ; тренды соответствующих аномалий монотонно увеличиваются в направлении от СПШ к ЮПШ, для которых составляют 0,031 и 0,066  $n/10$  лет; для ЗШ среднегодовые значения равны 6,6 и тренды – 0,036  $n/10$  лет. За период наблюдений 1964–2018 гг. число ОС с количеством облачности 0–100 % поверхности небосвода в слое 0–10 км увеличилось для СПШ, СУШ, ТРШ, ЮУШ, ЮПШ, ЗШ на 0,17, 0,20, 0,24, 0,25 0,36 и 0,20 облачных слоя соответственно.

- Для изучаемых широтных зон средние значения (для месяцев, сезонов, года) числа ОС и тренды соответствующих аномалий зависят от количества облачности: их значения для градаций 0–20 и 80–100 % поверхности небосвода существенно больше, чем для градаций 20–60, 60–80 %. Наибольшие значения средних годовых числа ОС и соответствующих трендов для СПШ и ЮПШ определены для сплошных ОС, а для ТРШ, СУШ и ЮУШ, а также для ЗШ – для малобалльных ОС. За период наблюдений 1964–2018 гг. число сплошных ОС в слое 0–10 км увеличилось на 0,13, 0,09, 0,09, 0,15, 0,25 и 0,09, а число малобалльных ОС – на 0,09, 0,14, 0,18, 0,15, 0,17, и 0,13 облачных слоя для СПШ, СУШ, ТРШ, СУШ, ЮПШ, ЗШ соответственно.

- Максимальные тренды аномалий средних годовых значений числа ОС с количеством облачности 0–100 % поверхности небосвода определены в среднем ярусе для всех изучаемых широтных зон.

Причинами долгопериодных изменений числа ОС, восстановленных по вертикальным радиозондовым профилям температуры и влажности, могут являться зафиксированные по данным наблюдений климатические изменения температуры и влажности на уровне земли и в атмосфере [2, 30, 32, 42–48], количества облачности и повторяемости её различных форм [49–52], а также долгопериодные изменения характеристик радиозондирования в исторических аэрологических массивах, обусловленные развитием системы радиозондовых наблюдений [10, 11, 36, 53–58]. В [10] на основе данных радиозондовых измерений, проводимых на 58 российских и зарубежных аэрологических станциях за период 1964–2019 гг., было установлено, что увеличение числа передаваемых уровней в аэрологической телеграмме, сопровождающееся уменьшением расстояния между уровнями зондирования, является необходимым, но не достаточным условием увеличения числа ОС.

Полученные оценки числа ОС и их пространственно-временных изменений могут быть полезны при климатических исследованиях в атмосфере, для оценки условий распространения электромагнитных волн.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алдухов О. А., Черных И. В. Методы анализа и интерпретации данных радиозондирования атмосферы. Т. 2. Восстановленные облачные слои. Обнинск: ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД», 2013. 152 с.
2. Алдухов О. А., Черных И. В. Методы анализа и интерпретации данных радиозондирования атмосферы. Т. 3. Влажность и температура в атмосфере: статистические характеристики. Обнинск: ВНИИГМИ-МЦД, 2015. 494 с.
3. Асмус В. В., Загребаев В. А., Макриденко Л. А. и др. Система полярно-орбитальных метеорологических спутников серии «Метеор-М» // Метеорология и гидрология. 2014. № 12. С. 5–16.
4. Дубровина Л. С. Облака и осадки по данным самолётного зондирования. Л.: Гидрометеиздат, 1982. 216 с.

5. Кондратьев К. Я., Биненко В. И. Влияние облачности на радиацию и климат. Л.: Гидрометеиздат, 1984. 240 с.
6. Фейгельсон Е. М. Лучистый теплообмен и облака. Л.: Гидрометеиздат, 1970. 230 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. Оценки числа облачных слоёв по данным радиозондирования атмосферы за 1964–2014 гг. на российских станциях // Метеорология и гидрология. 2018. № 3. С. 29–39.
9. Черных И. В., Алдухов О. А. 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.
10. Черных И. В., Алдухов О. А. Долгопериодные пространственно-временные изменения числа восстановленных по радиозондовым профилям облачных слоёв для российских станций // Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2020. Вып. 187. С. 35–61.
11. Eskridge R. E., Alduchov O. A., Chernykh I. V., Zhai P., Polansky A. C., Doty S. R. A comprehensive aerological reference dataset (CARDS): rough and systematic errors // Bull. Amer. Meteorol. Soc. 1995. V. 76, N 10. P. 1759–1775.
12. Chernykh I. V., Alduchov O. A., Eskridge R. E. Trends in low and high cloud boundaries and Errors in height determination of cloud boundaries // Bull. Amer. Meteorol. Soc. 2001. V. 82, N 9. P. 1941–1947.
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. V. 49. P. 2492–2507.
14. McBride P. J., Schmidt K. S., Pilewskie P. et al. CalNex cloud properties retrieved from a ship-based spectrometer and comparisons with satellite and aircraft retrieved cloud properties // J. Geophys. Res. Atmos. 2012, V. 117(D21). URL: <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1029/2012JD017624> (дата обращения: 10.03.2022). DOI: 10.1029/2012JD017624.
15. 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. V. 99. P. 569–581.
16. Алдухов О. А. и др. Архив текущей аэрологической информации АЭРОСТАБ. Описание архива. Обнинск: ВНИИГМИ-МЦД, 1990. 28 с.
17. Алдухов О. А., Черных И. В. Методы анализа и интерпретации данных радиозондирования атмосферы. Т. 1. Контроль качества и обработка данных. Обнинск: ВНИИГМИ-МЦД, 2013. 306 с.

18. Руденкова Т.В. Формат архивации текущих аэрологических данных, поступающих по каналам связи для ПЭВМ // Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2010. Вып. 174. С. 41–63.
19. Durre I., Vose R. S., Wuertz D. B. Overview of the Integrated Global Radiosonde Archive // J. Climate. 2006. V. 19, N 1. P. 53–68.
20. 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.
21. Chernykh I. V., Eskridge R. E. Determination of cloud amount and level from radiosonde soundings // J. Appl. Meteorol. 1996. V. 35. P. 1362–1369.
22. Naud C. M., Muller J. P., Clothiaux E. E. Comparison between active sensor and radiosonde cloud boundaries over the ARM Southern Great Plains site // J. Geophys. Res. 2003. V. 108, N D4. P. 3-1–3-12.
23. Rossow W. B., Zhang Y., Wang J. A statistical model of cloud vertical structure based on reconciling cloud layer amounts inferred from satellites and radiosonde humidity profiles // J. Climate. 2005. V. 18. P. 3587–3605.
24. Wang J., Rossow W. Determination of cloud vertical structure from upper-air observations // J. Appl. Meteorol. 1995. V. 34. P. 2243–2258.
25. Wang J., Rossow W., Zhang J. Cloud vertical structure and its variations from a 20-yr global rawinsonde dataset // J. Climate. 2000. V. 13. P. 3041–3056.
26. Zhang J., Li Z., Chen H., Cribb M. Validation of radiosonde-based cloud layer detection method against a ground-based remote sensing method at multiple ARM sites // J. Geophys. Res. Atmos. 2013. V. 118. P. 846–858.
27. Aldukhov O. A., Eskridge R. E. Complex Quality Control of Upper Air Parameters at Mandatory and Significant Levels for the CARDS Dataset. Asheville, NC, National Climatic Data Center Report, 1996. 151 p.
28. Алдухов О. А., Черных И. В. Вертикальная структура многолетних статистических характеристик скорости ветра в нижнем слое тропосферы над земным шаром по результатам радиозондирования атмосферы за 1964–2018 гг. // Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2021. Вып. 188. С. 57–70.
29. Алдухов О. А., Черных И. В. Географическое распределение трендов первого и второго порядка аномалий среднегодовой температуры воздуха на разных высотах в атмосферном слое 0–2 км над Арктикой по результатам радиозондовых наблюдений за 1964–2018 гг. // Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2021. Вып. 188. С. 93–114.
30. 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 N 50. WCRP Report N 12/2020 / Ed. E. Astakhova. July 2020, WMO, Geneva. Research Activities in Earth System Modelling (WGNE Blue Book 2020). URL: <http://bluebook.meteoinfo.ru/> (дата обращения: 10.03.2022), 2020. P. 2-03–2-04.

31. *Aldukhov O. A., Chernykh I. V.* First and second-order trends of wind speed in the 0–30 km atmospheric layer from global aerological datasets // Research activities in Earth system modelling. Working Group on Numerical Experimentation. Report N 51. WCRP Report N 4/2021 / Ed. E. Astakhova. July 2021, WMO, Geneva. Research Activities in Earth System Modelling (WGNE Blue Book 2021). URL: <http://bluebook.meteoinfo.ru/> (дата обращения: 10.03.2022), 2021. P. 2-05–2-06.
32. *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 N 50. WCRP Report N 12/2020 / Ed. E. Astakhova. July 2020, WMO, Geneva. Research Activities in Earth System Modelling (WGNE Blue Book 2020), URL: <http://bluebook.meteoinfo.ru/> (дата обращения: 10.03.2022), 2020. P. 2-07–2-08.
33. *Aldukhov O. A., Chernykh I. V.* Spatiotemporal distributions of global trends of water vapour amount in the 0–30 km atmospheric layer // Research activities in Earth system modelling. Working Group on Numerical Experimentation. Report N 51. WCRP Report N 4/2021 // Ed. E. Astakhova. July 2021, WMO, Geneva. Research Activities in Earth System Modelling (WGNE Blue Book 2021). URL: <http://bluebook.meteoinfo.ru/> (дата обращения: 10.03.2022), 2021. P. 2-03–2-04.
34. *Chernykh I. V., Aldukhov O. A.* Trends of the number of cloud layers from global radiosounding data // Research activities in Earth system modelling. Working Group on Numerical Experimentation. Report N 51. WCRP Report N 4/2021 / Ed. E. Astakhova. July 2021, WMO, Geneva. URL: <http://bluebook.meteoinfo.ru/> (дата обращения: 10.03.2022), 2021. P. 2-07–2-08.
35. *Aldukhov O. A., Chernykh I. V.* Trends of wind speed in low troposphere from global radiosonde data // Research activities in Atmospheric and Oceanic Modelling (WGNE Blue Book 2019). URL: <http://bluebook.meteoinfo.ru/> (дата обращения: 10.03.2022), 2019. P. 2-03–2-04.
36. *Зайцева Н. А.* Аэрология. Л.: Гидрометеиздат, 1990. 325 с.
37. *Де Бор К.* Практическое руководство по сплайнам. М.: Радио и связь, 1985. 304 с.
38. *Стечкин С. Б., Субботин Ю. Н.* Сплаины в вычислительной математике. М.: Наука, 1976. 248 с.
39. *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.
40. *Беспалов Д. П., Девяткин А. М., Довгалак Ю. А. и др.* Атлас облаков. СПб.: Д'АРТ, 2011. 248 с.
41. *World Meteorological Organization.* International Cloud Atlas. Geneva: WMO, 1956. 72 plates. 62 p.

42. Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2016 год. М.: Росгидромет, 2017. 70 с.

43. 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.

44. 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.

45. 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. М.: Институт глобального климата и экологии Росгидромета и РАН, 2003. 384 с.

46. 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). WMO. Geneva. Switzerland. URL: <http://wgne.meteoinfo.ru/> (дата обращения: 10.03.2022). 2009. P. 2.3–2.4.

47. 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.

48. 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.

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

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

51. 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.

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

53. 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.

54. *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. V. 84. P. 241–247.
55. *Chernykh I. V., Alduchov O. A.* Detection of cloudiness from temperature and humidity profiles for different resolution of radiosonde sounding by various methods // Research Activities in Atmospheric and Oceanic Modelling (WGNE Blue Book). Geneva: WMO. 2002. N 32. P. 2.5–2.6.
56. *Alduchov O. A., Eskridge R. E.* Improved Magnus form approximation of saturation vapor pressure // J. Appl. Meteorol. 1996. V. 35. P. 601–609.
57. *Gaffen D. J., Ross R. J.* Climatology and trends of U.S. surface humidity and temperature // J. Climate. 1999. V. 12. P. 811–827.
58. *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. V. 73. P. 1417–1423.

УДК 551.501.771

## **НЕКОТОРЫЕ СЕЗОННЫЕ ОСОБЕННОСТИ ИЗМЕНЕНИЙ ОТНОСИТЕЛЬНОЙ ВЛАЖНОСТИ ВОЗДУХА В РАЗЛИЧНЫХ ПРИРОДНО-КЛИМАТИЧЕСКИХ ЗОНАХ РОССИИ**

***В. Н. Кузнецова<sup>1</sup>, Н. В. Швець<sup>2</sup>***

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

*<sup>1</sup> kuznezova@meteo.ru, <sup>2</sup> schvets@meteo.ru*

### **Введение**

Климатические пояса России – уникальное явление. Ни одна другая страна не может похвастаться подобным разбросом климатических условий. Этому феномену способствует огромная территория, неоднородность расположения водоёмов, перепады высот и широкое разнообразие рельефа: от высочайших кавказских хребтов до равнин, лежащих ниже уровня моря, а также влияние Атлантического и Тихого океанов на воздушные массы.

Собирательная характеристика российского климата – суровые погодные условия с затяжной и морозной зимой, прохладное лето с сильными осадками. Однако не всё так просто – в рамках каждого из поясов происходят наиболее значимые климатические изменения.

Карта климатических поясов России включает 5 основных типов с севера на юг: арктический, субарктический, умеренный, муссонный и субтропический [1]. Преобладающая часть территории России и почти вся европейская территория лежат в поясе климата умеренных широт. Значительная часть азиатской территории России относится к арктическому и субарктическому климатическим поясам. Лишь небольшая территория Кавказа и Крыма относятся к субтропическому климатическому поясу, к муссонному климатическому поясу – побережье Дальнего Востока.

Ввиду значительности площадей, относящихся к каждому поясу, и разнообразия климатических условий в пределах этих

площадей, каждый тип климата делится на несколько подтипов с устоявшимся температурным и влажностным режимом и имеет общие закономерности в условиях радиационного режима и атмосферной циркуляции.

Выбор средств классификации климата проводился в соответствии с современным состоянием науки, наличием информации и развитием системы наблюдений.

Существует ряд методик классификаций климата и районирования в зависимости от решения практических задач и возможностей. Наиболее известны ландшафтно-ботанические (Берга Л. С.), гидрологические (Кузин В. П.), сельскохозяйственные (Селянинов Т. Г.), классификации на основе циркуляции и теплового баланса (Каминский А. А., Алисов Б. П., Будыко М. И. и Григорьев А. А.), которые по мере развития системы наблюдений и науки в целом усовершенствуются [2]. Для анализа закономерностей формирования климата в рамках глобальной системы, для применения климатологии в решении практических задач важно выбрать классификацию или районирование, учитывающие климатический комплекс с комплексом природных условий и ландшафтно-географических зон. Удачное районирование при глобальных климатологических исследованиях, особенно при осреднении, позволит выделить оптимальные районы, имеющие общие черты климата.

Предметом данного исследования является относительная влажность воздуха ( $f$ ), представляющая собой отношение фактической упругости водяного пара ( $e$ ) к максимальной упругости водяного пара ( $E$ ) (насыщающей упругости) при той же температуре воздуха, выраженное в процентах (%). Может принимать значения от 0 до 100 %. Известно, что насыщающая упругость водяного пара зависит напрямую от температуры воздуха [3], отсюда, как следствие и упругость водяного пара ( $e$ ) в своём среднем распределении соответствует распределению температуры, однако неоднородность подстилающей поверхности и адвекция воздушных масс сильно сказываются на содержании водяного пара в воздухе [4], ослабевая или меняя эту зависимость.

Проведённые нами ранее исследования изменений относительной влажности воздуха по подтипам климата или так называемым климатическим районам (рис. 1 в [5]) показали зависимость её в большей степени от типа подстилающей поверхности в сочетании с природно-климатическими зонами.

Целью настоящей работы является продолжение анализа изменений относительной влажности воздуха по основным природно-климатическим зонам России, взяв за основу тип подстилающей поверхности.

Была поставлена задача обнаружить районы, имеющие одинаковую тенденцию изменения относительной влажности воздуха и сходные по природно-климатическим, географическим и циркуляционным факторам для дальнейшего усовершенствования глобальных исследования режима относительной влажности воздуха на континентальной части России.

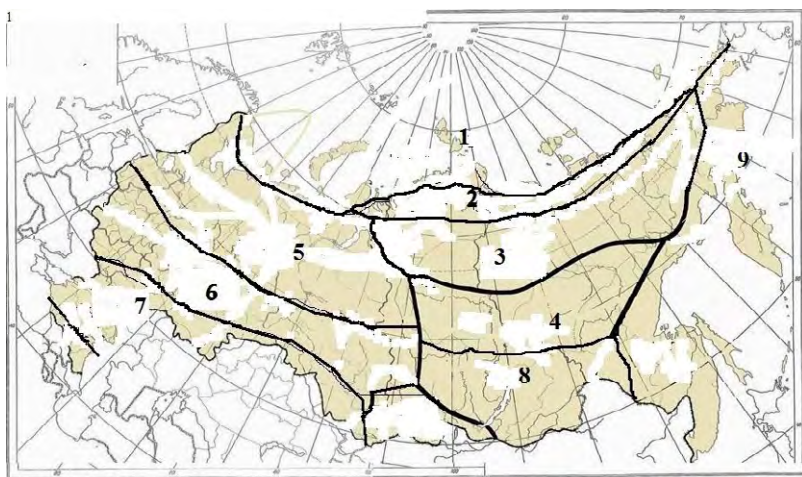
За основу районирования были взяты получившая наибольшее признание на территории России классификация Алисова (учитывающая особенности радиационного режима и циркуляции атмосферы) [1] в сочетании с районированием А. А. Каминского по дневной относительной влажности воздуха [2] с учётом типа подстилающей поверхности [6].

В результате были выделены 9 основных районов, имеющих типичный для каждого района одинаковый годовой ход относительной влажности воздуха [5]: 1 – муссонный арктический (МА); 2 – район льдов и ледяной тундры (ЛТ); 3 – субарктический (СА – север Восточной Сибири); 4 – Якутия (центр Восточной Сибири – ЦВС); 5 – тайга (сюда относятся широколиственные и смешанные леса) (Т); 6 – лесостепи (ЛС); 7 – степи (С); 8 – юг Восточной Сибири (ЮВС): Предбайкалье, Забайкалье и Бурятия; 9 – муссонный тихоокеанский (МТ).

Карта-схема районов представлена на рис. 1.

### **Данные**

Для исследования изменений режима влажности исходным материалом послужил базовый массив относительной влажности воздуха ( $f$ ), представляющий собой постанционные ряды



*Рис. 1. Карта-схема основных природно-климатических зон России. Выбор станций внутри района осуществлялся по той же методике, что и в [5] – по типу годового хода, свойственному каждому району.*

среднемесячных значений относительной влажности воздуха 572 станций России, имеющих ряды наблюдений с 1966 по 2020 год. В базовый массив включены данные однородных длиннорядных станций, равномерно расположенных на территории России. Вся информация проконтролирована [7] и соответствует требованиям, предъявляемым к данным в задачах исследования изменения климата. Базовый массив был дополнен ввиду редкой сети северными станциями, входящими в арктический и субарктический пояс и относящимися к району Арктики, исследованию которого уделяется в настоящее время особое внимание. Добавленные станции позволили выделить для анализа дополнительный отдельный район – это район льдов и ледяной тундры (ЛТ), находящийся у семидесятой параллели на азиатской территории России. Данный район имеет особенный годовой ход относительной влажности воздуха с двумя максимумами (рис. 26) весной и осенью, которые связаны со стабильно низкими температурами арктического климатического пояса. В сочетании с осадками выделенный район в переходные сезоны сопровождается излишней

влажностью. Возможно, это явление связано с неспособностью пара полностью испариться.

Оценка изменений влажности воздуха получена на основе анализа линейных трендов, характеризующих среднюю скорость изменения исследуемой величины.

Исследование изменений 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: значимость коэффициентов линейного тренда оценивалась по критерию Стьюдента [8]. Для исключения влияния годового хода в исследованиях изменчивости влажности использовались не сами среднемесячные значения, а их аномалии ( $\Delta f$ ). Для расчёта аномалий (отклонений наблюдаемых значений от нормы) в качестве нормы использовались обновлённые нормы за период 1981–2010 гг., поскольку, как отмечено в [9], 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 проводился по центральным месяцам сезона.

### Результаты

По временным рядам пространственно-осреднённых аномалий относительной влажности воздуха ( $\Delta f$ ) были рассчитаны для центральных месяцев сезонов тренды относительной влажности воздуха (%/10 лет) за период с 1966 по 2020 год, которые представлены в табл. 1.

При оценке тренда важно также получить оценку его значимости, т.е. установить, насколько существен его вклад в изменение случайного процесса. В данной работе рассчитанный критерий Стьюдента сравнивался с его критическим значением на 5 %-ном уровне значимости.

Таблица 1

**Коэффициенты линейных трендов сезонных аномалий  
среднемесячной относительной влажности воздуха ( $\Delta f$ ),  
осреднённых по природно- климатическим районам России  
за период 1966–2020 гг. (% / 10 лет) (\* помечены тренды,  
значимые при заданном 5 %-ном уровне значимости)**

| Районы \ Сезоны                  | Январь | Апрель | Июль  | Октябрь |
|----------------------------------|--------|--------|-------|---------|
| 1 – Муссонный арктический (МА)   | -0,1   | 0,1    | -0,3* | 0,3*    |
| 2 – Льды, ледяная тундра (ЛТ)    | 0,0    | -0,0   | -0,3* | 0,3*    |
| 3 – Субарктический (СА)          | 0,2*   | 0,0    | 0,5*  | 0,6*    |
| 4 – Якутия (ЦВС)                 | 0,5*   | 0,1    | 0,8*  | 0,7*    |
| 5 – Тайга (Т)                    | 0,5*   | -0,5*  | 0,1   | 0,4*    |
| 6 – Лесостепи (ЛС)               | 0,5*   | -0,5*  | -0,4* | -0,2    |
| 7 – Степи (С)                    | 0,4*   | -1,0*  | -0,8* | -0,3*   |
| 8 – Юг Восточной Сибири (ЮВС)    | -0,0   | -0,4*  | -0,4* | 0,2     |
| 9 – Муссонный тихоокеанский (МТ) | -0,3*  | -0,1   | 0,0   | -0,1    |

*Примечание:* красным шрифтом выделены положительные значения коэффициента линейного тренда; фоном выделены объединяемые районы.

Перейдём к описанию тенденций изменения относительной влажности воздуха по сезонам. Зимой почти во всех природных зонах России прослеживается чёткая закономерность увеличения положительных аномалий среднемесячных значений относительной влажности воздуха (табл. 1). Наибольшие положительные тренды  $\Delta f$  отмечены в лесостепных и степных зонах: здесь коэффициент линейного тренда доходит до +0,4...+0,5 % / 10 лет; причём почти везде они статистически значимы. Возможно, это связано с повышением зимней температуры [10, 11] и увеличением количества оттепелей [12], а для ЕТР и Западной Сибири – дополнительным фактором служит циркуляция – влияние влажного атлантического воздуха [13]. Все эти факторы приводят к увеличению концентрации водяного пара в воздухе. Незначительное уменьшение влажности отмечается лишь в районах с муссонным характером погоды – районы 1 и 9.

Весной (табл. 1) наблюдается противоположная картина: в большей части территории России наблюдается уменьшение

относительной влажности воздуха: коэффициент линейного тренда составляет от  $-0,1 \text{ \%}/10$  лет на севере АТР (районы 1 и 2) до  $-1,0 \text{ \%}/10$  лет – в степных районах России. Такое уменьшение относительной влажности связано с резким повышением температуры воздуха в апреле и малым содержанием водяного пара после зимнего вымораживания [14]. Небольшие положительные тренды  $0,1 \text{ \%}/10$  лет отмечаются лишь в центре Восточной Сибири и на Крайнем Севере ЕТР, находящемся под влиянием Северной Атлантики, но коэффициенты линейного тренда здесь статистически незначимы.

Летом (табл. 1) распределение ( $\Delta f$ ) по территории России ведёт себя разнонаправлено: в прибрежных районах Арктике и самой Арктике (районы 1 и 2), в лесостепных и степных зонах России (районы 6 и 7) и юге Восточной Сибири (район 8) наблюдается тенденция уменьшения относительной влажности воздуха: статистически значимые коэффициенты линейного тренда составляет от  $-0,3$  до  $-0,8 \text{ \%}/10$  лет; в то же время значимое увеличение влажности отмечено на северной и центральной части азиатской территории России (районы 3 и 4): районы субарктики и центра Восточной Сибири (статистически значимые тренды  $+0,5...+0,8 \text{ \%}/10$  лет), небольшое – в районах тайги (район 5). Причина такого поведения влажности, возможно, связана с характером подстилающей поверхности: в районах с избыточным увлажнением повышение температуры увеличивает испарение и транспирацию с растительности, а в степных и лесостепных районах с недостаточным увлажнением повышение температуры и уменьшение количества осадков, отмеченное в последние годы [12], уменьшает влажность.

Осенью, по сравнению с летом, увеличение относительной влажности наблюдается на большей части территории России: наибольшие положительные тренды –  $0,6–0,7 \text{ \%}/10$  лет – отмечены на севере и в центре Восточной Сибири (районы 3 и 4); 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 и 7) и в

Приморье, но коэффициенты линейного тренда значимы лишь в степных районах России, видимо из-за роста осенних температур [12] в этих районах.

Рассмотрим теперь связь сезонных изменений относительной влажности воздуха между районами, расположенными в различных природно-климатических зонах. Из табл. 1 видно, что в 1 и 2 районах зимой и весной изменения относительной влажности воздуха незначительны (тренды малы и незначимы) в отличие от лета и осени: летом в обоих районах наблюдается уменьшение влажности, осенью – рост, при этом тренды везде значимы. Оба района относятся к арктическому поясу, и здесь сказывается влияние Арктики с её особенностями радиации, циркуляции, льдами и географическим положением. Наблюдаемое потепление в Арктике как на высотах [15] так и приземное, до  $+0,4...+1,1$  °C/10 лет, особенно в тёплое время года [16], вызывает уменьшение влажности; в октябре температуры в Арктике уже отрицательные, а за лето в результате повышения температуры и как следствие таяния льдов влагонасыщение увеличилось [17], отсюда, возможно, наблюдается тенденция осеннего увеличения относительной влажности воздуха.

Однако объединять эти районы не следует, поскольку район 1 – это островные и прибрежные станции Арктики, и они относятся больше к муссонному типу климата с летней максимальной влажностью. Второй район занимает промежуточное место между муссонным типом климата и субарктическим со своим годовым ходом относительной влажности воздуха. Различия в годовом ходе станций этих районов (рис. 2) могут сказаться на некоторых методах климатических исследований.

На рис. 2 представлен годовой ход отдельных станций районов 1 и 2.

Иная картина с районами 3 и 4, занимающими почти всю Восточную Сибирь и Якутию: они расположены в субарктическом климатическом поясе в восточносибирской климатической области (по Алисову), имеют схожую растительность и подстилающую поверхность (плоскогорьях и горные хребты) и похожие условия циркуляции [13]. Оба района находятся в резко-континентальном

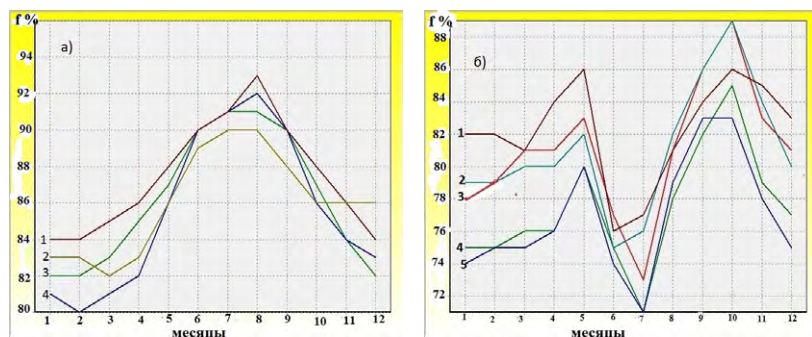


Рис. 2. Годовой ход среднемесячной относительной влажности воздуха: а) для станций района 1 (это станции с муссонным типом годового хода, расположенные на побережье Арктики или её островах): 1 – пролив Санникова, 2 – им. Федорова, 3 – о. Котельный, 4 – Стерлегова; б) для станций района 2: 1 – Чаун, 2 – Чокурдах, 3 – Тазовский, 4 – Дудинка, 5 – Саскылах.

климате; здесь сказывается и влияние Арктики и сибирского антициклона. Аномалии относительной влажности воздуха в районах 3 и 4 во все сезоны показывают рост влажности со статистически значимыми трендами – вероятно это связано с увеличением влагонасыщения воздуха: упругость водяного пара показывает в этих районах значительный рост [16]. Незначимы тренды лишь весной (возможно, это связано с географической широтой местности, где время наступления весны разное.).

Аналогичная ситуация с районами лесостепей и степей (районы 6 и 7). Здесь во все сезоны года наблюдается одинаковая тенденция изменения относительной влажности воздуха, причём тренды везде значимы. Как отмечено ранее, условия циркуляции здесь похожи – они находятся под влиянием Атлантики и имеют похожие типы подстилающей поверхности. На рис. 3 представлены годовой ход относительной влажности воздуха для отдельных станций: а – районов 3 и 4 и б – районов 6 и 7 соответственно. Из рисунков видно, что годовой ход для этих станций идентичен, наблюдаются лишь небольшие смещения экстремумов на более поздние месяцы, поэтому всё-таки сезонные исследования лучше проводить по осреднённым сезонам.

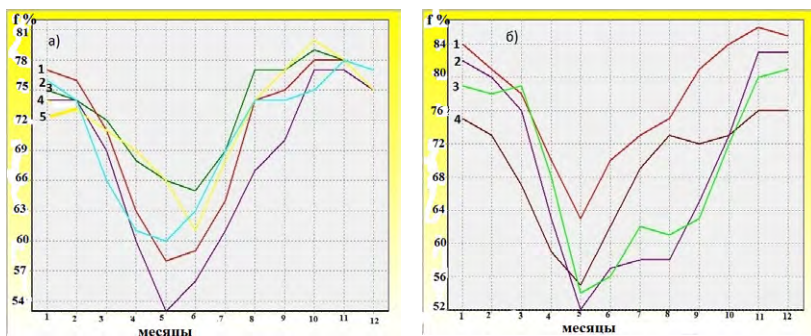


Рис. 3. Годовой ход среднемесячной относительной влажности воздуха: а) для станций районов 3 и 4: 1 – Тура, 2 – Нелькан; 3 – Агата, 4 – Якутск, 5 – Кегали; б) для станций районов 6 и 7: 1 – Йошкар-Ола, 2 – Саратов, 3 – Бреды, 4 – Ачинск.

Что касается района тайги, занимающей весь север ЕТР, север и центр Западной Сибири, и которая находится в районах избыточного увлажнения с преимуществом болот в зоне хвойных и смешанных лесов, под влиянием Атлантики со своими радиационными и циркуляционными особенностями, то данная территория имеет свои сезонные особенности в режиме влажности: здесь кроме весны, отмечается тенденция увеличения относительной влажности воздуха (табл. 1).

Свои индивидуальные черты в сезонных изменениях относительной влажности имеет район 8 – юг Восточной Сибири (Предбайкалье, Забайкалье и Бурятия), где, в отличие от севера и центра Восточной Сибири, наблюдается противоположная картина – здесь весной и летом отмечается понижение относительной влажности воздуха (статистически значимые тренды  $-0,4 \text{ \%} / 10 \text{ лет}$ ), что, возможно, связано с уменьшением осадков и ростом температуры в весенний и летний сезоны, отмеченные за последние годы [9, 12] и неоднородным типом подстилающей поверхности: плоскогорья и степи в условиях недостаточного увлажнения.

Изменения относительной влажности воздуха в муссонном тихоокеанском районе (район 9) (табл. 1), находящемся под влиянием Тихого океана, незначительны: здесь изменений влажности во все сезоны, кроме зимы, не наблюдается: тренды

малы и незначимы, лишь зимой отмечено значимое понижение относительной влажности воздуха.

В результате проведённого анализа видно, что в районах, расположенных в различных природно-климатических зонах, изменения относительной влажности воздуха разные: особенно это заметно, в отличие от среднегодовых [5], в сезоны года. Однако обнаружены районы, имеющие одинаковые тенденции в изменении относительной влажности воздуха, и они, как правило, расположены в сходных природно-климатических и циркуляционных условиях и одинаковых типах подстилающей поверхности.

Таким образом, анализ изменений относительной влажности воздуха показывает целесообразность исследовать глобальные изменения относительной влажности воздуха по природно-климатическим зонам России с учётом типа подстилающей поверхности: сезонные изменения в районах, находящихся в похожих циркуляционных и географических условиях и одинаковых типах подстилающей поверхности совпадают, поэтому такие районы можно объединить. Это касается районов 3 и 4: субарктики (СА) и центра Восточной Сибири (Якутия) соответственно и районов 6 и 7 – лесостепей и степей (табл. 1). Остальные районы показали сезонную неоднородность изменений относительной влажности воздуха, тенденции изменений разнородны и разнонаправлены, находятся они в различных типах подстилающих поверхностях и условиях циркуляции и требуют отдельного анализа.

Таким образом, для анализа регионального климата и исследования пространственных особенностей относительной влажности воздуха целесообразно разделить территорию России на девять районов, представленных в табл. 2.

Анализ изменений относительной влажности воздуха лучше проводить по осреднённым сезонам ввиду сдвигов годового хода относительной влажности воздуха, связанного с радиационными факторами из-за широты местности. Дополнительно для дальнейших исследований следует отдельно выделить горные районы Кавказа, Алтая и Саян, которые имеют свои особенности.

Таблица 2

**Районирование по типам подстилающей поверхности для исследования пространственных особенностей относительной влажности воздуха**

| № | Название района              | Территориальное положение                                                                |
|---|------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1 | Муссонный арктический (МА)   | Острова и побережье Арктики                                                              |
| 2 | Льды, ледяная тундра (ЛТ)    | Крайний Север внутри континентальной субарктики – территория около семидесятой параллели |
| 3 | Субарктика(СА)               | Север и центр Восточной Сибири                                                           |
| 4 | Тайга (Т)                    | Север ЕТР и север и центр Западной Сибири                                                |
| 5 | Лесостепи и степи (ЛСС)      | Центр и юг ЕТР и юг Западной Сибири                                                      |
| 6 | Юг Восточной Сибири (ЮВС)    | Предбайкалье, Забайкалье: Бурятия, Читинская и Амурская области                          |
| 7 | Муссонный тихоокеанский (МТ) | Всё побережье Тихого океана и его морей                                                  |
| 8 | Саяны (ГАС)                  | Горные районы Алтая и Саян                                                               |
| 9 | Кавказские горы (КГ)         |                                                                                          |

Таким образом, обобщая все вышеизложенные материалы, можно сделать следующие выводы: на сезонные и региональные особенности изменений относительной влажности воздуха, помимо природно-климатических факторов, сказывается тип подстилающей поверхности и изменения температуры, которые определяют испарение и, как следствие, влагонасыщение [4, 17] и циркуляционные факторы (скорость ветра, облачность) [18], поэтому сказать, который из этих факторов будет преобладать и больше влиять на изменение относительной влажности воздуха, трудно, требуется детальный анализ исследуемой характеристики в каждом районе в отдельности.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алисов Б. П. Климат СССР. М.: Московский университет, 1956. 127 с.
2. Дроздов О. А. и др. Климатология. Л.: Гидрометеиздат, 1989. 568 с.
3. Психрометрические таблицы. Л.: Гидрометеиздат, 1972. 234 с.
4. Матвеев Л. Т. Курс общей метеорологии. Физика атмосферы. Л.: Гидрометеиздат, 1984. 751 с.

5. Кузнецова В. Н., Швець Н. В. Особенности изменчивости относительной влажности воздуха на территории России за последние десятилетия // Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2020. Вып. 185. С. 43–51.
6. URL: <http://smislab.ru/default.aspx> (дата обращения: 01.10.2021).
7. 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.
8. Пановский Г. А., Брайер Г. В. Статистические методы в метеорологии. Л.: Гидрометеиздат, 1972. 135 с.
9. 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.
10. 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.
11. Шерстюков Б. Г. Сезонные особенности изменения климата за 1976–2011 гг. // Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2012. Вып. 176. С. 3–12.
12. 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.
13. Алисов Б. П. и др. Курс климатологии. Часть 3. Л.: Гидрометеиздат, 1954. 320 с.
14. Мамонтов Н. В. Статистические характеристики относительной влажности воздуха в различные часы суток на территории СССР // М: Гидрометеиздат, 1982. 225 с.
15. Алдухов О. А., Черных И. В. Долгопериодные изменения температурно-влажного режима в нижней тропосфере над прибрежной зоной Арктики РФ по данным радиозондирования // Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2018. Вып. 183. С. 90–104.
16. Воронцов А. А. Климатические изменения в термическом режиме прибрежных районов арктических морей в последние десятилетия // Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2018. Вып. 183. С. 51–58.
17. 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.
18. Зверев А. С. Синоптическая метеорология. Л.: Гидрометеиздат, 1977. 711 с.

УДК 551.524

## ГОМОГЕНИЗАЦИЯ СУТОЧНЫХ ДАННЫХ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА

**А. Ф. Финаев<sup>1</sup>, В. Н. Разуваев**

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

*<sup>1</sup> afinaev@meteo.ru*

### Введение

Исследования климата различных регионов обычно основываются на анализе данных, полученных со станций гидрометеорологической сети. Эти данные имеют как случайные, так и систематические ошибки в записях наблюдений, не связанные с погодой [1, 2]. Однако для исследования климата нужны однородные данные, в которых отражены только климатические изменения и отсутствует влияние посторонних факторов [3].

Метеорологические данные, находящиеся в архивах ВНИИГМИ-МЦД (Всероссийский научно-исследовательский институт гидрометеорологической информации – Мировой центр данных), проверяются на качество и выявляются ошибки как в ручном, так и в автоматическом режиме [4]. При этом хронологические ряды метеорологических данных обычно не бывают однородными. В процессе эксплуатации измерительных приборов на их показания могут влиять причины, не связанные с климатом (перерывы в наблюдениях, изменение места расположения станции, изменение калибровки, изменение окружающей среды и т.д.). Наиболее частой причиной нарушения однородности температурных рядов является перемещение станции [5]. Связанные с этим изменения данных могут быть не выявлены в процессе проверки на качество.

Обычно для анализа климата используют среднемесячные и среднегодовые характеристики параметров атмосферы. Однако в некоторых случаях исследователи проявляют интерес к

однородным данным суточного разрешения [6, 7]. Оценка тренда по данным гомогенизированной суточной температуры воздуха даёт гораздо более однородную в пространстве и правдоподобную картину [8]. Считается, что гомогенизацию суточных данных выполнить гораздо сложнее, чем месячных и годовых данных, так как возрастает объём исходной информации примерно в 30 раз, и, соответственно, увеличивается количество посторонних шумов в исследуемом массиве [7].

В ходе предыдущих исследований был получен массив однородных данных среднемесячной температуры воздуха 518 станций России [9, 10]. Исходный архив этих данных был проверен на качество, а также было проведено выявление ошибок [11], и теперь он находится в свободном доступе ВНИИГМИ-МЦД [12]. Представляемое в настоящей публикации исследование направлено на коррекцию неоднородных данных средней температуры воздуха суточного разрешения.

### **Данные и методы**

Исходным материалом послужили 518 текстовых файлов с суточными данными температуры воздуха на каждой станции. Данные этих станций охватывают хронологический ряд с 1743 по 2018 год. Название каждого файла соответствует синоптическому индексу станции (ID).

Гомогенизация неоднородных данных выполнена с помощью пакета RHtests в программной среде R. Пакет RHtests разработан Центром исследований климата Министерства окружающей среды Канады, и с его помощью можно тестировать и корректировать временные ряды метеорологических данных в масштабе года, месяца и дня [13]. Этот программный пакет одобрен комиссией по климатологии при ВМО для выполнения гомогенизации метеорологических данных [14]. В пакете RHtests используются два метода коррекции неоднородных данных: метод, основанный на корреляции данных с соседними станциями или с эталонным рядом, и метод квантильного соответствия (QM – Quantile-Matching), который улучшает результаты [13, 15–17]. Преимущество метода квантильного соответствия заключается в том, что

каждая часть распределения (то есть квантиль) рассматривается независимо от остальных. С другой стороны, метод квантильного соответствия имеет более эвристический подход, направленный на большую универсальность и способность адаптироваться к широкому спектру сигналов [8]. Более подробно методика использования программного продукта RHtests для гомогенизации климатических данных рассматривалась авторами ранее [9].

При проведении подготовительных работ данные каждой станции были представлены в отдельных текстовых (входных) файлах согласно определённому шаблону [15, 16]. В результате выполнения гомогенизации в выходном каталоге каждой станции создаются следующие пять файлов:

1. ID\_1Cs.txt – где ID – индекс станции, аналогичный входному файлу. В файле представлены количество и даты смещений ряда, индексы значимости и некоторые другие характеристики.

2. ID\_mCs.txt – является дубликатом файла ID\_1Cs.txt, предназначен для введения корректировок оператором и используется в повторном тестировании с учётом сделанных изменений.

3. ID\_U.dat – этот файл содержит данные результатов гомогенизации (табл. 1).

4. ID\_U.pdf – в этом файле представлены пять графиков, иллюстрирующих данные результатов гомогенизации, которые содержатся в файле ID\_U.dat.

5. ID\_Ustat.txt – файл содержит оценки параметров соответствия  $(N_c+1)$ -фазной модели регрессии, включая размеры идентифицированных средних сдвигов, линейный тренд и автокорреляцию «лаг-1» базовой серии.

Таблица 1

Содержание выходного файла данных (ID\_U.dat)

| Колонка | Параметр                                  |
|---------|-------------------------------------------|
| 1       | Номер строки                              |
| 2       | Дата наблюдений                           |
| 3       | Исходный базовый ряд                      |
| 4       | Линейный тренд базового ряда и его сдвиги |
| 5       | Скорректированный базовый ряд             |

Окончание табл. 1

| Колонка | Параметр                                                                                      |
|---------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|
| 6       | Базовый ряд аномалий (т.е. базовый ряд с вычтенным среднегодовым циклом)                      |
| 7       | Многофазная регрессия ряда аномалий                                                           |
| 8       | Расчётный средний годовой цикл вместе с линейным трендом и средними сдвигами                  |
| 9       | Базовый ряд с корректировкой QM                                                               |
| 10      | Модель многофазной регрессии, соответствует несезонированному базовому ряду без учёта сдвигов |

### Результаты

Анализ результатов гомогенизации показал, что данные 366 станций были однородными. Для 152 станций с неоднородными данными выполнена коррекция в двух вариантах: методом регрессии и методом квантильного согласования. В результате получен массив однородных данных суточной температуры воздуха для 518 метеорологических станций. Информация по каждой станции находится в текстовом файле типа ID\_U.dat, где ID – синоптический номер станции (индекс ВМО). Карта расположения станций показывает, что нарушение однородности наблюдается в основном в полярных, горных и труднодоступных регионах (рис. 1).

В качестве примера можно привести результаты коррекции неоднородных данных среднесуточной температуры воздуха (Т), представленные в графическом виде (файлы ID\_U.pdf) для трёх метеостанций – о. Визе (рис. 2), Санкт-Петербург (рис. 3), мыс Лопатка (рис. 4). Ряд ежедневных данных Т на метеостанции о. Визе (рис. 2) охватывает период 70 лет, с 1945 по 2014 год. В результате гомогенизации исходных данных выявлены две даты, которые нарушают однородность ряда – 18.08.1957 и 27.11.2004 г. (рис. 2А). Была выполнена коррекция, в результате чего получен однородный ряд данных Т (рис. 2В). На рис. 2С представлено распределение корректировок по QM для каждого нарушения однородности.

Наиболее длительный ряд наблюдений за  $T$  продолжительностью 134 года, охватывающий период с 01.01.1881 по 31.12.2014 г., представлен метеостанцией Санкт-Петербург (рис. 3). Данные состоят из 50 403 записей наблюдений. Было выявлено только одно нарушение однородности суточных данных, которое имело место 21.09.1939 г. (рис. 3А). После коррекции получен однородный ряд среднесуточных данных  $T$  (рис. 3В). Иллюстрация распределения корректировки по  $QM$  представлена на рис. 3С.

Третий пример, иллюстрирующий результаты процесса гомогенизации, показан на данных метеостанции мыс Лопатка (рис. 4). Это короткий ряд продолжительностью 49 лет, охватывающий период с 01.01.1966 по 31.12.2014 года. Несмотря на это, в нём обнаружено 4 нарушения однородности: 25.03.1976 г., 09.03.1991 г., 22.09.1998 г. и 26.11.2006 г. (рис. 4А). После выполнения корректировок получен однородный ряд среднесуточной температуры воздуха (рис. 4В) и графики распределения корректировок по  $QM$  для каждого нарушения однородности (рис. 4С).



Рис. 1. Расположение станций с однородными данными средней суточной температуры воздуха. Данные 366 станций в коррекции не нуждались. Данные 152 станций были откорректированы.

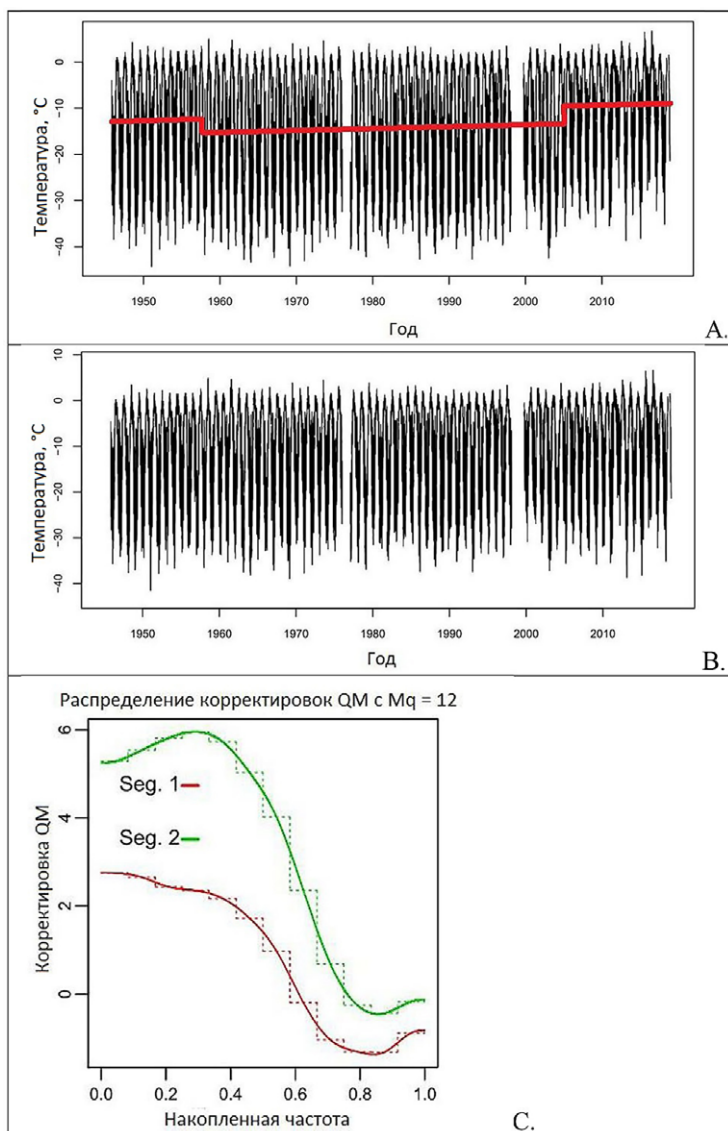


Рис. 2. Средняя суточная температура на метеостанции остров Визе (20069): А. – исходные данные (два нарушения однородности – красная линия); В. – данные с коррекцией по QM; С. – распределение корректировок по QM.

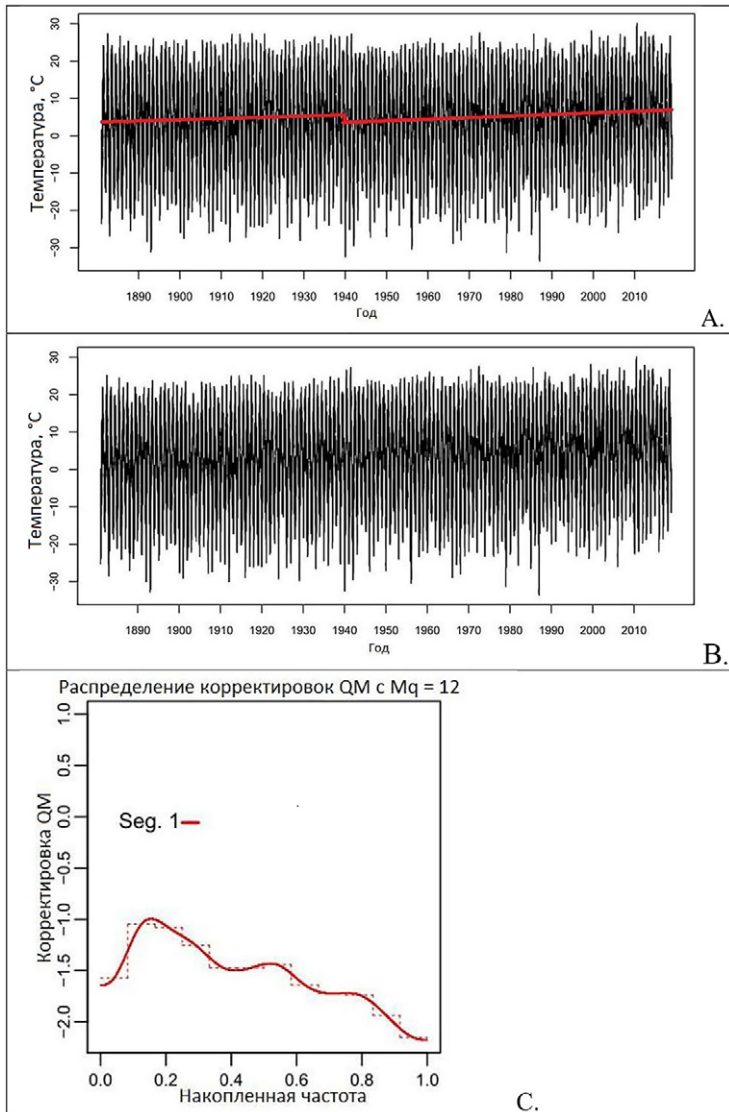


Рис. 3. Средняя суточная температура на метеостанции Санкт-Петербург (26063): А. – исходные данные (одно нарушение однородности – красная линия); В. – данные с коррекцией по QM; С. – распределение корректировок по QM.

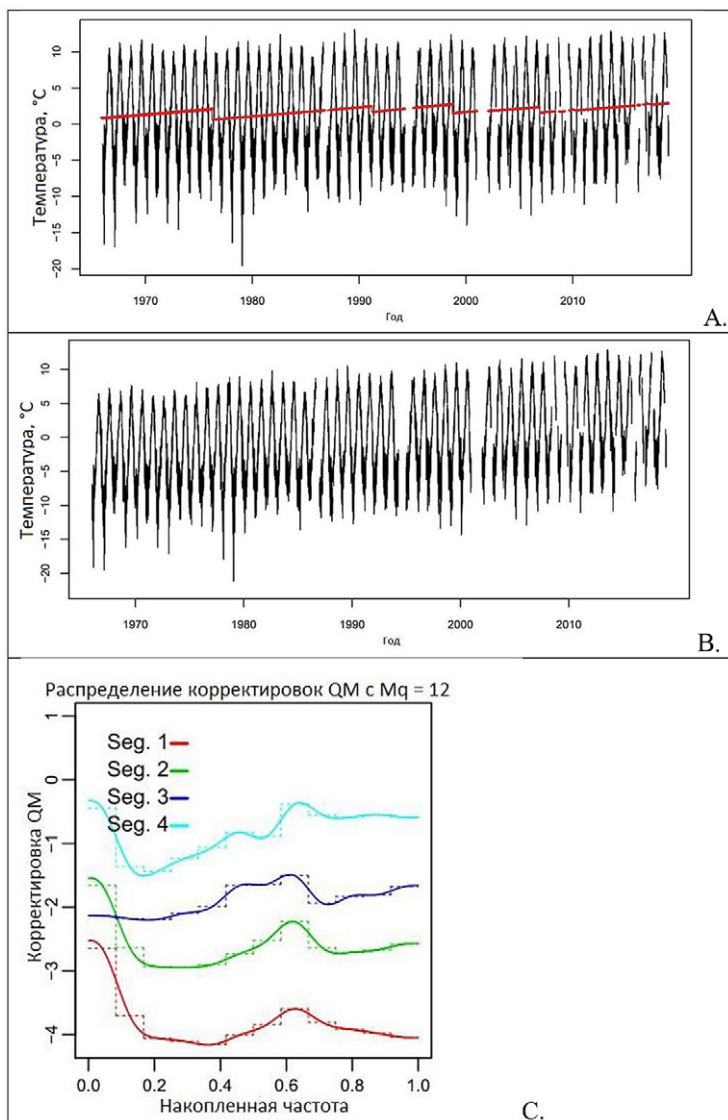


Рис. 4. Средняя суточная температура на метеостанции мыс Лопатка (32213): А. – исходные данные (четыре нарушения однородности – красная линия); В. – данные с коррекцией по QM; С. – распределение корректировок по QM.

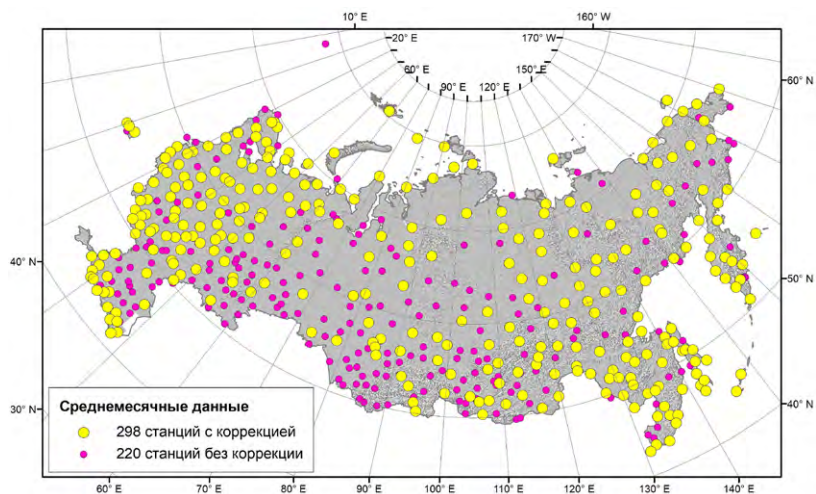
Соотношение количества станций с однородными данными и станций с неоднородными данными в значительной степени зависит от временного масштаба. Анализ неоднородности месячных данных был выполнен ранее [9].

Сравнение результатов гомогенизации температуры воздуха в различных временных интервалах показало, что станций с неоднородными данными среднемесячной температуры воздуха [9] гораздо больше, чем станций с неоднородными среднесуточными данными (рис. 1 и 5; табл. 2).

Таблица 2

**Соотношение количества станций с однородными и неоднородными данными месячного и суточного разрешения**

| Тип данных   | Количество станций           |         |                  |         |
|--------------|------------------------------|---------|------------------|---------|
|              | Среднее за месяц (уточнение) |         | Среднее за сутки |         |
|              | Количество                   | Процент | Количество       | Процент |
| Однородные   | 220                          | 42,5 %  | 366              | 70,7 %  |
| Неоднородные | 298                          | 57,3 %  | 152              | 29,3 %  |
| Всего:       | 518                          | 100,0 % | 518              | 100,0 % |



*Рис. 5. Расположение станций с однородными данными средней месячной температуры воздуха. Данные 220 станций в коррекции не нуждались. Данные 298 станций были откорректированы.*

Следует отметить, что при гомогенизации среднемесячных данных использовались только те месяцы, которые имели данные за все дни месяца. Если хотя бы за один день в месяце данные отсутствовали, то такой месяц исключался из расчётов. В то же время при гомогенизации суточных данных использовались все имеющиеся суточные данные. На взгляд авторов, по этой причине соотношение однородных и неоднородных данных средней температуры воздуха месячного и суточного разрешения разное.

Используя исходные и гомогенизированные данные температуры воздуха суточного разрешения, были рассчитаны коэффициенты тенденции изменения температуры ( $K_t$ ,  $K_{tqm}$ ) и средняя суточная температура ( $T$ ,  $T_{qm}$ ) для каждой станции. Затем были рассчитаны поля этих характеристик для всей территории России. Моделирование было выполнено с помощью программы ArcGIS с использованием метода интерполяции по Крикингу. В результате получены карты  $K_t$ ,  $K_{tqm}$ ,  $T$ ,  $T_{qm}$ . Анализ статистических характеристик по этим картам (табл. 3) показывает, что средняя суточная температура однородных данных на всей территории страны выше на  $0,18^\circ\text{C}$  по отношению к неоднородным данным. Было также выявлено, что минимум средней суточной температуры воздуха в рядах однородных данных ниже на  $-0,80^\circ\text{C}$  по сравнению с неоднородными данными, а максимум – выше на  $2,24^\circ\text{C}$ .

Таблица 3

**Статистические характеристики средней суточной температуры воздуха для территории России согласно моделированным картам**

| Параметр | $T$    | $T_{qm}$ | $dT$  | $K_t$  | $K_{tqm}$ | $dK_t$  | $dK_{tt}$ |
|----------|--------|----------|-------|--------|-----------|---------|-----------|
| min      | -14,21 | -13,54   | -0,80 | 0,0094 | -0,0213   | -0,1000 | -0,1218   |
| max      | 11,82  | 12,49    | 2,24  | 0,0384 | 0,1535    | 0,0544  | 0,0414    |
| mean     | -4,78  | -4,60    | 0,18  | 0,0227 | 0,0229    | -0,0007 | -0,0002   |
| Std dev. | 5,94   | 5,82     | 0,33  | 0,0048 | 0,0102    | 0,0095  | 0,0088    |

*Обозначения:*  $T$  – суточная температура воздуха (неоднородные данные);  $T_{qm}$  – суточная температура воздуха (однородные данные);  $dT$  – ошибка суточной температуры по неоднородным данным;  $K_t$  – коэффициент тенденции температуры воздуха по неоднородным данным;  $K_{tqm}$  – коэффициент тенденции температуры воздуха по однородным данным;  $dK_t$  – ошибка коэффициента тренда, рассчитанная по данным температурных полей;  $dK_{tt}$  – ошибка коэффициента тренда, рассчитанная по данным станций.

Средний коэффициент тренда по однородным данным температуры воздуха ( $Kt_{qm}$ ) выше на  $0,02\text{ }^{\circ}\text{C}/100\text{ лет}$ , чем по неоднородным данным  $Kt$  ( $Kt = 2,27/100\text{ лет}$ ;  $Kt_{qm} = 2,29/100\text{ лет}$ ). Исследование данных одиночной станции в Китае, перенесённой из города в сельскую местность, показало, что после гомогенизации среднегодовые значения температуры уменьшились, а коэффициенты тенденции экстремальных температур воздуха увеличились и в среднем составляют  $2,42/100\text{ лет}$ . Это несколько выше расчётов, сделанных авторами, однако показывает влияние урбанизации на повышение температуры и искажение  $Kt$  [18].

Статистические данные по моделированным картам  $Kt$  и  $Kt_{qm}$  за каждый месяц показали, что в течение года соотношение трендов средней суточной температуры воздуха неоднородных и однородных данных меняется (рис. 6). В марте, мае и ноябре  $Kt_{qm}$  ниже, чем  $Kt$ , а в остальные месяцы коэффициенты трендов выше. Из нижеприведённого графика видно, что согласно однородным данным тенденция потепления с июня по сентябрь больше, чем на основе исходного массива данных.

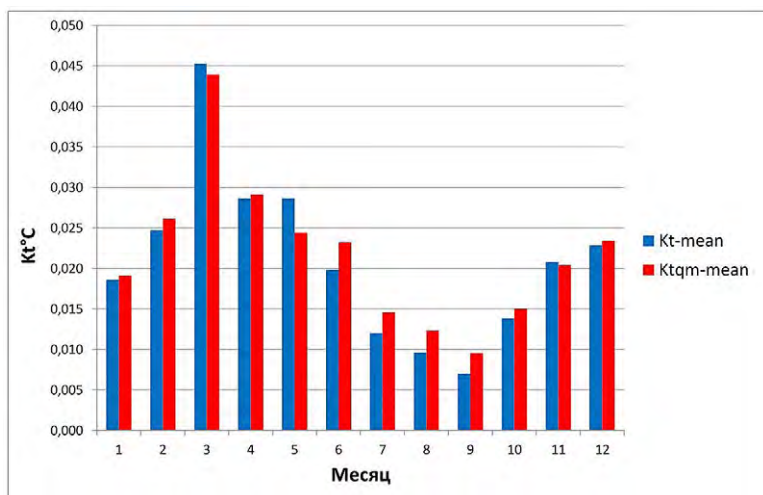


Рис. 6. Средний суточный за месяц коэффициент тенденции температуры по исходным ( $Kt$ ) и гомогенизированным ( $Kt_{qm}$ ) средним суточным данным, согласно моделированным полям.

В холодную половину года тенденция увеличения температуры гораздо выше, чем в летние месяцы. Аналогичные данные были получены при выполнении гомогенизации данных температуры воздуха для станции Познань (Польша) [19]. В России в среднем по всем станциям максимальное потепление фиксируется в феврале, а минимальное – в сентябре.

За период инструментальных наблюдений отмечается рост годового тренда  $kT_{qm}$  по всем станциям (рис. 7). Станции с поздним началом наблюдений и коротким хронологическим периодом имеют более высокий коэффициент тренда, чем станции с длинными рядами. Вероятно, это связано с потеплением климата в последние годы.

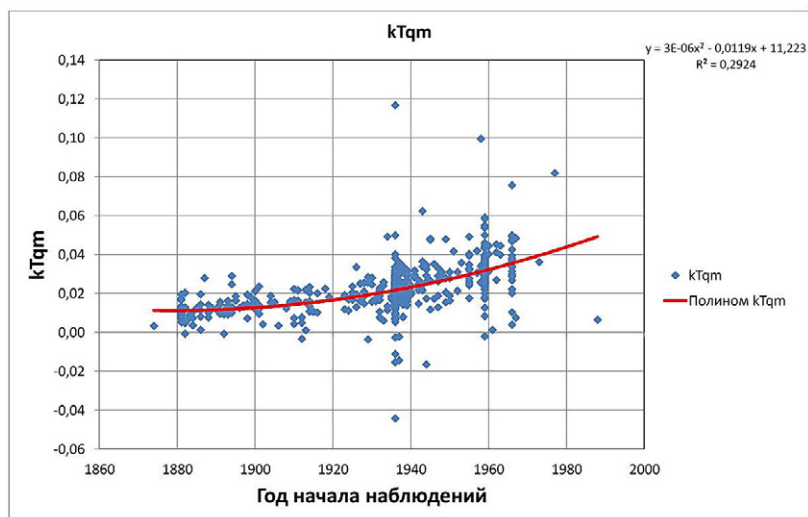


Рис. 7. Изменение коэффициента тренда ( $kT_{qm}$ ) однородных данных температуры воздуха за период инструментальных наблюдений

Выявлен большой разброс  $kT_{qm}$  в 1936, 1959 и 1966 гг. В эти годы открылось много станций в разных климатических зонах и труднодоступных регионах страны. В этом исследовании средне-суточная температура за год рассчитывалась как среднее из всех

суточных данных, измеренных в течение конкретного года, независимо от пропуска измерений. Ряды данных на новых станциях начинались с момента начала их работы, который не совпадал с началом года и мог охватывать только несколько месяцев. Поэтому если наблюдения начинались летом, то средняя суточная температура за этот год была высокой, а если ряд начинался в конце года (осенне-зимний период), то суточная температура за этот год была заниженной. Это и является причиной больших отклонений  $kT_{qm}$  на этих станциях. Данный феномен может служить маркером для выявления нарушений в системе наблюдений. Вероятно, также следует трактовать резкие отклонения  $kT_{qm}$  на отдельных станциях в другие годы. Однако такие изменения не оценивались, так как это не входило в задачу исследований.

### Выводы

Мониторинг климата проводится с помощью большого количества станций на огромной территории России, охватывающей много климатических зон и характеризующейся разными условиями наблюдений. Гомогенизация данных температуры воздуха показала, что количество станций с однородными суточными данными составляет 70,7 %, в то время как станций с однородными данными месячного разрешения только 42,5 %.

Метод квантильного сопоставления, используемый в пакете RНtests для коррекции неоднородностей, является более универсальным и способным адаптироваться к широкому спектру сигналов. Полученный в результате гомогенизации массив однородных данных среднесуточной температуры воздуха можно использовать для климатических исследований.

Моделирование карт температуры воздуха в среднем по всей территории страны показало рост температуры воздуха на 2,29 °C/100 лет. Выявлены отличия среднемесячного коэффициента тенденции температуры воздуха по однородным и неоднородным данным станций.

Протестированную методику можно применять для коррекции других характеристик метеорологических наблюдений.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Aguilar E., Auer I., Brunet M., Peterson T.C., Wieringa J.* Guidance on metadata and homogenization // WMO. 2003. Тд. 1186:53. URL: [https://library.wmo.int/doc\\_num.php?explnum\\_id=10751](https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=10751) (дата обращения: 12.06.2021).
2. *Climate Change. The Physical Science Basis* // Working group in contribution to the fifth assessment report of the IPCC. Cambridge University Press. 2013. 222 p. URL: [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/WG1AR5\\_SummaryVolume\\_FINAL.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/WG1AR5_SummaryVolume_FINAL.pdf) (дата обращения: 12.06.2021).
3. *Peterson T.C., Easterling D.R., Karl T.R., Groisman P., Nicholls N., Plummer N., Torok S., Auer I., Boehm R., Gullett D., Vincent L., Heino R., Toumenvirta H., Mestre O., Szentimrey T., Salinger J., Forland E., Hanssen-Bauer I., Alexandersson H., Jones P.D., Parker D.* Homogeneity adjustments of in situ atmospheric climate data: A review // *Int. J. Climatol.* 1998 V. 18. P. 1493–1517. URL: [https://imedeia.uib-csic.es/master/cambioglobal/Modulo\\_I\\_cod101600/Climent/Peterson\\_et\\_al.pdf](https://imedeia.uib-csic.es/master/cambioglobal/Modulo_I_cod101600/Climent/Peterson_et_al.pdf) (дата обращения: 15.06.2022).
4. *Степаненко С.Р., Шаймарданов М.З., Шевченко А.И.* Метод автоматического выявления систематических ошибок в системе обработки метеорологических данных // *Труды ВНИИГМИ-МЦД.* 2020. Вып. 186. С. 126–141. URL: <http://meteo.ru/publications/120-sborniki-trudov> (дата обращения: 15.06.2021).
5. *Tuomenvirta H.* Homogeneity adjustments of temperature and precipitation series – Finnish and Nordic data // *Int. J. Climatol.* 2001. V. 21. P. 495–506. URL: <https://rmets.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/joc.616> (дата обращения: 15.06.2021). DOI: 10.1002/joc.616.
6. *Vincent L.A., Zhang X., Bonsal B.R., Hogg W.D.* Homogenization of Daily Temperatures over Canada // *J. of Climate.* 2001. V. 15. P. 1322–1334. URL: [https://journals.ametsoc.org/view/journals/clim/15/11/1520-0442\\_2002\\_015\\_1322\\_hodtoc\\_2.0.co\\_2.xml](https://journals.ametsoc.org/view/journals/clim/15/11/1520-0442_2002_015_1322_hodtoc_2.0.co_2.xml) (дата обращения: 15.06.2021). DOI: [https://doi.org/10.1175/1520-0442\(2002\)015<1322:HODTOC>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0442(2002)015<1322:HODTOC>2.0.CO;2).
7. *Hewaratchi A.P., Li Y., Lund R., Rennie J.* Homogenization of Daily Temperature Data // *J. of Climate.* 2017. V. 30. P. 985-999. URL: <https://journals.ametsoc.org/view/journals/clim/30/3/jcli-d-16-0139.1.xml> (дата обращения: 17.07.2021). DOI:10.1175/JCLI-D-16-0139.1.
8. *Squintu A.A., Schrier G., Brugnara Y., Tank A.K.* Homogenization of daily temperature series in the European Climate Assessment & Dataset // *Int. J. of Climatol.* 2018. V. 39, Issue 3. P. 1243–1261. URL: <https://rmets.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/joc.5874> (дата обращения: 17.02.2021). DOI: 10.1002/joc.5874.
9. *Финаев А.Ф., Разуваев В.Н.* Гомогенизация климатических рядов на примере среднемесячной температуры воздуха // *Труды ВНИИГМИ-МЦД.* 2020. Вып. 186. С. 57–68. URL: <http://meteo.ru/publications/120-sborniki-trudov> (дата обращения: 15.06.2021).

10. *Финаев А. Ф., Разуваев В. Н.* Оценка результатов гомогенизации температуры воздуха по данным станций России // Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2020. Вып. 187. С. 158–169. URL: <http://meteo.ru/publications/120-sborniki-trudov> (дата обращения: 15.06.2021).
11. *Булыгина О. Н., Коршунова Н. Н., Разуваев В. Н.* Специализированные массивы данных для климатических исследований // Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2014. Вып. 177. С. 136–148.
12. ВНИИГМИ-МЦД // URL: [www.meteo.ru](http://www.meteo.ru) (дата обращения 17.02.2021).
13. *Wang X. L., Feng Y.* RHtestsV4 User Manual // Climate Research Division, Atmospheric Science and Technology Directorate, Science and Technology Branch, Environment Canada. 2013. 29 p. URL: [http://etccdi.pacificclimate.org/RHtest/RHtestsV4\\_UserManual\\_10Dec2014.pdf](http://etccdi.pacificclimate.org/RHtest/RHtestsV4_UserManual_10Dec2014.pdf) (дата обращения: 17.02.2021).
14. WMO Commission for Climatology // URL: [www.climatol.eu/tt-hom](http://www.climatol.eu/tt-hom) (дата обращения: 17.09.2020).
15. *Wang X. L., Chen H., Wu Y., Feng Y., Pu Q.* New techniques for detection and adjustment of shifts in daily precipitation data series // J. Appl. Meteorol. Climatol. 2010. V. 49, N 12. P. 2416–2436. URL: <https://journals.ametsoc.org/view/journals/apme/49/12/2010jamc2376.1.xml> (дата обращения: 17.02.2021) DOI: 10.1175/2010JAMC2376.1.
16. *Vincent L. A., Wang X. L., Milewska E. J., Wan H., Feng Y., Swail V.* A Second Generation of Homogenized Canadian Monthly Surface Air Temperature for Climate Trend Analysis // JGR- Atmospheres. 2012. V. 17. P. D18110. URL: [https://www.researchgate.net/publication/249644161\\_A\\_Second\\_Generation\\_of\\_Homogenized\\_Canadian\\_Monthly\\_Surface\\_Air\\_Temperature\\_for\\_Climate\\_Trend\\_Analysis](https://www.researchgate.net/publication/249644161_A_Second_Generation_of_Homogenized_Canadian_Monthly_Surface_Air_Temperature_for_Climate_Trend_Analysis) (дата обращения: 17.02.2021) DOI: 10.1029/2012JD017859.
17. *Стерин А. М., Тимофеев А. А.* Об оценке трендов приземной температуры воздуха для территории России методом квантильной регрессии // Метеорология и гидрология. 2016 № 6. С. 17–30. URL: <http://www.mig-journal.ru/component/content/article?id=4180> (дата обращения: 17.02.2021).
18. *Zhang L., Ren G-Y., Ren Y-Y., Zhang A-Y., Chu Z-Y., Zhou Y-Q.* Effect of data homogenization on estimate of temperature trend: a case of Huairou station in Beijing Municipality // Theor. Appl. Climatol. 2014. V. 115. P. 365–373. URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00704-013-0894-0> (дата обращения 17.02.2021) DOI: 10.1007/s00704-013-0894-0.
19. *Kolendowicz L., Czernecki B., Pórolniczak M., Taszarek M., Tomczyk A. M., Szyga-Pluga K.* Homogenization of air temperature and its long-term trends in Poznań (Poland) for the period 1848–2016 // Theoretical and Applied Climatol. 2019. V. 136. P. 1357–1370. URL: <https://www.google.com/search?q=10.1007%2Fs00704-018-2560-z.&oq=10.1007%2Fs00704-018-2560-z.&aqs=chrome..69i57.895j0j4&sourceid=chrome&ie=UTF-8> (дата обращения: 17.02.2021). DOI: 10.1007/s00704-018-2560-z.

УДК [551.501+556.043+551.46]:43

## **ФОРМИРОВАНИЕ ПЕРЕЧНЯ ДОКУМЕНТОВ, ОБРАЗУЮЩИХСЯ В ПРОЦЕССЕ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ФЕДЕРАЛЬНОЙ СЛУЖБЫ ПО ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИИ И МОНИТОРИНГУ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ**

**И. И. Кашина<sup>1\*</sup>, А. А. Кузнецов<sup>1\*\*</sup>, Е. А. Рябова<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский институт гидрометеорологической информации – Мировой центр данных»,  
\* [kii@meteo.ru](mailto:kii@meteo.ru), \*\* [kuznet@meteo.ru](mailto:kuznet@meteo.ru);

<sup>2</sup> Росгидромет, [e.ryabova@meteorf.ru](mailto:e.ryabova@meteorf.ru)

В соответствии с поручением Правительства Российской Федерации от 26.03.2020 № ДЧ-П-444-2409 в федеральных органах исполнительной власти и ведомствах Российской Федерации в целях оптимизации работы с документами и обеспечения сохранности ценных документов осуществляется разработка перечней документов, образующихся в федеральных органах исполнительной власти, а также в процессе деятельности подведомственных им организаций с указанием сроков их хранения.

В Росгидромете разработка документа под названием «Перечень документов, образующихся в процессе деятельности Федеральной службы по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды и её территориальных органов и подведомственных организаций, с указанием сроков хранения» (далее – Перечень) осуществляется впервые, если не считать руководящий документ «РД 52.19.143–2019. Перечень документов архивного фонда данных о состоянии окружающей среды, её загрязнении», изданный как руководящий документ в 2010 и 2019 гг. (далее – РД 52.19.143–2019). В РД 52.19.143–2019 [1] отражена только часть видов документов в установленной сфере деятельности Росгидромета и его следует рассматривать как дополнение к Перечню.

Перечень предназначен для использования в качестве основного нормативного документа при определении сроков хранения

и отборе документов на хранение и уничтожение, при подготовке номенклатур дел в учреждениях Росгидромета, а также в практической работе Центральной экспертной комиссии центрального аппарата Росгидромета, экспертных комиссий учреждений Росгидромета. Также Перечень может быть использован при разработке стандартов учреждений по управлению документацией.

Разработка Перечня осуществлялась в два этапа. На первом этапе в 2020 году была разработана схема построения (структура и звенность) Перечня [2], которая была рассмотрена Федеральным казённым учреждением «Государственный архив Российской Федерации» (ГА РФ) и утверждена Центральной экспертно-проверочной комиссией при Федеральном архивном агентстве (далее – ЦЭПК при Росархиве). На втором этапе осуществлялось наполнение структуры статьями, содержащими сведения о видах документов с указанием сроков их хранения в центральном аппарате Росгидромета, его территориальных органах и подведомственных организациях, сгруппированных в звенья по функциональному признаку.

При составлении Перечня был использован «Перечень типовых управленческих архивных документов, образующихся в процессе деятельности государственных органов, органов местного самоуправления и организаций, с указанием сроков их хранения», утверждённый приказом Федерального архивного агентства от 20.12.2019 г. № 236 [3] и «Перечень типовых архивных документов, образующихся в научно-технической и производственной деятельности организаций, с указанием сроков хранения», утверждённый приказом Министерства культуры и массовых коммуникаций Российской Федерации от 31 июля 2007 г. № 1182 [4] (в части формирования разделов типовых архивных документов Росгидромета).

При формировании разделов с видами документов в установленной сфере деятельности Росгидромета были использованы и обобщены перечни документов со сроками хранения в номенклатурах дел, представленные центральным аппаратом Росгидромета, его территориальными органами и учреждениями, в том числе научно-исследовательскими, а также учтены

законодательные акты и положения нормативных правовых актов, регламентирующих деятельность Росгидромета.

Проект Перечня был разослан учреждениям Росгидромета и доработан по результатам рассмотрения полученных замечаний.

Перечень построен по функциональному принципу и включает разделы, отражающие все направления деятельности центрального аппарата, территориальных органов и учреждений Росгидромета. Большинство разделов имеют подразделы по более узким вопросам. При этом в структуре Перечня можно выделить два класса отображаемых функций – типовые управленческие функции и функции (научно-технические и производственные) в установленной сфере деятельности Росгидромета.

Утверждённая ЦЭПК при Росархиве схема Перечня содержит 18 разделов, в 10 из которых представлены типовые функции и в 8 разделах отражены функции в установленной сфере деятельности Росгидромета.

Перечень состоит из 990 статей, содержащих сведения о видах документов с указанием сроков их хранения. В статьях приведены как конкретные, так и обобщённые названия видов документов. В случае объединения в одной статье разных документов по одному вопросу, имеющих одинаковый срок хранения, используется термин «документы», а в скобках раскрываются наименования основных видов документов, включённых в статью, например Документы (акты, справки, отчёты, заключения и др.) проверок организаций.

Перечень включает 554 статьи с описанием видов документов, относящихся к типовым функциям, соответствующие формулировки были взяты полностью или частично из «Перечня типовых управленческих архивных документов...» [3], либо переработаны (около 100 статей) с учётом специфики Росгидромета. К разделам Перечня с типовыми функциями относятся:

- организация системы управления;
- планирование деятельности;
- финансирование деятельности;
- учёт и отчётность;
- трудовые отношения;

- кадровое обеспечение;
- материально-техническое обеспечение;
- административно-хозяйственное обеспечение деятельности;
- обеспечение режима безопасности организации, гражданская оборона и защита от чрезвычайных ситуаций;
- социально-бытовые вопросы.

Восемь разделов Перечня содержат статьи с описанием видов документов, образующихся в процессе установленной деятельности Росгидромета в области гидрометеорологии и мониторинга окружающей среды. Рассмотрим подробнее каждый из этих разделов.

Раздел 5 «Формирование и обеспечение функционирования государственной наблюдательной сети» содержит 99 статей со сведениями о видах документов по формированию и обеспечению функционирования сети гидрометеорологических наблюдений, гелиогеофизических наблюдений, наблюдений за загрязнением окружающей среды, космических (спутниковых) наблюдений; по формированию и обеспечению функционирования инструментальной базы и оборудования наблюдательных сетей и учреждений Росгидромета; по научно-методическому руководству деятельностью наблюдательной сети; обеспечению охраны государственной наблюдательной сети.

Раздел 6 «Проведение комплексных экспедиционных работ по изучению состояния окружающей среды, её загрязнения, в том числе в Мировом океане, Арктике и Антарктике», включает 60 статей с описанием видов документов, образующихся в процессе проведения морских экспедиций и обеспечения экспедиционного флота, а также Российской Антарктической экспедицией (РАЭ).

Раздел 7 «Обеспечение функционирования системы сбора, обработки и распространения информации по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды» состоит из документов по работе ведомственной системы телекоммуникаций и автоматизированной системы передачи данных (АСПД), документов по взаимодействию по линии Всемирной метеорологической организации (ВМО). Раздел содержит 17 статей.

Раздел 8 «Обеспечение единства и сопоставимости методов наблюдений за состоянием окружающей среды, её загрязнением» посвящён одному из главных направлений работы Росгидромета – разработке отраслевых стандартов и метрологическому обеспечению средств измерений гидрометеорологических параметров и стандартных образцов. Раздел состоит из 25 статей.

В разделе 9 «Формирование государственных и ведомственных информационных систем в области гидрометеорологии и мониторинга окружающей среды» объединены сведения о документах, определяющих порядок формирования и функционирования Единого государственного фонда данных о состоянии окружающей среды, её загрязнении (ЕГФД); Единой государственной системы информации об обстановке в Мировом океане (ЕСИМО); Единой государственной автоматизированной системы мониторинга радиационной обстановки на территории Российской Федерации (ЕГАСМРО).

В этот раздел также включены документы по управлению фондами научно-технической информации и документы по обеспечению функционирования ведомственных информационных систем.

Как было уже отмечено выше, дополнением раздела 9 в части Единого государственного фонда данных является «РД 52.19.143–2019 Перечень документов архивного фонда данных о состоянии окружающей среды, её загрязнении». В примечании к отдельным статьям Перечня даны ссылки на этот документ.

Всего в раздел входит 78 статей.

Раздел 10 «Гидрометеорологическое и гелиогеофизическое обеспечение населения, органов государственной власти, отраслей экономики» включает экстренную информацию об опасных природных явлениях, о фактических и прогнозируемых резких изменениях погоды и загрязнении природной среды в соответствии с Перечнем информационных услуг общего назначения, утверждаемым Правительством Российской Федерации [5]; документы с краткосрочными и долгосрочными прогнозами, режимно-справочные материалы (ежегодники, обзоры и т.п.), в том числе документы Государственного водного кадастра; документы

по организации и проведению работ по активным воздействиям на гидрометеорологические процессы, осуществление государственного надзора за этими работами; документы по метеорологическому обеспечению гражданской авиации.

Помимо этого в раздел входят документы по подготовке и изданию научно-технической и научно-методической литературы; организации и проведению выставок и презентаций. Всего раздел содержит 79 статей.

Раздел 11 «Научно-исследовательские, опытно-конструкторские и технологические работы» включает виды документов по организации научно-исследовательских, опытно-конструкторских и технологических работ в области гидрометеорологии и мониторинга окружающей природной среды, а также виды документов по изобретательству и патентно-лицензионной работе. Раздел содержит 46 статей.

В разделе 12 «Международное сотрудничество» представлены документы, связанные с выполнением обязательств Российской Федерации в рамках международного сотрудничества в области гидрометеорологии и загрязнения окружающей среды, в том числе со странами СНГ.

В раздел входят документы по Конвенции Всемирной метеорологической организации, Рамочной конвенции ООН об изменении климата и Протоколу по охране окружающей среды к Договору об Антарктике и др. Всего в этом разделе размещены 32 статьи.

Перечень представляет собой таблицу, состоящую из 8 граф (фрагмент Перечня приведён на рис. 1).

В графе 1 указаны номера статей. Статьям в Перечне присвоена единая сквозная нумерация.

В графе 2 размещены тексты статей с описанием видов документов.

В графах 3, 4, 5, 6, 7 указываются сроки хранения документов в каждом звене организационной структуры ведомства.

В графе 3 указаны сроки хранения документов в центральном аппарате Росгидромета.

| №№ статей | Наименование видов документов                                                                   | Сроки хранения документов                                     |                              |                         |                                                          |                                        | Примечание                                    |
|-----------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|------------------------------|-------------------------|----------------------------------------------------------|----------------------------------------|-----------------------------------------------|
|           |                                                                                                 | В центральном аппарате Росгидромета                           | В Департаментах Росгидромета | В УТМС                  | В научно-исследовательских и образовательных учреждениях | В других подведомственных организациях |                                               |
| 1         | 2                                                                                               | 3                                                             | 4                            | 5                       | 6                                                        | 7                                      | 8                                             |
|           |                                                                                                 | 6.2. Документы по морским экспедициям и экспедиционному флоту |                              |                         |                                                          |                                        |                                               |
| 389       | Запросы на проведение морских научных исследований организациями Росгидромета                   | 5 лет ЭПК                                                     |                              |                         |                                                          |                                        |                                               |
| 390       | Разрешения на проведение морских научных исследований                                           | 5 лет ЭПК (1)                                                 |                              | 5 лет ЭПК               | 5 лет ЭПК                                                | 5 лет ЭПК (2)                          | (1) копии<br>(2) копии в ФГУ "Гидрометсервис" |
| 391       | Положение о базе (отделе) экспедиционного флота                                                 |                                                               |                              | До минования надобности | До минования надобности                                  |                                        |                                               |
| 392       | Устав службы на морских судах (копия)                                                           |                                                               |                              | До минования надобности | До минования надобности                                  |                                        |                                               |
| 393       | Годовой и месячные планы работы базы (отдела) экспедиционного флота                             |                                                               |                              | 5 лет                   | 5 лет                                                    |                                        |                                               |
| 394       | Свидетельства, выданные Российским морским регистром (Регистром РФ) о годности судна к плаванию |                                                               |                              | Постоянно ЭПК           | Постоянно ЭПК                                            |                                        |                                               |
| 395       | Технические и санитарные паспорта судов                                                         |                                                               |                              | До списания судна       | До списания судна                                        |                                        |                                               |
| 396       | Акты о готовности судна к выходу в рейс                                                         |                                                               |                              | 5 лет ЭПК               | 5 лет ЭПК                                                |                                        |                                               |
| 397       | Отчёты о состоянии судов                                                                        |                                                               |                              | Постоянно               | Постоянно                                                |                                        |                                               |
| 398       | Списки работников плавсостава                                                                   |                                                               |                              | 50 лет                  | 50 лет                                                   |                                        |                                               |

Рис. 1. Фрагмент Перечня Росгидромета

В графе 4 указаны сроки хранения документов в территориальных органах – департаментах Росгидромета.

В графе 5 указаны сроки хранения документов в территориальных органах – управлениях по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды и в подведомственных им организациях.

В графе 6 указаны сроки хранения документов в НИУ Росгидромета, а также в отнесённых к этому звену Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении дополнительного профессионального образования «Институт повышения квалификации руководящих работников и специалистов» (ФГБОУ ДПО «ИПК») и Российском государственном музее Арктики и Антарктики (ФГБУ «РГМАА»).

В графе 7 указаны сроки хранения документов в остальных учреждениях, подведомственных Росгидромету, не вошедших в вышеназванные звенья.

Графа 8 используется для записи примечаний в отношении видов документов или сроков и мест их хранения.

Сроки хранения документов, приведённых в Перечне, в целом соответствуют «Перечню типовых управленческих архивных документов...» [3] и могут быть следующими:

- постоянного хранения;
- временного хранения (свыше 10 лет);
- временного хранения от 1 года до 5 лет;
- до ликвидации организации;
- до минования надобности;
- до замены новыми.

Сроки хранения документов не зависят от вида носителя и ограничения доступа к ним. После истечения сроков временного хранения документы подлежат уничтожению.

Срок хранения с отметкой «ЭПК» означает, что указанные документы после истечения установленного срока их хранения могут быть отобраны на постоянное хранение по результатам экспертизы их ценности.

Снижение сроков хранения, установленных Перечнем, запрещается.

Организации вправе продлевать сроки временного хранения документов при проведении экспертизы ценности документов. Повышение установленных Перечнем сроков хранения допускается в тех случаях, когда это обусловлено особенностями работы конкретной организации, её практическими потребностями.

Для удобства пользования Перечнем к нему составлен Указатель, в котором в алфавитном порядке перечислены обобщённые виды документов. После каждого обобщённого вида документов следуют конкретизирующие определения со ссылками на номера соответствующих статей Перечня.

Фрагмент Указателя к Перечню приведён на рис. 2.

|                                                                                                                                                                                              |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| ПРИКАЗЫ                                                                                                                                                                                      |     |
| муниципальные                                                                                                                                                                                | 4   |
| начальника РАЭ по основной деятельности                                                                                                                                                      | 432 |
| о занесении на Доску почёта                                                                                                                                                                  | 849 |
| по административно-хозяйственным вопросам                                                                                                                                                    | 18  |
| по единой государственной системе предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций                                                                                                          | 563 |
| по личному составу                                                                                                                                                                           | 777 |
| по основной (профильной) деятельности                                                                                                                                                        | 18  |
| Росгидромета в отношении ЕГАСМРО                                                                                                                                                             | 524 |
| Росгидромета в отношении ЕСИМО                                                                                                                                                               | 510 |
| Росгидромета о предоставлении (переоформлении) лицензии, о продлении срока действия лицензии, о приостановлении, возобновлении и прекращении действия лицензии, получении дубликата лицензии | 135 |
| Росгидромета по метеорологическому обслуживанию авиации                                                                                                                                      | 588 |
| Росгидромета по обеспечению охраны государственной наблюдательной сети                                                                                                                       | 376 |
| Росгидромета по обеспечению функционирования сети космических наблюдений                                                                                                                     | 338 |
| Росгидромета по обеспечению функционирования сети наблюдений за загрязнением окружающей среды                                                                                                | 318 |
| Росгидромета по организации гелиогеофизических наблюдений                                                                                                                                    | 308 |
| Росгидромета по организации и проведению работ по активным воздействиям                                                                                                                      | 612 |
| Росгидромета по организации наблюдений за окружающей средой и обеспечению деятельности наблюдательной сети                                                                                   | 282 |
| Росгидромета по формированию ЕГ Ф/Д                                                                                                                                                          | 484 |
| субъектов Российской Федерации                                                                                                                                                               | 3   |

Рис. 2. Фрагмент Указателя

Разработанный Перечень является документом, в котором на текущий момент наиболее полно отражён состав документов, создаваемых в процессе деятельности Росгидромета.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *РД 52.19.143–2019* Перечень документов архивного фонда данных о состоянии окружающей среды, её загрязнении. Обнинск: ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД», 2020. 103 с.
2. *Кашина И. И., Кузнецов А. А.* Разработка структуры Перечня документов, образующихся в процессе деятельности Федеральной службы по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды // Труды ВНИИГМИ МЦД. 2021. № 187. С. 186–196.
3. *Перечень* типовых управленческих архивных документов, образующихся в процессе деятельности государственных органов, органов местного самоуправления и организаций, с указанием сроков их хранения, утверждённый приказом Федерального архивного агентства от 20.12.2019 № 236. Официальный интернет-портал правовой информации. URL: <http://www.pravo.gov.ru> (дата обращения: 21.01.2022).
4. *Перечень* типовых архивных документов, образующихся в научно-технической и производственной деятельности организаций, с указанием сроков хранения, утверждённый приказом Министерства культуры и массовых коммуникаций Российской Федерации от 31.07.2007 № 1182 // Бюллетень нормативных актов федеральных органов исполнительной власти. 2007. № 46.
5. *Постановление* Правительства Российской Федерации от 15.11.1997 № 1425 «Об информационных услугах в области гидрометеорологии и мониторинга загрязнения окружающей природной среды» // Собрание законодательства Российской Федерации. 1997. № 47, ст. 5410.

Сборник научных трудов

**Труды ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД». Выпуск 189**

Подписано к печати 27.12.2021 г. Формат 60×84/16.

Печать офсетная. Печ. л. 15,9. Тираж 300 экз. Заказ № 49.

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

**УДК 551.46.09**

**Концепция гидрометеорологического обеспечения морской деятельности на основе Единой государственной системы информации об обстановке в Мировом океане в контексте цифровой трансформации Росгидромета.** Михайлов Н.Н., Белов С.В., Вязилов Е.Д., Лобачёв П.С., Кузнецов А.А., Баталкина С.А., Белова К.В., Вязилова Н.А., Ибрагимова В.И., Козловцев А.В., Мельников Д.А., Пузова Н.В., Нефёдова Г.И. Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2021. Вып. 189. С. 5 – 34.

Концепция гидрометеорологического обеспечения морской деятельности представляет собой совокупность основополагающих решений по совершенствованию информационного обслуживания морских объектов на основе применения Единой государственной системы информации об обстановке в Мировом океане и цифровых технологий. Основной целью является налаживание многомерного электронного взаимодействия между центрами единой системы и пользователями информации. Предусматривается расширение обмена данными и услугами об океане, снижение стоимости производства информации, предоставляемой морским объектам, за счёт использования цифровых технологий.

*Ключевые слова:* ЕСИМО, морское гидрометеорологическое обеспечение морской деятельности, информационные системы, данные, веб-технологии, сервисы, потребители данных и услуг.

Ил. 5. Табл. 1. Библиогр. 30.

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

**Оценки тенденций стока воды в половодье на реках в бассейнах Енисея и Лены.** Гниломедов Е.В. Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2021. Вып. 189. С. 35 – 58.

В статье изложен метод расчёта стока воды в половодье по данным значений осадков. Суть метода состоит в нахождении максимально высокой корреляции между стоком воды в половодье и предшествующими 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.

В статье проведён анализ данных рядов наблюдений за стоком воды в половодье на незарегулированных участках рек бассейнов Енисея и Лены в местах расположения социально и промышленно значимых объектов за последние 40 лет. Проведены трендовые оценки стока рек в половодье за этот период. Также определены тенденции в изменении средних расходов воды в половодье по тем же гидрологическим постам до 2050 года.

*Ключевые слова:* сток воды, половодье, паводки, наводнение, бассейн реки, водосбор, количество осадков, трендовые оценки стока рек в половодье, расходы воды в половодье, тенденции в изменении стока рек в половодье.

Ил. 10. Табл. 8. Библиогр. 13.

**УДК 551.501 : 551.515**

**Технология обеспечения пользователей данными об опасных и неблагоприятных гидрометеорологических явлениях.** Коршунов А.А., Шаймарданов В.М., Шаймарданов М.З. Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2021. Вып. 189. С. 59 – 71.

Приведено краткое описание системы расчёта статистики об опасных и неблагоприятных гидрометеорологических явлениях и ведения базы данных. Для анализа наиболее опасных зон проявления опасных и неблагоприятных гидрометеорологических явлений, их тенденций изменения за определённый период сформулированы необходимые статистические данные. Представлена технология доведения этих данных и результатов анализа до пользователей. Подчёркнуто, что для системы быстрого обеспечения пользователей и научных исследователей информационной продукцией организаций Росгидромета требуется формировать специализированные информационные массивы, ориентированные на конкретные виды опасных явлений и отрасли экономики. Дается краткое описание разработанной автоматизированной информационно-справочной системы учёта сведений об опасных гидрометеорологических явлениях. Указано, что эффективность стратегии минимизации экономических ущербов связана с совершенствованием деятельности по обеспечению развития регионов на основе гидрометеорологической безопасности.

*Ключевые слова:* Единый государственный фонд данных, неблагоприятные гидрометеорологические явления, опасные гидрометеорологические явления, общее число случаев воздействия, суммарное число случаев воздействия, социально-экономическая система, специализированные информационные массивы.

Ил. 4. Библиогр. 16.

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

**Оценки тенденций стока воды в половодье и паводочный период на реках Камчатки, Забайкалья и бассейна Амура.** Гниломедов Е.В. Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2021. Вып. 189. С. 72 – 92.

В статье изложен метод расчёта стока воды в половодье и паводки по данным значений осадков. Суть метода состоит в нахождении максимально высокой корреляции между стоком воды и предшествующими 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.

В статье проведён анализ данных рядов наблюдений за стоком воды в половодье и паводочный период на незарегулированных участках рек Камчатки, Забайкалья и бассейна Амура в местах расположения социально и промышленно значимых объектов за последние 40 лет. Проведены трендовые оценки стока рек за этот период. Также определены тенденции в изменении средних расходов воды в половодье и паводочный период по тем же гидрологическим постам до 2050 года.

*Ключевые слова:* сток воды, половодье, паводки, наводнение, бассейн реки, водосбор, количество осадков, трендовые оценки стока рек в половодье, расходы воды в половодье, тенденции в изменении стока рек в половодье.

Ил. 8. Табл. 7. Библиогр. 15.

**УДК 551.501:551.515**

**Частота воздействия опасных гидрометеорологических явлений на экономику и население Российской Федерации за 1991–2020 годы.** Рыбанова А. Ю., Шамин С. И. 2021. Вып. 189. С. 93–102.

На основе анализа базы данных «Сведения об опасных и неблагоприятных гидрометеорологических явлениях, которые нанесли материальный и социальный ущерб на территории России» (Свидетельство о государственной регистрации № 2019621326, авторы – С. И. Шамин, Л. К. Бухонова, А. Т. Санина), приведены значения общего числа случаев опасных гидрометеорологических явлений и их повторяемость за 1991–2020 гг. Рассмотрены тенденции изменения частоты воздействия опасных и неблагоприятных гидрометеорологических явлений на разные виды экономической деятельности, в том числе по месяцам за последние два десятилетия (2001–2010 и 2011–2020 гг.). Показан рост числа случаев воздействия опасных гидрометеорологических явлений на социально-экономическую систему, который в последние годы незначителен.

*Ключевые слова:* опасные гидрометеорологические явления, повторяемость, социально-экономическая система, отрасль экономики.

Ил. 3. Библиогр. 9.

**УДК 004.9**

**Модель интеграции приложений и её реализация в Единой государственной системе информации об обстановке в Мировом океане.** Белова К. В., Михайлов Н. Н. Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2021. Вып. 189. С. 103–115.

Предложена модель интеграции приложений для управления разнородными распределёнными данными о морской среде и морской деятельности в Единой государственной системе информации об обстановке в Мировом океане (ЕСИМО). Представлены соответствующие решения в виде взаимодействующих веб-сервисов и технологий. Впервые предложен подход взаимодействия приложений в области управления данными об океане на основе единой интегрирующей среды и с использованием стандартизированных веб-интерфейсов и протоколов.

*Ключевые слова:* Росгидромет, Единая государственная система информации об обстановке в Мировом океане (ЕСИМО), интеграция приложений, методы и средства интеграции, интегрирующая среда, веб-сервисы, Сервисная шина.

Ил. 3. Библиогр. 8.

**УДК 551.583**

**Изменение индексов экстремальности на территории России.** Коршунова Н.Н., Давлетшин С.Г. Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2021. Вып. 189. С. 116–127.

Рассматриваются такие индексы экстремальности, как продолжительность волн тепла и холода, тёплых и холодных ночей, продолжительность «сухих» периодов, доля интенсивных осадков и число дней с интенсивными осадками. Анализируется распределение на территории России средних многолетних значений индексов экстремальности и их изменение в различных климатических зонах. Показано, что на большей части страны в последние годы возрастает экстремальность климата, что выражается в увеличении как волн тепла, так и волн холода, а значит в их более частой смене.

*Ключевые слова:* индексы экстремальности климата, продолжительность волн тепла и холода, индекс тёплых ночей, индекс холодных ночей, индекс «сухих» периодов.

Ил. 6. Библиогр. 21.

**УДК 551.506.7**

**Результаты мониторинга полноты и содержания опытных файлов нового массива текущих аэрологических данных, поступающих из сети ГСТ в кодовых формах BUFR.** Руденкова Т.В., Тимофеев А.А. Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2021. Вып. 189. С. 128–136.

В ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД» ведутся работы по архивации текущих аэрологических данных, поступающих по ГСТ в виде сообщений в таблично-ориентированных кодовых формах (BUFR) по вновь разработанной технологии архивации. Проводится мониторинг состава, содержания и полноты опытных файлов нового массива Аэробафр. Приведены индексы станций, по которым отсутствуют данные в файлах массива за март–июнь 2021 года. В статье описаны некоторые проблемы архивации текущих аэрологических данных. Приведены примеры и описаны обнаруженные систематические ошибки в данных по конкретным станциям.

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

Ил. 3. Табл. 1. Библиогр. 8.

**УДК 551.583 + 551.32**

**Площадь морского льда в Северном Ледовитом океане: изменения, прогноз.** Шерстюков Б. Г., Шерстюков А. Б. Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2021. Вып. 189. С. 137 – 151.

Показано, что изменения площади морского льда последних четырёх десятилетий являются фрагментом многолетних колебаний, присущих климату Северной Атлантики и другим регионам Земли с периодом около 60 лет. Уменьшение площади морского ледового покрова Арктики происходит в годы усиления меридионального переноса тепла из субтропиков в высокие широты при циклических изменениях атмосферной циркуляции и океанических течений. Выявлена асинхронная зависимость многолетних изменений площади льда Арктики от температуры поверхности океана и температуры воздуха над континентами. Запаздывание изменения ледовых условий составило 4 года относительно изменений температуры поверхности океана и 5 лет – относительно изменений температуры воздуха в реперных узлах. По уравнению асинхронной регрессии составлен прогноз изменений сентябрьской площади морского льда Арктики на 2021–2024 гг.

*Ключевые слова:* климатические изменения, морской лёд, колебания климата, климатический прогноз, температура, Арктика и Мировой океан.

Ил. 6. Библиогр. 18.

**УДК 551.465**

**Сезонная изменчивость толщины изотермического слоя в Мировом океане.** Салугашвили Р. С. Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2021. Вып. 189. С. 152 – 166.

По данным, полученным на основе программы Арго, выявлены региональные и сезонные особенности в толщине изотермического слоя океана. Наибольшие значения глубины изотермического слоя в целом совпадают с положением морских течений и частично – с районами максимальных ветров над океаном.

*Ключевые слова:* Арго, толщина изотермического слоя, толщина перемешанного слоя.

Ил. 4. Библиогр. 17.

**УДК 551.46.06:681.3.06**

**Практическая реализация морского климатического справочника на примере Чёрного моря.** Воронцов А.А., Грузинов В.М., Баталкина С.А., Булыгин А.М., Нефёдова Г.И. Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2021. Вып. 189. С. 167 – 174.

В статье рассмотрена практическая реализация нового электронного режимно-справочного издания в виде морского климатического справочника (МКС). Приведено макетирование МКС, его окончательный состав для Чёрного моря. Показаны интерфейсы МКС и виды его выходной продукции для обеспечения морской деятельности.

*Ключевые слова:* Чёрное море, климат моря, режим, гидрометеорология, океанография, гидрохимия, морской справочник.

Ил. 4. Библиогр. 3.

**УДК 551.501**

**Разработка прикладных сервисов гидрометеорологического обеспечения морской деятельности Единой государственной системы информации об обстановке в Мировом океане.** Мельников Д.А., Михайлов Н.Н., Вязилов Е.Д. Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2021. Вып. 189. С. 175 – 188.

Представлен способ универсальной обработки и визуализации данных по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды в различных формах (карты, графики, таблицы, отчёты) и предоставления потребителям доступа к ним в режиме «самообслуживания». Разработаны решения по построению прикладных сервисов гидрометеорологического обеспечения морской деятельности, включая подготовку результатов для анализа сложившейся обстановки, расчёты показателей и отображение данных для поддержки решений. Даны примеры реализованных сервисов в составе Единой государственной системы информации об обстановке в Мировом океане.

*Ключевые слова:* Единая государственная система информации об обстановке в Мировом океане, гидрометеорологическое обслуживание морской деятельности, прикладные задачи и сервисы.

Ил. 2. Библиогр. 16.

**УДК 551.576.1:551.58**

**Тренды числа восстановленных облачных слоёв над разными широтными зонами по глобальным данным радиозондирования атмосферы за 1964–2018 гг.** Черных И.В., Алдухов О.А. Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2021. Вып. 189. С. 189 – 219.

Статья содержит информацию о трендах числа облачных слоёв, восстановленных по срочным радиозондовым наблюдениям в слое атмосферы от уровня земли до высоты 10 км, проводимых на станциях глобальной аэрологической сети за период 1964–2018 гг. Они получены с использованием СЕ-метода, разработанного для определения границ и количества облачности по профилям температуры и влажности, полученным при радиозондовых наблюдениях. Результаты могут быть использованы для исследования облачности и её долгопериодных изменений, для оценки условий распространения электромагнитных волн.

*Ключевые слова:* данные радиозондирования, число облачных слоёв, вертикальная макроструктура, климат, тренды, широтные зоны, земной шар.

Ил. 6. Табл. 6. Библиогр. 58.

**УДК 551.501.771**

**Некоторые сезонные особенности изменений относительной влажности воздуха в различных природно-климатических зонах России.** Кузнецова В.Н., Швець Н.В. Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2021. Вып. 189. С. 220 – 232.

В статье показана особенность сезонного и пространственного распределения изменений относительной влажности воздуха по территории России в зависимости от типа подстилающей поверхности и природно-климатических зон за период 1966–2020 гг. Показано, что распределение трендов относительной влажности воздуха неоднородно в пространстве и во времени и зависит от типа подстилающей поверхности. Обнаружены районы, находящиеся в похожих циркуляционных и географических условиях и одинаковых типах подстилающей поверхности, где сезонные изменения относительной влажности воздуха совпадают. Определены оптимальные районы России для региональных климатических исследований относительной влажности воздуха.

*Ключевые слова:* изменение климата, относительная влажность воздуха, линейные тренды, тип подстилающей поверхности, климатические районы.

Ил. 3. Табл. 2. Библиогр. 18.

**УДК 551.524**

**Гомогенизация суточных данных температуры воздуха.** Финаев А.Ф., Разуваев В.Н. Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2021. Вып. 189. С. 233 – 247.

В статье представлен анализ результатов гомогенизации данных средне-суточной температуры воздуха для 518 станций России с использованием пакета RHTests. Показана статистическая информация при сравнении станций с однородными и неоднородными данными. Дана оценка изменения коэффициентов тренда температуры воздуха при использовании неоднородных и скорректированных данных в среднесуточном и среднемесечном временном масштабе. Показано изменение коэффициента тренда в зависимости от продолжительности наблюдений.

*Ключевые слова:* климат, метеорология, температура воздуха, гомогенизация, однородные ряды.

Ил. 7. Табл. 3. Библиогр. 19.

**УДК [551.501 + 556.043 + 551.46] : 43**

**Формирование Перечня документов, образующихся в процессе деятельности Федеральной службы по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды.** Кашина И.И., Кузнецов А.А., Рябова Е.А. Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2021. Вып. 189. С. 248 – 257.

В статье рассматриваются вопросы формирования 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.

Перечень содержит 18 разделов и включает 990 статей.

Десять разделов – это типовые функции по управлению, планированию, финансам, кадрам и т.п.

Восемь разделов содержат статьи по деятельности Росгидромета в области гидрометеорологии и мониторинга окружающей среды.

*Ключевые слова:* архив, перечень архивных документов, гидрометеорология, мониторинг окружающей среды.

Ил. 2. Библиогр. 5.

**UDC 551.46.09**

**Concept of hydrometeorological support of marine activities on the basis of the Unified State System of Information on the World Ocean in the context of digital transformation of Roshydromet.** Mikhailov N.N., Belov S.V., Vyazilov E.D., Lobachev P.S., Kuznetsov A.A., Bataki-na S.A., Belova K.V., Vyazilova N.A., Ibragimova V.I., Koz-lovtsev A.V., Melnikov D.A., Puzova N.V., Nefedova G.I. Proceedings of RIHMI-WDC. 2021. N 189. P. 5–34.

The concept of hydrometeorological support of marine activities is a set of fundamental solutions to improve information services for marine facilities based on the use of the Unified State System of Information on the World Ocean (ESIMO) and digital technologies. The main goal is to ensure the multidimensional electronic interaction between data centers and ocean data users. It is envisaged to expand the ocean data exchange and to reduce the cost of producing information provided to marine facilities through the use of digital technologies.

*Keywords:* ESIMO, marine hydrometeorological support of marine activities, information systems, data, web technologies, services, consumers of data and services.

Fig. 5. Tab. 1. Ref. 30.

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

**Estimates of trends in water flow in high water on rivers in the basins of Yenisei and Lena.** Gnilomedov E.V. Proceedings of RIHMI-WDC. 2021. N 189. P. 35–58.

The article describes a method for calculating water runoff in high water according to precipitation values. The essence of the method is to find the highest possible correlation between the water flow in high water and previous precipitation by excluding from the calculations the catchment areas where the relationship between the amount of precipitation and the amount of water entering the river network is artificially disrupted due to the construction of reservoirs and water intake structures or is difficult for natural reasons.

The article analyzes the data of a series of observations of water runoff in high water on unregulated sections of the rivers of the Yenisei and Lena basins in the locations of socially and industrially significant objects over the past 40 years. Trend estimates of river flow in high water during this period were carried out. The trends in the change in the average water consumption in high water for the same hydrological posts up to 2050 are also determined.

*Keywords:* water runoff, high water, floods, flood, river basin, catchment, amount of precipitation, trend estimates of river runoff during high water, water discharge during high water, trends in river runoff changes during high water.

Fig. 10. Tab. 8. Ref. 13.

**UDC 551.501:551.515**

**Technology of providing users with data on hazardous and unfavorable hydrometeorological events.** Koshunov A.A., Shaimardanov V.M., Shaimardanov M.Z. Proceedings of RIHMI-WDC. 2021. N 189. P. 59 – 71.

The paper gives a brief description of the system for calculating statistics on hazardous and unfavorable hydrometeorological events and maintaining the database. The necessary statistical data are obtained to analyze the most dangerous areas of hazardous and unfavorable hydrometeorological events and to identify trends during a certain period. The technology for communicating these data and analysis results to users is presented. It is emphasized that for rapid dissemination of Roshydromet's information products among users and researchers specialized data sets focused on specific types of hazards and specific sectors of economy are required. The automated information and reference system developed to keep record of hydrometeorological hazards is briefly described. It is pointed out that the effectiveness of the economic damage minimization strategy depends on the improvement of the work ensuring the development of regions on the basis of hydrometeorological safety.

**Keywords:** Unified State Data Fund, unfavorable hydrometeorological events, hydrometeorological hazards, total number of cases of hazardous weather impacts, socio-economic system, specialized data sets.

Fig. 4. Ref. 16.

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

**Estimates of water flow trends in high water and flood period on the rivers of Kamchatka, Transbaikalia and the Amur basin.** Gnilomedov E.V. Proceedings of RIHMI-WDC. 2021. N 189. P. 72 – 92.

The article describes a method for calculating the water flow in high water and floods according to precipitation values. The essence of the method is to find the highest possible correlation between water runoff and previous precipitation by excluding catchment areas from calculations where the relationship between the amount of precipitation and the amount of water entering the river network is artificially disrupted due to the construction of reservoirs and water intake structures or is complicated for natural reasons.

The article analyzes the data of series of observations of water runoff during high water and flood period on unregulated sections of the rivers of Kamchatka, Transbaikalia and the Amur basin in the locations of socially and industrially significant objects over the past 40 years. Trend estimates of river flow in this period are carried out. Trends in changes in average water consumption during high water and the flood period for the same hydrological posts up to 2050 are also determined.

**Keywords:** water runoff, high water, floods, flood, river basin, catchment, amount of precipitation, trend estimates of river runoff during high water, water discharge during high water, trends in river runoff changes during high water.

Fig. 8. Tab. 7. Ref. 15.

**UDC 551.501:551.515**

**Frequency of hydrometeorological hazards that affected the economy and population in 1991–2020.** Rybanova A.Yu., Shamin S.I. Proceedings of RIHMI-WDC. 2021. N 189. P. 93 – 102.

The total number of events of hydrometeorological hazards is presented for 1991–2020 by analyzing the database «Information on hazardous and unfavourable hydrometeorological events that did damage to the economy and population of the Russian Federation» (registration certificate N 2019621326, authors: S.I. Shamin, L. K. Bukhonova, A. T. Sanina). Trends are considered for the change in the frequency of the impact of hydrometeorological hazards on different economic activities, including monthly frequency for the last two decades (2001–2010 and 2011–2020). The growing frequency of the hydrometeorological hazards impact on the socio-economic system is shown. The growth shown in the number of hydrometeorological hazards is recently insufficient.

*Keywords:* hydrometeorological hazards, frequency, socio-economic system, economic branch.

Fig. 3. Ref. 9.

**UDC 004.9**

**Application integration model and its implementation in the Unified State System of Information on the World Ocean.** Belova K.V., Mikhailov N.N. Proceedings of RIHMI-WDC. 2021. N 189. P. 103 – 115.

A model for integrating applications for managing heterogeneous distributed data on the marine environment and marine activities in the Unified State System of Information on the World Ocean (ESIMO) is proposed, the corresponding solutions are presented in the form of interacting web services and technologies. For the first time, an approach is proposed for interoperability of applications in the field of ocean data management based on a single integrating environment and using standardized web interfaces and protocols.

*Keywords:* Roshydromet, Unified State System of Information on the World Ocean (ESIMO), application integration, methods and means of integration, integrating environment, web-services, service bus.

Fig. 3. Ref. 8.

**UDC 551.583**

**Changes in extremity indices on the territory of Russia.** Korshunova N.N., Davletshin S.G. Proceedings of RIHMI-WDC. 2021. N 189. P. 116 – 127.

Such extremality indices as duration of heat and cold waves, warm and cold nights, and «dry» periods, as well as proportion of heavy precipitation and the number of days with heavy precipitation, are considered. Distribution of long-term means of extremality indices over the Russian area and their change in different climate zones are analyzed. For the most of the country, climate extremality is shown to increase in the recent years, which is revealed in the increase of both heat and cold waves and thus in their more frequent change.

*Keywords:* climate extremality indices, duration of heat and cold waves, warm night index, cold night index, «dry» period index.

Fig. 6. Ref. 21.

**UDC 551.506.7**

**Results of the monitoring of the content and completeness of pilot files of the new set of upper-air data arriving from the GTS network in the BUFR code forms.** Rudenkova T.V., Timofeev A.A. Proceedings of RIHMI-WDC. 2021. N 189. P. 128 – 136.

RIHMI-WDC is involved in the archiving of current upper-air data received from GTS in the form of messages in table-driven code forms (BUFR) by using new archiving technology. The Institute also performs monitoring of the structure, content and completeness of test files in the new AEROBUFR dataset. Indices are presented for the stations that do not have data in the datasets for March to June 2021. Some of the problems of current upper-air data archiving are described. Systematic errors found in the data of specific stations are described and exemplified.

*Keywords:* archiving, upper-air data, global network of stations, Global Telecommunication System, BUFR code.

Fig. 3. Tab. 1. Ref. 8.

**UDC 551.583 + 551.32**

**Sea ice area in the Arctic Ocean: changes, forecast.** Sherstyukov B.G., Sherstiukov A.B. Proceedings of RIHMI-WDC. 2021. N 189. P. 137 – 151.

It is shown that the changes in the sea ice area for the last four decades are a fragment of long-term fluctuations inherent in the climate of the North Atlantic and other regions of the Earth with a period of about 60 years. The decrease in the area of the Arctic sea ice cover occurs during the years of increasing meridional heat transfer from the subtropics to high latitudes with cyclical changes in atmospheric circulation and ocean currents. The asynchronous dependence of long-term changes in the Arctic ice area on the ocean surface temperature and air temperature over the continents has been revealed. The delay in changes in ice conditions was 4 years relative to changes in ocean surface temperature and 5 years relative to changes in air temperature in reference nodes. According to the asynchronous regression equation, a forecast of changes in the September area of the Arctic sea ice for 2021–2024 has been made.

*Keywords:* climate change, sea ice, climate fluctuations, climate forecast, temperature, Arctic and World Ocean.

Fig. 6. Ref. 18.

**UDC 551.465**

**Seasonal variability of the isothermal layer depth in the World Ocean.** Salugashvili R.S. Proceedings of RIHMI-WDC. 2021. N 189. P. 152 – 166.

According to the data obtained on the basis of the Argo program, regional and seasonal features were revealed in the thickness of the isothermal layer of the ocean. The greatest values of the depth of the isothermal layer generally coincide with the position of the sea currents, and partially with the areas of maximum winds over the ocean.

*Keywords:* Argo, isothermal layer depth, mixed layer depth.

Fig. 4. Ref. 17.

**UDC 551.46.06:681.3.06**

**Practical implementation of the maritime climate reference book by the example of the Black Sea.** Vorontsov A.A., Gruzinov V.M., Batalkina S.A., Bulygin A.M., Nefedova G.I. Proceedings of RIHMI-WDC. 2021. N 189. P. 167 – 174.

The article discusses the practical implementation of a new electronic regime reference manual in the form of a marine climate reference book (MCRB). The layout of MCRB and its final composition for the Black Sea are presented. Shown are the interfaces of MCRB and the types of its output for the support of maritime activities.

*Keywords:* Black Sea, marine climate, regime, hydrometeorology, oceanography, hydrochemistry, marine reference book.

Fig. 4. Ref. 3.

**UDC 551.501**

**Development of applied services for hydrometeorological support of maritime activities within the Unified State System of Information on the World Ocean.** Melnikov D.A., Mikhailov N.N., Vyazilov E.D. Proceedings of RIHMI-WDC. 2021. N 189. P. 175 – 188.

The article presents a method of universal processing and visualization of data on hydrometeorology and environmental monitoring in various forms (maps, graphs, tables, reports) and providing users with access to these data in a «self-service» mode. Solutions have been developed for the construction of applied services for hydrometeorological support of marine activities, including the preparation of results for the analysis of the current situation, the calculation of indicators and the display of data to support decisions. Examples of implemented services as part of the Unified State System of Information on the World Ocean are given.

*Keywords:* Unified State System of Information on the World Ocean, hydrometeorological services for marine activities, applications and services.

Fig. 2. Ref. 16.

**UDC 551.576.1:551.58**

**Trends of the number of reconstructed cloud layers by global data of radiosondeing of the atmosphere in 1964–2018 for different latitude zones.**

Chernykh I.V., Aldukhov O.A. Proceedings of RIHMI-WDC. 2021. N 189. P. 189–219.

The paper contains information about the trends of the number of cloud layers, reconstructed from hourly radiosonde observations in the atmospheric layer from the surface up to the 10-km height. The observations were conducted at the stations of the global aerological network in 1964–2018. The trends were obtained with CE-method developed to determine the boundaries and amount of cloudiness using temperature and humidity profiles obtained from hourly radiosounding observations. The results can be used to study cloudiness and its changes, to evaluate the conditions of the electromagnetic waves propagation.

*Keywords:* upper air data, number of cloud layers, vertical macrostructure, climate, trends, latitudinal zones, globe.

Fig. 6. Tab. 6. Ref. 58.

**UDC 551.501.771**

**Seasonal features of relative air humidity change in different natural and climatic zones of Russia.**

Kuznetsova V.N., Shvets N.V. Proceedings of RIHMI-WDC. 2021. N 189. P. 220–232.

The paper shows specific features of seasonal and spatial distribution of relative air humidity change over the Russian territory depending on the underlying surface type and the natural and climatic zones for the period 1966–2020. It is shown that the distribution of relative air humidity trends is inhomogeneous in space and time and depends on the type of underlying surface. Regions are detected that have similar circulation and geographical conditions and similar underlying surface types, where seasonal changes in relative air humidity coincide. The regions of Russia are determined that are most favourable for climate research on relative air humidity.

*Keywords:* climate change, relative air humidity, linear trends, underlying surface type, climatic regions.

Fig. 3. Tab. 2. Ref. 18.

**UDC 551.524**

**Homogenization of daily air temperature data.** Finaev A.F., Razuvaev V.N. Proceedings of RIHMI-WDC. 2021. N 189. P. 233 – 247.

The article discusses results of homogenization of mean daily air temperature data for 518 stations in Russia using the RHTests package. Statistical comparison for stations with homogeneous and heterogeneous data is represented. The change in air temperature trend coefficients using heterogeneous and corrected data in mean daily and mean monthly scales is evaluated. The change in the trend coefficient depending on observation duration is shown.

*Keywords:* climate, meteorology, air temperature, homogenization, homogeneous data series.

Fig. 7. Tab. 3. Ref. 19.

**UDC [551.501+556.043+551.46]:43**

**Formation of the list of documents produced by the Federal Service for Hydrometeorology and Environmental Monitoring.** Kashina I.I., Kuznetsov A.A., Ryabova E.A. Proceedings of RIHMI-WDC. 2021. N 189. P. 248 – 257.

The article deals with the issues of forming the list of documents produced in the course of the activities of the Federal Service for Hydrometeorology and Environmental Monitoring (Roshydromet), its territorial bodies and subordinate organizations, indicating the terms of the document storage.

The list contains 18 sections and includes 990 articles.

Ten sections are typical functions for management, planning, finance, personnel, etc.

Eight sections contain articles on the activities of Roshydromet in the field of hydrometeorology and environmental monitoring.

*Keywords:* archive, list of archival documents, hydrometeorology, environmental monitoring.

Fig. 2. Ref. 5.