

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИИ И МОНИТОРИНГУ
ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

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



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

ОБНИНСК
2019

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

Редакционная коллегия

Главный редактор к.т.н. В. С. Косых

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

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

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

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

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

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

В сборнике представлены статьи, излагающие результаты исследований в области гидрометеорологии, климатологии, соответствующих информационных технологий. Большинство статей посвящается вопросам обеспечения климатической информацией и результатам эмпирико-статистического анализа структуры и изменений климата. Рассмотрены вопросы обоснования создания интегрированной системы информационного обеспечения климатической деятельности. Изложены результаты исследований различных характеристик приземного климата, климата свободной атмосферы и климата гидросферы. Изложены представления о возможных механизмах взаимодействий компонент земной и космической систем, вызывающих климатические колебания. В сборник также включены статьи, посвящённые оценке частоты появления опасных гидрометеорологических явлений, нанёсших ущерб, созданию информационной базы судовых морских метеорологических наблюдений, анализу нормативной правовой базы в области гидрометеорологии и влиянию её изменений на условия деятельности Федеральной службы по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды.

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

The book contains papers with results of research in hydrometeorology, climatology and related information technologies. Most of the papers deal with the issues of providing climate information and the results of empirical and statistical analysis of climate structure and climate change. The reasons for creating the Integrated System for Information Support of Climate Activity are considered. Results of research on different characteristics of surface climate, free atmosphere climate and hydrosphere climate are given. The ideas of the possible mechanisms of interactions between the components of earth and space systems that cause climatic fluctuations are presented. The book also contains papers dealing with evaluation of the frequency of hydrometeorological hazards that caused damage, creation of the database of ship marine meteorological observations, analysis of the regulatory and legal framework (RLF) in hydrometeorology, and influence of RLF changes on the activity of the Federal Service for Hydrometeorology and Environmental Monitoring.

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

СОДЕРЖАНИЕ

<i>Бедрицкий А.И.</i> О формировании комплексного информационного обеспечения климатической деятельности в Российской Федерации	5
<i>Кориунова Н.Н., Давлетишин С.Г.</i> Климатические характеристики оттепелей на территории России.....	24
<i>Аржанова Н.М., Кориунова Н.Н.</i> Характеристики гололёдно-изморозевых явлений на территории России в условиях современных изменений климата.....	33
<i>Воронцов А.А.</i> Климатические изменения уровня режима и термических условий российского сектора Балтийского моря за последние десятилетия.....	45
<i>Шамин С.И., Санина А.Т.</i> Оценка частоты появления опасных гидрометеорологических явлений, нанёсших ущерб субъектам Российской Федерации.....	54
<i>Шерстюков Б.Г.</i> Асинхронные дальние связи температуры воздуха в Центральном регионе России с температурой поверхности Мирового океана.....	67
<i>Шерстюков Б.Г.</i> Момент инерции движения Солнца относительно центра масс Солнечной системы и долгопериодные колебания температуры поверхности океана.....	80
<i>Вязилова Н.А., Вязилов А.Е.</i> Экстремальные внетропические циклоны Северной Атлантики и крупномасштабная циркуляция в верхней тропосфере	94
<i>Черных И.В., Алдухов О.А.</i> Повторяемость восстановленных облачных слоёв над разными широтными зонами земного шара по данным радиозондирования за 1964–2018 гг.....	102
<i>Гниломедов Е.В.</i> Современные изменения гидрологического режима рек в горах Северного Кавказа и Алтая	118
<i>Клещенко Л.К.</i> Продолжительность солнечного сияния на территории России в 2018 году.....	130
<i>Кашина И.И.</i> Нормативная правовая база в области гидрометеорологии и влияние её изменений на условия деятельности Федеральной службы по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды.....	144
<i>Кракановская Е.М., Маринченко Е.Б., Шевченко А.И.</i> Создание информационной базы данных судовых метеорологических наблюдений «МОРМЕТ» и «МОРМЕТ-2006»	155
<i>Финаев А.Ф.</i> Оценка использования Биоклиматического индекса суровости климатического режима на территории России.....	170
<i>Шерстюков А.Б.</i> Отопляющее действие снежного покрова на температуру поверхности почвы под снегом.....	180

CONTENTS

<i>Bedritsky A.I.</i> Creating the integrated information support of climate-related activity in the Russian Federation	5
<i>Korshunova N.N., Davletshin S.G.</i> Climate characteristics of thaw periods over the Russian territory.....	24
<i>Arzhanova N.N., Korshunova N.N.</i> Characteristics of glaze-ice and rime phenomena over the Russian territory under current climate change	33
<i>Vorontsov A.A.</i> Climatic changes of the sea level regime and thermal conditions of the Russian sector of the Baltic Sea in recent decades.....	45
<i>Shamin S.I., Sanina A.T.</i> Hydrometeorological hazards frequency estimated for constituent territories of the Russian Federation.....	54
<i>Sherstyukov B.G.</i> Asynchronous long-range relations of air temperature in the Central region of Russia with the surface temperature of the World Ocean	67
<i>Sherstyukov B.G.</i> The moment of inertia of the Sun's movement relative to the center of the Solar System mass and long-term fluctuations in the temperature of the ocean surface	80
<i>Vyazilova N.A., Vyazilov A.E.</i> Extreme extratropical cyclones in the North Atlantic and large-scale upper tropospheric circulation.....	94
<i>Chernykh I.V., Aldukhov O.A.</i> Frequency of reconstructed cloud layers over different latitudinal zones of the Globe from upper air data for 1964–2018.....	102
<i>Gnilomedov E.V.</i> Modern changes in the hydrological regime of rivers in the North Caucasus and Altai mountains	118
<i>Kleshchenko L.K.</i> Sunshine duration over the territory of Russia in 2018	130
<i>Kashina I.I.</i> Normative legal base in the field of hydrometeorology and the impact of its changes on the conditions of the Federal Service for Hydrometeorology and Environmental Monitoring.....	144
<i>Krakanovskaya E.M., Marinchenko E.B., Shevchenko A.I.</i> Creation of databases of MORMET and MORMET-2006 ship meteorological observations	155
<i>Finaev A.F.</i> Estimating the use of Bioclimatic Index of Severity of Climatic Regime on the territory of Russia.....	170
<i>Sherstiukov A.B.</i> Warming influence of snow cover on the temperature of the soil surface under snow	180

УДК 551.586

О ФОРМИРОВАНИИ КОМПЛЕКСНОГО ИНФОРМАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ КЛИМАТИЧЕСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ В РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

А. И. Бедрицкий

*Общероссийская общественная организация
«Российское гидрометеорологическое общество»,
Москва, Россия, albed2005@yandex.ru*

Введение

Во второй половине XX века глобальное потепление климата Земли стало не только проблемой научных исследований, но и оказало влияние на социальные, экономические, экологические, политические аспекты развития человечества. Начиная с 90-х годов прошлого века мировым сообществом было принято три важных международных соглашения, касающихся вопросов изменения климата, изучения его влияния на деятельность человека и состояние экосистем, разработки и реализации мер по снижению антропогенных выбросов парниковых газов, приспособления жизнедеятельности к условиям меняющегося климата. Это Рамочная конвенция ООН об изменении климата, 1994 г. (РКИК) [1], Киотский протокол к РКИК, 2005 г. (КП) [2] и Парижское соглашение, 2015 г. (ПС) [3].

Российская Федерация является Стороной всех этих международных климатических соглашений, которые с целью снижения антропогенного влияния на климат и уменьшения ущерба от воздействия изменения климата предусматривают:

- проведение соответствующей социальной, экономической и экологической политики с учётом соображений, связанных с изменением климата;
- содействие и сотрудничество в проведении научных, технологических, технических, социально-экономических и других исследований, систематических наблюдений и создании банков данных, связанных с климатической системой;

- содействие и сотрудничество в области образования, подготовки кадров и просвещения населения по вопросам изменения климата;
- разработка, осуществление и обновление национальных и региональных программ, содержащих меры по смягчению последствий изменения климата путём снижения антропогенных выбросов из источников и увеличения абсорбции поглотителями всех парниковых газов, не регулируемых Монреальским протоколом;
- меры по содействию адекватной адаптации к изменению климата;
- содействие и сотрудничество в разработке, применении и распространении технологий, методов и процессов, приводящих к ограничению, снижению или прекращению антропогенных выбросов парниковых газов во всех соответствующих секторах, включая энергетику, транспорт, промышленность, сельское хозяйство, лесное хозяйство и удаление отходов.

В сентябре 2015 г. на Саммите ООН в Нью-Йорке на 2016–2030 гг. был принят итоговый документ «Повестка дня в области устойчивого развития на период до 2030 года» [4], в котором определены 17 целей устойчивого развития (ЦУР). Среди других взаимосвязанных ЦУР есть ЦУР 13 «Принятие срочных мер по борьбе с изменением климата и его последствиями» [5], которая включает практически аналогичные задачи.

С разной степенью конкретизации большинство стран мира определили свои обязательства по РКИК, КП и ПС. Процесс выполнения обязательств по этим международным соглашениям реализуется уже четверть века. Участие России в реализации климатических соглашений за двадцатилетний период представлено в [6].

Определение понятия «климатическая деятельность»

Поскольку климатический мотив доминирует в решении задач этих соглашений и затрагивает практически все сферы социально-экономического развития России, далее будем использовать

термин «**климатическая деятельность**» (**climate activities**)), под которым понимается *совокупность климатически обусловленных действий (climate action), мер, планируемых или реализуемых в различных сферах экономики, мотивацией которых являются необходимость решения задач международных климатических соглашений или национальных климатических стратегий, планов и т.п.*

В научной литературе, интернет-публикациях не встречается термин «климатическая деятельность» в понимании, приведённом выше. Так, например, в работе Джона Зиллмана, Президента Всемирной метеорологической организации в 1995–2003 гг. [7], климатические действия фактически описывают 30-летний исторический процесс в области климатических исследований, мониторинга, применения и оценки воздействия в рамках Всемирной климатической программы, конечная цель которого – Третья Всемирная климатическая конференция. Другие примеры: (<https://www.teachervision.com/weather/climate-activities> Climate Activities. *This activity helps students understand that weather and climate are affected by many factors.* <https://scied.ucar.edu/climate-change-activities>), словосочетание «климатические действия» используется для облегчения понимания материалов по проблеме изменения климата.

Часто используется термин «климатические действия (climate action)», которым описываются процессы по достижению различных целей, связанных с решением проблемы снижения антропогенного воздействия на климатическую систему.

В качестве обоснования для предложенного подхода сошлёмся на основателя теории деятельности советского психолога А.Н. Леонтьева, который в своей работе [8] писал: «*По предложенной мной терминологии предмет деятельности есть её действительный мотив... Итак, понятие деятельности необходимо связано с понятием мотива*», далее он отмечал – «... Основными “составляющими” отдельных человеческих деятельностей являются осуществляющие их действия. Действием мы называем процесс, подчинённый сознательной цели. Подобно тому, как понятие мотива соотносится с понятием деятельности, понятие цели соотносится с понятием действия».

Таким образом действие является структурной единицей деятельности, в нашем случае – климатическая деятельность (climate activities) содержит набор климатических действий (climate action).



Подход с применением нового понятия «климатическая деятельность» охватывает весь спектр положений международных климатических соглашений, а также Климатической доктрины Российской Федерации, в которой сформулировано четыре основные задачи политики в области климата для решения в краткосрочной и долгосрочной перспективах:

- укрепление и развитие информационной и научной основы политики в области климата;
- разработка и реализация оперативных и долгосрочных мер по адаптации к изменениям климата;
- разработка и реализация оперативных и долгосрочных мер по смягчению антропогенного воздействия на климат;
- участие в инициативах международного сообщества в решении вопросов, связанных с изменениями климата и смежными проблемами.

Такой подход, на наш взгляд, опирается на реалии и необходим для обоснования интеграционного единства и взаимосвязи при формировании информационного обеспечения климатической деятельности.

Затраты, потери и выгоды воздействия изменения климата

Опыт государственного управления экономическим развитием в России, особенно в последнее десятилетие, показывает, что изменения климата и их последствия характеризуются сложным взаимодействием экономических, политических, социальных, экологических и технологических процессов. Проблемы, обусловленные факторами климатических изменений, уже оказывают влияние на экономику страны, а уязвимость вследствие воздействия климатических изменений характерна для всех трёх составляющих жизнедеятельности – социальной, экономической и экологической.

К сожалению, оценка затрат и выгод по составляющим климатической деятельности в настоящее время достаточно фрагментарна и не является полной, однако некоторые экспертные оценки можно привести в качестве примеров.

Так, по мнению авторов доклада *«Оценка макроэкономических последствий изменения климата на территории России на период до 2030 года и дальнейшую перспективу»* [10], наносимый ущерб отраслям экономики при существующих тенденциях изменения регионального климата, включая экстремальные и опасные природные явления, может достигать в среднем в год 1–2 % ВВП. Вместе с тем, в Концепции долгосрочного социально-экономического развития Российской Федерации [11] отмечаются «окна возможностей», которые могут открыться к 2030 г. для развития экономики в связи с климатическими изменениями. Они связаны с обусловленной потеплением климата и благоприятной для значительной части территории России тенденцией сокращения отопительного сезона и, соответственно потребностей и затрат на топливо и отопление. При этом, по мнению экспертов, чистые выгоды могут составлять в среднем в год порядка 200–250 млрд руб. Однако авторы Доклада считают, что совокупный эффект перечисленных тенденций в отношении прямых последствий изменений климата для экономики страны в период до 2030 г. будет характеризоваться некоторым

превышением издержек (включая прежде всего ущерб от опасных природных явлений) над упомянутыми выгодами. Что касается влияния изменений климата на здоровье, то, по оценкам ВОЗ, климатические изменения в настоящее время являются причиной примерно 150 тыс. преждевременных смертей в мире и 55 млн человеко-лет нетрудоспособности в среднем в год, что составляет, соответственно, 0,3 и 0,4 % мировых показателей смертности и нетрудоспособности.

С другой стороны, развитие низкоуглеродных технологий, повышение энергоэффективности в России потребует, по оценкам экспертов [12], дополнительных капитальных вложений около 1 % ВВП в 2014–2050 гг.

Столь масштабный ущерб и объёмы инвестиций, необходимых для низкоуглеродного развития, обуславливают потребности в серьёзной межведомственной информационной поддержке государственных решений, направленных на снижение ущерба от последствий климатических изменений и получение максимальной эффективности инвестиционных вложений для снижения антропогенной нагрузки на климатическую систему и на обеспечение конкурентоспособности российской продукции.

Современное состояние информационных ресурсов, связанных с климатом

Необходимо отметить, что наблюдения за климатическими параметрами, изучение фундаментальных основ поведения климатической системы, её региональных особенностей, моделирование будущего климата ведутся уже давно во многих странах в рамках международных и национальных программ.

Глобальная рамочная основа для климатического обслуживания (ГРОКО) была учреждена Всемирной метеорологической организацией в 2009 г. [13], чтобы дать возможность международному сообществу лучше управлять рисками и возможностями, возникающими в связи с изменением и изменчивостью климата. ГРОКО поддерживает создание национальных координационных механизмов, чтобы обеспечить практическую реализацию Рамочной основы, а также предоставление и распространение

специализированного обслуживания под руководством Национальных метеорологических и гидрологических служб, но и не только их. Так, например, в конце 2015 года в Швейцарии создан Швейцарский национальный центр климатического обслуживания (NCCS), а в ФРГ – Климатическая служба Германии (DKD) [14].

В соответствии с планом по реализации Климатической доктрины с 2013 года действует созданный на базе ГГО им. А. И. Воейкова ведомственный Климатический центр Росгидромета [15] с целью:

- подготовки информационной продукции по систематизации знаний о текущих и ожидаемых изменениях климата и их последствиях;
- совершенствования климатического обслуживания в системе Росгидромета;
- содействия созданию в Российской Федерации национального сегмента Глобальной рамочной основы климатического обслуживания Всемирной метеорологической организации, установления диалога между разработчиками/поставщиками климатической продукции и пользователями климатического обслуживания;
- повышения «климатической грамотности» в сообществе пользователей;
- выработки оптимальных методов представления климатической информации для эффективного усвоения сообществами пользователей;
- оценки прогресса в совершенствовании климатического обслуживания в системе Росгидромета и выработки предложений по его развитию.

В России в настоящее время функционируют созданные научными организациями Росгидромета информационные ресурсы и продукция [16] исследований изменения климата нашей страны, создаются базы климатических данных на основе Государственного фонда данных.

Группой экспертов при координации Почвенного института РАН в 2018 году впервые подготовлен национальный доклад «Глобальный климат и почвенные ресурсы России» [17].

Усилиями Института глобального климата и экологии Росгидромета и РАН создана и успешно функционирует российская система оценки антропогенных выбросов из источников и абсорбции поглотителями парниковых газов, не регулируемых Монреальским протоколом по веществам, разрушающим озоновый слой [18]. Уполномоченным национальным органом по системе оценки антропогенных выбросов из источников и абсорбции поглотителями парниковых газов был определён Росгидромет. Данная система ориентирована на подготовку международной отчётности, она оперирует в основном агрегированными данными, которые готовятся в соответствии с международными методологиями МГЭИК и РКИК ООН.

В 2015 году утверждена Правительством России Концепция формирования системы мониторинга, отчётности и проверки объёма выбросов парниковых газов в Российской Федерации [19], разработанная Минприроды России, в которой определены цели, задачи, принципы и этапы введения отчётности в организациях. Кроме того, в соответствии с Концепцией, предполагается организовать мониторинг антропогенных выбросов парниковых газов из источников в субъектах Российской Федерации и подготовку региональных кадастров, что позволит оценить их вклад в смягчение последствий климатических изменений и консолидировать усилия государственных органов власти по обеспечению сокращения выбросов парниковых газов в Российской Федерации в соответствии с установленными целями, в том числе путём реализации соответствующих региональных программ и проектов.

В этой связи в системе оценки предполагается предусмотреть сбор сведений (отчётов) об объёмах антропогенных выбросов парниковых газов организациями и о реализации ими мероприятий (проектов) по сокращению выбросов парниковых газов, в том числе с использованием механизмов государственной поддержки.

В ряде регионов сформированы и используются специализированные базы климатических данных для субъектов Российской Федерации, например:

- специализированная база данных для оценки агроклиматического потенциала муниципальных районов Омской области [20];

- специализированная база данных климатических характеристик Ханты-Мансийского автономного округа [21].

В последние годы показатели по параметрам выбросов парниковых газов находят отражение в официальной статистической отчетности [22].

Вместе с тем следует заметить, что ГРОКО задумана как комплексная система исследований, информации и действий, состоящая из следующих компонентов: метеорологические наблюдения и мониторинг климата; научные исследования (моделирование, предсказание и воздействия); информационная система климатологического обслуживания; платформа взаимодействия с пользователями; наращивание потенциала климатологического обслуживания. Поэтому будущий российский сегмент ГРОКО, соответственно, комплексировует только два раздела климатической деятельности – проведение научных, технологических, технических, социально-экономических и других исследований, систематических наблюдений и создание банков данных, связанных с климатической системой и разработкой мер по содействию адекватной адаптации к изменению климата.

Обоснование необходимости формирования комплексного информационного обеспечения климатической деятельности

В соответствии со Стратегией развития информационного общества в Российской Федерации на 2017–2030 годы [23] одним из перечня национальных интересов России в информационном мире является повышение эффективности государственного управления, развитие экономики и социальной сферы. Стратегия определяет создание и применение российских информационных и коммуникационных технологий, обеспечение их конкурентоспособности на международном уровне в качестве одного из приоритетов России.

Информация об изменении климата, данные о последствиях влияния изменения климата на социальные, экономические и экологические аспекты жизнедеятельности, данные о деятельности, направленной на снижение антропогенного воздействия на

климат, отраслевые данные для разработки адаптационных мер и оценки их результативности, данные субъектов Российской Федерации о климатических особенностях деятельности в регионах используются в ходе исследований, формировании отраслевых нормативов, работе по предотвращению негативных последствий климатических воздействий, по освоению природных ресурсов, в строительстве, сельском хозяйстве, на транспорте и в промышленном производстве, здравоохранении и т.п., подготовке национальной и международной отчётности.

Проблемы информационного обеспечения климатической деятельности связаны с тем, что эта информация рассредоточена в различных информационных ресурсах федеральных органов исполнительной власти и Российской академии наук. При этом ни одна из ведомственных информационных систем не обладает возможностями, позволяющими эффективно выполнять свои задачи без привлечения дополнительной информации от смежных систем.

Ведомственные системы функционируют, как правило, без необходимого взаимодействия, и следствием этого является использование информации, ограниченной по ведомственному признаку.

В качестве примера можно привести:

- разработанное научными организациями Росгидромета информационные ресурсы исследований изменения климата нашей страны формирование баз климатических данных в составе Государственного фонда данных;

- информационный ресурс «изменение климата» Росстата;
- наборы данных Минэнерго России;
- специализированную базу климатических данных для оценки агроклиматического потенциала муниципальных районов Омской области;

- специализированную базу данных климатических характеристик Ханты-Мансийского автономного округа;

- информационные ресурсы министерств и ведомств, обеспечивающие работу системы оценки антропогенных выбросов из источников и абсорбции поглотителями парниковых газов, не регулируемых Монреальским протоколом по веществам, разрушающим

озоновый слой, которая используется для подготовки международной отчётности, во исполнение Россией своих обязательств;

- создание нормативно-правовой базы системы мониторинга, отчётности и проверки объёма выбросов парниковых газов в Российской Федерации, концепция которой определяет цели, задачи, принципы и этапы введения отчётности в организациях, утверждена Правительством России в 2015 году.

Однако, например, в Федеральном реестре государственных информационных систем [24] и в Федеральной государственной информационной системе координации информатизации [25] (в которую включён Федеральный реестр государственных информационных систем) отсутствуют государственные информационные системы по климатическому обеспечению.

Вместе с тем совершенствование информационной основы для обеспечения системы управления развитием страны в условиях изменяющегося климата является одним из важных факторов обоснованности принимаемых решений и эффективности функционирования государственной системы управления.

Очевидно, что сценарии долгосрочного развития России, включая стратегии низкоуглеродного развития, адаптации экономики к воздействию климатических изменений должны учитывать вопросы информационного обеспечения, которые во многом будут определять конкурентоспособность России в этой сфере.

Таким образом, существует потребность и объективные предпосылки создания Единой системы информационного обеспечения климатической деятельности (ЕСИОКД).

**Опыт создания международной и национальной систем
информационного обеспечения вида деятельности
(по данным ВНИИГМИ-МЦД Росгидромета),
(примеры)**

Наиболее известной из международных систем, связанных с климатической информацией, является Информационная система Всемирной метеорологической организации (ИС ВМО), которая охватывает все сопряжённые дисциплинарные области ВМО. Распределённые сегменты ИС ВМО формируются во всех

странах-членах ВМО. В настоящее время идёт внедрение ИС ВМО параллельно двумя частями: одна – через эволюцию Глобальной системы телесвязи (ГСТ), направленную на дальнейшее улучшение предоставления данных, продукции и обслуживания; другая часть обеспечивает расширение обслуживания ВМО благодаря использованию технических средств обнаружения данных, доступа к ним и их выборки, а также гибкой системы своевременного предоставления данных [26].

В России также имеется опыт разработки Единой информационной системы об обстановке в Мировом океане (ЕСИМО) [27], объединяющей распределённые информационные ресурсы, которая предназначена для информационного обеспечения морской деятельности России. ЕСИМО официально зарегистрирована как государственная межведомственная информационная система. Информационные ресурсы ЕСИМО формируются из оперативных данных, а также прогностической, обобщённой и исторической информации об обстановке в Мировом океане, содержащейся в информационных системах федеральных органов исполнительной власти, и направленной на решение следующих задач: формирование и ведение общего информационного пространства в области морской деятельности; предоставление комплексной информации об обстановке в Мировом океане органам государственной власти Российской Федерации, осуществляющим морскую деятельность юридическим и физическим лицам; информационное взаимодействие с международными системами.

В настоящее время операторами единой системы являются 19 центров и 15 поставщиков информации в ЕСИМО, представляющие МЧС России, МИД России, Минобороны России, Миннаучки России, Минприроды России, Росгидромет, Минпромторг России, Минтранс России, Росрыболовство, Минэнерго России, Госкорпорацию «Роскосмос». На сегмент Росгидромета в ЕСИМО (6 центров и 13 поставщиков информации) приходится около 70 % информационных ресурсов и сервисов системы.

Управление деятельностью операторов ЕСИМО осуществляется федеральными органами исполнительной власти Российской Федерации.

Пользователями ЕСИМО являются федеральные органы государственной власти Российской Федерации, органы государственной власти субъектов Российской Федерации, а также юридические и физические лица, осуществляющие морскую деятельность.

ЕСИМО успешно функционирует с 2013 года, находясь в процессе эволюции в соответствии с растущими потребностями пользователей.

По состоянию на январь 2018 года СРБД единой системы интегрировала более 200 баз данных по более 450 параметрам обстановки в Мировом океане (всего более 3 300 единиц ресурсов), предоставляемых более чем 20 ведомственными информационными системами.

На основе технологии и средств ЕСИМО учёными и специалистами Всероссийского научно-исследовательского института гидрометеорологической информации – Мирового центра данных (ВНИИГМИ-МЦД) разработан и введён в действие Портал океанографических данных (ПОД) системы Международного обмена океанографическими данными (МООД) Межправительственной океанографической комиссии (МОК) ЮНЕСКО.

Успешный опыт создания и использования интегрированной системы для информационного обеспечения морской деятельности России вполне применим для использования при разработке и проектировании единой системы информационного обеспечения климатической деятельности.

Предлагаемые цели, задачи, информационные ресурсы ЕСИОКД

Целью ЕСИОКД целесообразно определить формирование и эффективное использование государственных информационных ресурсов по направлениям климатической деятельности для содействия устойчивого к изменению климата социального, экономического и экологического развития России.

Задачи ЕСИОКД, по аналогии с ЕСИМО, можно представить как:

- создание и ведение общего информационного пространства в области климатической деятельности;
- интеграция информации о состоянии климата России, его изменении и климатической деятельности, содержащейся в системах федеральных органов исполнительной власти;
- предоставление комплексной информации о климатической деятельности органам государственной власти Российской Федерации, органам государственной власти субъектов Российской Федерации, осуществляющим климатическую деятельность юридическим и физическим лицам;
- информационное взаимодействие с международными системами.

Информационные ресурсы ЕСИОКД, структурированные по разделам, могут включать:

1. Мониторинг элементов климатической системы:

- данные о природно-климатических условиях, результатах мониторинга текущего и будущего состояния климатической системы и научных исследований;
- базы данных по параметрам Глобальной системы наблюдений за климатом;
- специализированные базы климатических данных;
- данные о химическом составе атмосферы.

2. Мониторинг антропогенных выбросов из источников и абсорбция поглотителями парниковых газов:

- данные о процессах и видах деятельности, направленных на снижение антропогенного воздействия на климат;
- официальная статистическая информация, 12 видов;
- данные федеральных органов исполнительной власти, 35 видов;
- данные субъектов Российской Федерации, характеризующие аспекты климатической деятельности в регионе.

3. Мониторинг адаптации к климатическим изменениям социально-экономических и природных систем:

- данные об изменении климата и их воздействиях;
- данные о последствиях воздействия изменения климата на социальные, экономические и экологические аспекты

жизнедеятельности (здоровье населения, процессы опустынивания и эрозии земель, состояние природных экосистем, экономические потери в отраслях экономики);

- наборы отраслевых данных и статистической информации для разработки адаптационных мер и оценки их результативности.

4. Мониторинг создания, использования, распространения технологий, снижающих выбросы и увеличивающих поглощение ПГ; программ образования, подготовки кадров, просвещения населения по вопросам климата, участия России в соответствующих международных программах:

- данные о наилучших доступных технологиях по снижению выбросов и увеличению потенциала поглотителей ПГ;
- информация и материалы по образовательной деятельности, подготовке и переподготовке кадров, просвещения населения.

5. Мониторинг информационной продукции климатической деятельности:

- ежегодные доклады о состоянии климата, бюллетени мониторинга климата России, земного шара, оценочные доклады об изменении климата России;
- национальные сообщения, национальные доклады, кадастры выбросов ПГ;
- информационные продукты для просвещения и информирования населения федеральных и региональных органов власти, корпораций и компаний, научных организаций и журналов, СМИ, общественных организаций.

Исходя из перечня перечисленных выше информационных ресурсов, для развития **комплексной информационной основы климатической деятельности**, кроме достоверной информации о состоянии климатической системы, происходящих и будущих изменениях климата, о воздействии и последствиях этих изменений, необходимо интегрировать надёжные отраслевые данные для разработки и реализации оперативных и долгосрочных мер по адаптации к изменениям климата, смягчению антропогенного воздействия на климат, подготовке международной и национальной отчётности.

ЕСИОКД будет обеспечивать интеграцию и рациональное использование информационных ресурсов и систем органов исполнительной власти, регионов, НИУ, вузов, связанных: с изучением климатических изменений и их последствий, учёта возможных потерь и выгод от изменения климата; планированием и реализацией мер по обеспечению защищённости населения и экономики от неблагоприятных последствий изменений климата, разработкой и реализацией оперативных и долгосрочных мер по смягчению антропогенного воздействия на климат.

ЕСИОКД может быть построена на основе распределённой сети взаимосвязанных ведомственных центров, обеспечивающих создание и предоставление актуализированной климатической информации и региональных климатических прогнозов, сопровождение реализации национальных обязательств в области смягчения антропогенной нагрузки на климат, адаптации к изменениям климата, мониторинга выбросов парниковых газов, удовлетворение отраслевых потребностей в применении специализированной климатической информации и продукции.

Межведомственный координационный центр информационного обеспечения климатической деятельности

В качестве управляющего ядра ЕСИОКД предлагается создать межведомственный координационный центр информационного обеспечения климатической деятельности для осуществления перехода от сегодняшнего состояния (разрозненные ведомственные системы) к интегрированной системе комплексного информационного обеспечения климатической деятельности.

Центр должен быть разноуровневой, территориально-распределённой и интегрированной структурой и создаваться на основе базового принципа – рассредоточенности на уровне физических ресурсов и централизации на логическом уровне. Он должен включать в себя комплекс программно-технических средств Единой информационной системы обеспечения климатической деятельности (ЕСИОКД), в том числе распределённые

отраслевые и территориальные базы данных о климатической деятельности, комплексы информационных подсистем.

Примерными задачами центра могут стать:

- создание общей нормативно-методической, организационной, технологической основы функционирования информационных ресурсов по направлениям климатической деятельности в Российской Федерации;
- координация работы государственной и ведомственных систем наблюдений за изменением климата и влиянием его изменений на жизнедеятельность и природные экосистемы;
- формирование и ведение государственных информационных ресурсов о результатах научных исследований климата, его изменении и воздействиях; о программах образования, подготовки кадров и просвещения населения страны по вопросам изменения климата;
- интеграция функционирования ведомственных информационных систем и центров данных и обеспечение доступа ко всей совокупности государственных информационных ресурсов о климатической деятельности;
- гарантированное хранение информации, обмен с аналогичными системами в рамках международного климатического сотрудничества, а также участие в международных программах;
- обеспечение безопасности и устойчивости функционирования технологий комплексного информационного обеспечения климатической деятельности.

Необходимо подчеркнуть важность правильного выбора ведомства – координатора разработки и эксплуатации ЕСИОКД. Определяющими критериями, на наш взгляд, в этом выборе в том числе должны быть наибольшая концентрация информационных ресурсов, связанных с климатом, а также опытом обобщения и подготовки климатически связанных данных для практического применения в экономическом развитии. Конечно, создание ЕСИОКД будет возможно только при государственной поддержке и принятии соответствующего решения на уровне Правительства Российской Федерации.

Заключение

В статье обоснованы понятие «климатическая деятельность» и необходимость интеграции информационных ресурсов, связанных с наблюдениями, исследованиями, использованием климатических данных для решения задач социально-экономического развития. С развитием информационного общества в России, неизбежной тенденцией цифровизации сфер социально-экономического и экологического, устойчивого к изменению климата развития страны, потребность в создании эффективных государственных систем информационного обеспечения будет расти. Сформулирована идея создания комплексной информационной основы на базе единой системы информационного обеспечения климатической деятельности. Представлена совокупность национальных интересов и международных обязательств нашей страны, которые объективно стимулируют профессиональное сообщество на поиск эффективных решений в удовлетворении растущих потребностей пользователей и растущего разнообразия информационных ресурсов, связанных с направлениями климатической деятельности.

Не вызывает сомнения, что в случае поддержки идеи, представленной в статье, со стороны органов государственной власти, учёных и специалистов, связанных с климатической деятельностью, потребуется большая работа по уточнению концептуальных положений, разработке программных предложений, проведению научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ. Её реализация будет возможна только на основе государственных решений и выделения необходимых инвестиций в рамках инновационного развития при осуществлении профильных национальных проектов и государственных программ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/ru/about/development-agenda/>.
2. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/ru/climate-change/>.
3. http://www.un.org/ru/documents/decl_conv/conventions/climate_framework_conv.shtml.
4. http://www.un.org/ru/documents/decl_conv/conventions/kyoto.shtml.
5. <http://unfccc.int/resource/docs/2015/cop21/rus/109r.pdf>.

6. *Об участии* Российской Федерации в реализации Рамочной конвенции ООН об изменении климата (1994–2014 гг.), Москва, 2015 г., 84 с., ил. Скачать публикацию можно по адресу <http://www.priroda.ru/lib/detail.php?ID=11763>.

7. Zillman J. W. A History of Climate Activities, Bulletin WMO: Vol 58 (3) – 2009, <https://public.wmo.int/en/bulletin/history-climate-activities>.

8. *Деятельность. Сознание. Личность.* М., 1975.

9. <http://www.kremlin.ru/events/president/news/6365>.

10. *Оценка макроэкономических последствий изменения климата на территории России на период до 2030 года и дальнейшую перспективу.* М., 2011, <http://cc.voeikovmgo.ru/images/dokumenty/2015/Mokryk.pdf>.

11. <http://static.government.ru/media/files/aaooFKSheDLiM99HEcyrygytfmG-zrnAX.pdf>.

12. *Башмаков И. А.* Низкоуглеродная трансформация экономики в России и мире. М., 2016, <https://www.rsbor.ru/files/other/20160715-dialog-bashmakov.pdf>.

13. https://www.wmo.int/gfcs/sites/default/files/Fact_Sheets/General/GFCSflyer_ru.pdf

14. <https://public.wmo.int/ru/resources/bulletin/осуществление-глобальной-демонстрация-достижений-в-швейцарии-и-германии>.

15. <http://cc.voeikovmgo.ru/ru/>.

16. <http://www.meteorf.ru/product/info/>.

17. <http://www.esoil.ru/publications/books/news26032018.html>.

18. <http://legalacts.ru/doc/rasporjazhenie-pravitelstva-rf-ot-01032006-n-278-r/>.

19. <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/70890594/>.

20. *Инвестиционные механизмы возрождения традиционных отраслей сельскохозяйственного производства (на примере Омской области): коллективная монография / В.В. Алещенко, О.А. Алещенко, В.В. Карпов, А.А. Кораблёва; под общ. ред. В.В. Алещенко, В.В. Карпова. Омск: ООО ИЦ «Омский научный вестник», 2013. 162 с.*

21. *Булыгина О.Н., Коришкова Н.Н., Разуваев В.Н.* Специализированные базы данных о климатических ресурсах для различных отраслей экономики // Сб. докл. конф. «Климатические ресурсы и методы их представления для прикладных целей». СПб., 2005. С. 146–150.

22. http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_main/rosstat/ru/statistics/environment/#.

23. <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/71570570/>.

24. <http://data.gov.ru/opendata/7708660670-reestr-fgis>.

25. <https://portal.eskigov.ru/>.

26. *Наставление по Информационной системе ВМО (ВМО-№ 1060), Chair, Publications Board World Meteorological Organization (WMO) 7 bis, avenue de la Paix Тел.: +41 (0) 22 730 84 03 Р.О. Box 2300 Факс: +41 (0) 22 730 80 40 CH-1211 Geneva 2, Switzerland.*

27. <http://esimo.ru/portal/>.

УДК 551.524.3 (470 + 571)

КЛИМАТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ОТТЕПЕЛЕЙ НА ТЕРРИТОРИИ РОССИИ

Н. Н. Коришун¹, С. Г. Давлетишин²

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

¹ nnk@meteo.ru, ² sdavletshin@meteo.ru

Введение

Оттепели относятся к неблагоприятным явлениям погоды, которые оказывают влияние на такие важные отрасли экономики, как сельское хозяйство, строительство, транспорт. В связи с этим оттепели привлекали внимание многих исследователей [1, 2, 3]. Основная роль в изучении оттепелей принадлежит учёным Главной геофизической обсерватории им. Воейкова (ГГО), в частности К. Ш. Хайруллину, который наиболее полно проанализировал режим оттепелей на территории СССР в целом за холодный период [4]. Поскольку в отечественной и зарубежной литературе не было чёткой трактовки понятия «оттепель», автор считал оттепелью повышение максимальной температуры воздуха до 0 °С и выше внутри устойчивого морозного периода. За начало этого периода принимался день, с которого максимум оставался отрицательным не менее 5 дней, а за конец – день перехода средней суточной температуры воздуха через 0 °С. В данной работе большой набор характеристик оттепелей был исследован по ограниченному количеству станций (около 20). Период, за который анализировался режим оттепелей, оканчивался серединой 60-х годов прошлого столетия. В более позднем исследовании учёных ГГО [5] по ежедневным данным 223 метеорологических станций получены такие характеристики оттепелей, как число дней с оттепелью, число оттепельных периодов, показатель устойчивости морозного периода, проводится анализ климатологии данных характеристик и тенденций их изменения за период 1950–2006 гг. В работе использовалось определение оттепели, данное К. Ш. Хайруллиным,

при этом отмечается, что наибольшую трудность представляет определение границ устойчиво морозного периода (УМП), внутри которого и определяются оттепели. В связи с этим большое внимание авторы уделили исследованию параметров устойчиво морозного периода (даты начала и окончания УМП, продолжительность УМП).

Временные изменения числа дней с оттепелью на территории России рассматривались в [6], однако в данной работе использовался другой способ определения границ устойчивого морозного периода. Этот период определялся между датами устойчивого перехода через 0°C средней суточной температуры воздуха. За дату устойчивого перехода температуры воздуха через 0°C осенью принимался первый день периода, сумма отрицательных отклонений которого превышает сумму положительных отклонений любого из последующих периодов с положительными отклонениями. За конец принимается день перехода средней суточной температуры воздуха через 0°C весной. Для оценки временных изменений числа дней с оттепелью использовались коэффициенты линейного тренда. Другие характеристики оттепелей и их климатология в [6] не рассматривались.

Целью данного исследования является анализ изменения режима оттепелей на фоне значительных изменений климата в последние десятилетия с использованием гораздо большего числа станций, чтобы выявить региональные особенности в режиме оттепелей на территории России. Поскольку выявлено, что в последние годы направленность изменений минимальной и максимальной температуры воздуха в отдельных регионах России не соответствует глобальной тенденции [6], можно ожидать наличие региональных особенностей и в режиме оттепелей.

Данные

В последние годы во ВНИИГМИ-МЦД подготовлены специализированные массивы для климатических исследований высокого качества и различного временного разрешения. Массивы регулярно пополняются, что позволяет проводить исследования по актуальным данным. В данной работе использовались

ежедневные данные специализированного массива «Температура воздуха и количество осадков (ежедневные данные)», который доступен на сайте ВНИИГМИ-МЦД [7]. Массив содержит данные 600 метеорологических станций РФ и бывших республик СССР. Некоторые российские станции, входящие в данный массив, были закрыты или законсервированы, поэтому расчёты проводились по данным 488 метеорологических станций России, действующих в настоящее время. Климатические характеристики оттепелей рассчитывались за период от начала работы станции до 2018 года.

Методы и определения

В данном исследовании использовалось определение оттепели, предложенное К. Ш. Хайруллиным в [4]. По его же методике определялись границы устойчивого морозного периода (УМП). Продолжительность устойчивого морозного периода (ПУМП) определялась числом дней внутри этих границ. Числом с оттепелью (nd) считался день, когда максимальная температура внутри устойчиво морозного периода превышала или была равна $0\text{ }^{\circ}\text{C}$. В качестве показателя изменчивости или рассеивания этих характеристик относительно среднего значения использовалось среднее квадратическое отклонение.

Рассчитаны также такие характеристики, как число дней с переходом температуры воздуха через $0\text{ }^{\circ}\text{C}$, число оттепельных периодов (np) и показатель устойчивости морозного периода (K). Днём с переходом температуры через $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ считался день, для которого максимальная температура воздуха была положительной, а минимальная – отрицательной. Как и в [5], оттепельный период считался непрерывным, если максимальная температура воздуха опускалась ниже $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ только на один день. Показатель устойчивости морозного периода K рассчитывался по формуле, предложенной в [5]:

$$K = \frac{П_{УМП} - nd}{П_{УМП}} \cdot 100 \text{ \%}.$$

При отсутствии оттепелей, т.е. при абсолютно устойчивом морозном периоде, показатель $K = 100 \text{ \%}$.

Результаты представлены в виде карт, подготовленных с использованием ГИС в регулярной азимутальной стереографической проекции, в которой используется стандартный метод обратных взвешенных расстояний с коэффициентами, обратно пропорциональными квадрату расстояния.

Пространственное распределение климатических характеристик оттепелей на территории России

Рассмотрим пространственное распределение полученных характеристик оттепелей на территории России. Следует отметить, что в южных районах европейской территории при средней продолжительности морозного периода менее 80 дней и его изменчивости более 25 дней в некоторые годы устойчивый морозный период отсутствовал. Данные станций этих районов, а также горных районов Северного Кавказа не рассматривались, на картах они заштрихованы.

На рис. 1 представлены даты начала и конца устойчивого морозного периода.

Распределение дат начала и конца устойчивого морозного периода носит почти широтный характер, т.к. в основном определяется изменением температуры с широтой. Начало УМП на большей части страны приходится на октябрь–ноябрь. Более раннее наступление УМП наблюдается на Таймыре и в северных районах Якутии, позже морозный период устанавливается в южных районах европейской территории. В Ростовской и Астраханской областях, Республике Калмыкия, равнинных районах

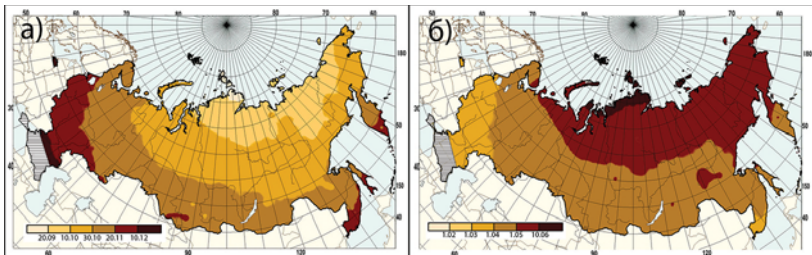


Рис. 1. Средние многолетние даты начала (а) и конца (б) устойчивого морозного периода

Ставропольского края морозный период начинается только в декабре. Следует отметить, что по сравнению с данными [5], зона более позднего наступления УМП на европейской территории значительно продвинулась к северу, что подтверждает данные [6] о том, что осень на ЕТР становится теплее. Весной существенных изменений в распределении дат окончания УМП за последнее десятилетие не выявлено. На большей части страны конец устойчивого морозного периода приходится на апрель–май.

Продолжительность устойчивого морозного периода на большей части азиатской территории составляет 150–220 дней и только на арктическом побережье Таймыра и арктических островах превышает 250 дней (рис. 2а). Особенности орографии вносят некоторые изменения в почти широтное распределение продолжительности УМП. Например, на Алданском нагорье, высота которого 1 000–2 000 м, продолжительность морозного периода больше, чем в более северных районах Якутии. Следует отметить, что на азиатской территории в последнее десятилетие увеличилась изменчивость УМП (рис. 2б). Сравнение с картами, представленными в [5], показывает, что значительно уменьшились зоны с изменчивостью 5–10 дней, превратившись в небольшие очаги в Якутии и на Дальневосточном юге. Область с изменчивостью 15–20 дней протянулась от северо-западных районов Западной Сибири далеко на юго-запад, до Алтая и Саян. На европейской территории продолжительность УМП изменяется от 200–230 дней на северо-востоке Ненецкого автономного округа и Республики Коми до 80–120 дней в южных областях,

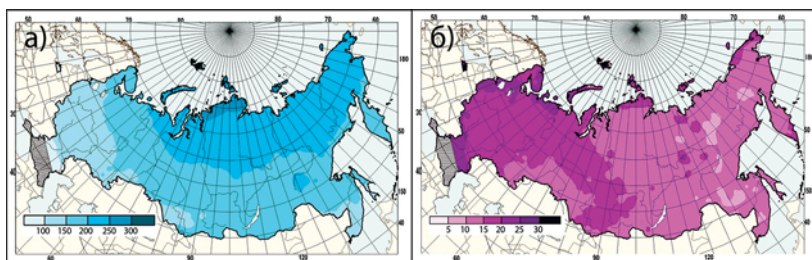


Рис. 2. Продолжительность (число дней) устойчивого морозного периода (а) и её изменчивость (б)

при этом изменчивость на большей части региона составляет 15–20 дней, на северо-западе и юге – 20–25 дней.

Как отмечалось в [5], значительное влияние на распределение числа дней имеют адвективные оттепели, поэтому оно теряет широтный характер. На всей европейской территории, за исключением Урала, наблюдаются более 30 дней с оттепелями (рис. 3а). В северо-западных областях, включая Калининградскую область, где умеренно континентальный климат из-за близости морей приобретает некоторые черты морского, число дней с оттепелью увеличивается до 40–45 дней при изменчивости 15–20 дней (рис. 3б). На азиатской территории максимальное число дней с оттепелью (более 30) отмечается на Камчатке, в зоне влияния тихоокеанских циклонов, и на юге Западной Сибири и Красноярского края. Последний максимум заметно сместился к югу, что свидетельствует о более частом и глубоком проникновении в Сибирь активных атлантических циклонов. С этим связано и увеличение изменчивости числа дней с оттепелями в Западной Сибири, Красноярском крае (за исключением территории муниципальных районов) и Прибайкалье. Можно предположить, что наибольший вклад в увеличение общего числа оттепелей вносит увеличение оттепелей в ранний весенний период, т.к. весной в Западной Сибири выявлены увеличение числа дней с экстремально высокими температурами воздуха и уменьшение числа дней с экстремально низкими [6].

Распределение числа дней с переходом температуры через 0 °С (рис. 4а) похоже на распределение числа дней с оттепелями, но имеет гораздо больше региональных особенностей, поскольку

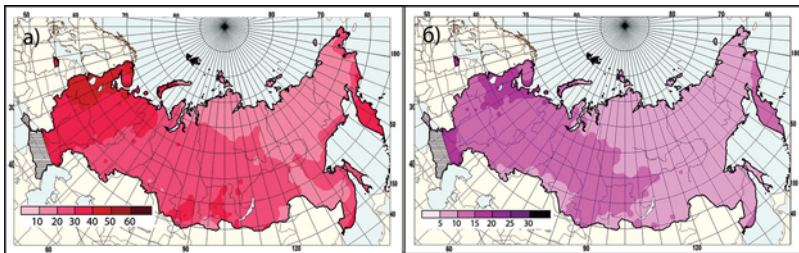


Рис. 3. Число дней с оттепелью (а) и его изменчивость (б)

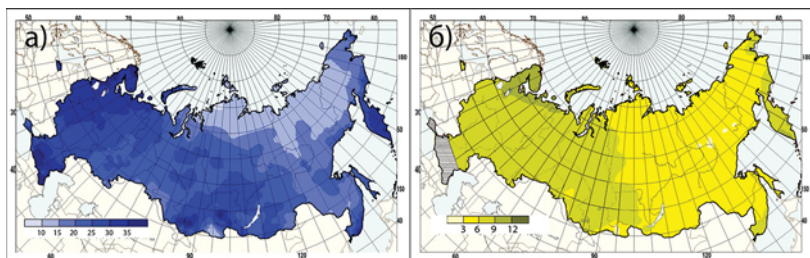


Рис. 4. Число дней с переходом температуры через 0 °С (а) и количество оттепельных периодов (б)

минимальная температура в значительной степени зависит от орографии. Особенно это сказывается в местах со сложным рельефом и в горных районах. На северо-западе европейской территории и на дальневосточном побережье увеличение числа дней с переходом через 0 °С обусловлено в основном циркуляционными факторами, т.к. эти районы находятся под влиянием активной циклонической деятельности, и для них характерна неустойчивая погода в холодный период. Среднее число оттепельных периодов (рис. 4б) колеблется от 2–3 в Якутии и Тувинской котловине до 9–10 в северо-западных областях европейской территории, Алтайском крае и на Камчатке. Максимальное число оттепельных периодов (12) отмечено на архипелаге Франца-Иосифа (Баренцбург).

Распределение показателя устойчивости морозного периода K противоположно распределению числа дней с оттепелями (рис. 5). Область максимальных значений K (более 90 %) охватывает северные районы азиатской территории, опускаясь в Якутии до среднего течения Лены, а в Магаданской области – до побережья залива Шелихова. Такие же значения K отмечаются на Алданском нагорье и в Тувинской котловине. На остальной части азиатской территории, за исключением Алтайского края и Приморья, показатель устойчивости морозного периода составляет 80–90 %. На европейской территории показатель K довольно быстро уменьшается к западу и к югу, что обусловлено как увеличением числа оттепелей, так и уменьшением самого устойчивого морозного периода. В Ростовской и Волгоградской

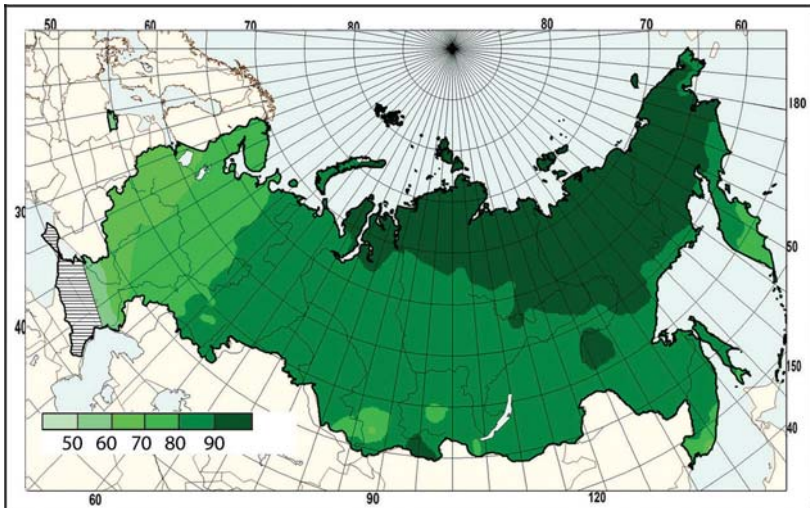


Рис. 5. Показатель устойчивости морозного периода на территории России

областях K изменяется от 70 % в северных районах до 55–60 % в южных. В Калининградской области K составляет 51–57 %, поскольку из-за довольно мягкого морского климата продолжительность устойчивого морозного периода здесь такая же, как в южных областях европейской территории.

Выводы

Подготовленные во ВНИИГМИ-МЦД массивы высокого качества по основным климатическим параметрам позволили по данным большого количества станций изучить климатологию основных характеристик оттепелей на территории России и выявить некоторые региональные особенности. Наблюдающиеся в последние десятилетия изменения климата проявились и в изменении режима оттепелей. На европейской территории граница более позднего наступления устойчивого морозного периода значительно продвинулась на север, что связано с повышением температуры в осенний период. Выявлено увеличение изменчивости продолжительности УМП в Западной Сибири, область с

изменчивостью 15–20 дней достигла Алтая и Саян, что обусловлено изменениями атмосферной циркуляции. С более частым и глубоким проникновением в Сибирь активных атлантических циклонов связано и увеличение числа дней с оттепелями в Западной Сибири, на юге Красноярского края и в Прибайкалье.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Лебедева О.Н.* Происхождение и характер оттепелей в Европейской части СССР // Труды ГГО. 1938. Вып. 16(4).
2. *Орлова В.В.* Устойчивые морозы в СССР // Труды ГГО. 1958. Вып. 85. С. 38–49.
3. *Неушкин А.И., Санина А.Т.* Погодно-климатические характеристики экономических районов европейской части России в последнее столетие // Сборник-справочник материалов за период 1881–1994 годы. Обнинск. 2002. 404 с.
4. *Хайруллин К.Ш.* Оттепели на территории СССР. Л.: Гидрометеиздат, 1969. 88 с.
5. *Мирвис В.М., Гусева И.П.* Изменения в режиме оттепелей на территории России // Труды ГГО. 2007. Вып. 556. С. 101–115.
6. *Коришнуова Н.Н., Булыгина О.Н., Разуваев В.Н., Давлетишин С.Г.* Оценки экстремальности температурного режима и режима осадков для территории РФ и её регионов // Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2018. Вып. 183. С. 20–30.
7. *Булыгина О.Н., Разуваев В.Н., Александрова Т.М.* «Описание массива данных суточной температуры воздуха и количества осадков на метеорологических станциях России и бывшего (ТТТР)» // Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2014620942, <http://meteo.ru/data/162-temperature-precipitation#описание-массива-данных>.

УДК 551.509.54:551.583

ХАРАКТЕРИСТИКИ ГОЛОЛЁДНО-ИЗМОРОЗЕВЫХ ЯВЛЕНИЙ НА ТЕРРИТОРИИ РОССИИ В УСЛОВИЯХ СОВРЕМЕННЫХ ИЗМЕНЕНИЙ КЛИМАТА

Н. М. Аржанова¹, Н. Н. Коршунова²

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

¹ arzhanova.n@inbox.ru, ² nnk@meteo.ru

Введение

Наблюдаемые изменения климата, происходящие в последние десятилетия, отражаются на различных параметрах климатической системы. По данным [1], в целом за год наблюдается потепление на территории России на 0,47 °C/10 лет, наибольшая скорость роста среднегодовой температуры воздуха на арктическом побережье страны (1,2 °C/10 лет на Таймыре). Площадь арктических льдов хотя и увеличилась после исторического минимума 2012 года, но всё ещё остаётся ниже нормы [1], поэтому в сухую полярную атмосферу поступает дополнительная влага. Происходящие изменения климата отражаются и на характеристиках гололёдно-изморозевых явлений. Данное исследование продолжает серию работ по изучению климатологии и тенденций изменения характеристик этих отложений, проводимых во ВНИИГМИ-МЦД. Большинство предыдущих исследований гололёдно-изморозевых отложений носили прикладной характер, посвящались изучению и учёту гололёдных нагрузок [2–8]. Несмотря на важность данной проблемы, из-за значительного негативного влияния гололёдно-изморозевых отложений на различные отрасли экономики, исследовательские работы в этом направлении в масштабах всей страны долгое время сдерживались отсутствием качественных массивов данных наблюдений. Активная работа, которая проводилась последние годы в Росгидромете по созданию доступных специализированных массивов данных высокого качества для климатических исследований, позволила проводить исследования

различных компонентов климатической системы в широких пространственно-временных масштабах. В рамках этих работ во ВНИИГМИ-МЦД был создан специализированный массив характеристик гололёдно-изморозевых явлений по данным сети метеорологических станций России [9]. Впервые данные этого массива использовались в [10] для исследования климатических характеристик гололёда. Однако гололёдно-изморозевые отложения, в зависимости от структуры, подразделяют ещё на зернистую и кристаллическую изморозь, отложение мокрого снега и замёрзшее отложение мокрого снега. Эти образования имеют разную плотность и образуются при разных температурно-влажностных условиях. Кристаллическая изморозь обычно образуется при температуре воздуха от -11 до -25 °С, зернистая изморозь – при температуре воздуха от -2 до -7 °С. Отложение мокрого снега оседает на проводах при температуре воздуха около нуля [11]. Целью данной работы является изучение климатологии и тенденций изменения основных характеристик гололёдно-изморозевых отложений, помимо гололёда, – кристаллической и зернистой изморози, отложения мокрого снега.

Данные и методы

В работе использованы данные 1 165 метеорологических станций Росгидромета на территории России за период с 1984 по 2018 год. Данные хранятся в Госфонде во ВНИИГМИ-МЦД. Предварительно, перед поступлением в Госфонд, данные автоматически проходят комплексный контроль качества [12]. В работе исследуются климатические характеристики (вес и диаметр) каждого вида гололёдно-изморозевых отложений и тенденции их изменений. Для характеристики тенденций этих изменений использованы коэффициенты линейного тренда, которые посчитаны по данным каждой метеорологической станции. Коэффициент линейного тренда был получен с помощью метода наименьших квадратов. Значимость оценивалась с помощью критерия Стьюдента. В работе рассмотрены только те значения коэффициентов линейного тренда, которые статистически значимы на 5 %-ном уровне значимости. Результаты представлены в виде

карт, подготовленных с использованием ГИС в регулярной азимутальной стереографической проекции, в которой используется стандартный метод обратных взвешенных расстояний с коэффициентами обратно пропорциональными квадрату расстояния.

Результаты

Климатические характеристики гололёдно-изморозевых отложений

Кристаллическая изморозь, в отличие от гололёда, наблюдается почти на всей территории России, кроме центральных районов Красноярского края и западных и центральных районов Якутии с октября по апрель (рис. 1). Гололёд наблюдается в основном в западной части страны. И частота появления кристаллической изморози намного выше, чем гололёда. На большей части территории России в конце осени, зимой и в начале весны наблюдается более 8 дней с кристаллической изморозью. Наибольшие значения абсолютного максимума диаметра отмечаются в западной части страны и на Чукотке от 20 до 40 мм

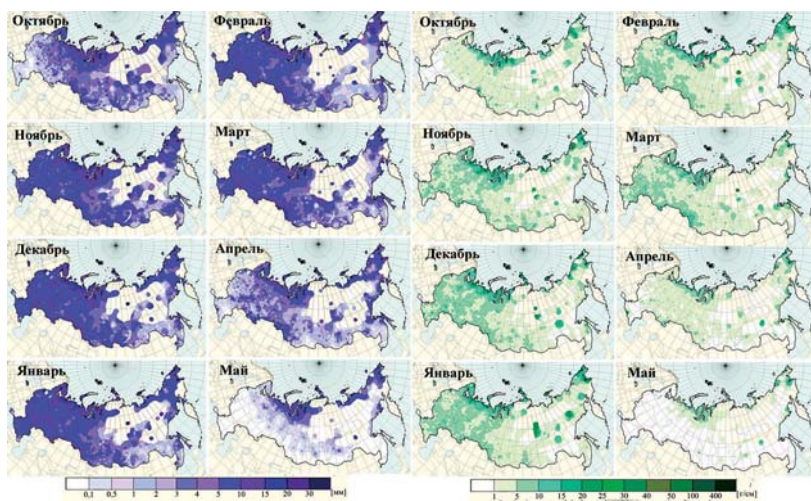


Рис. 1. Распределение средних многолетних значений максимального диаметра (мм) (слева) и веса (г/см) (справа) кристаллической изморози (1984–2018 гг.)

(в конце осени, зимой и весной), а на арктическом побережье Европейской территории России (ЕТР) абсолютный максимум диаметра превысил 50 мм. Отложение кристаллической изморози на арктическом побережье представляет серьёзную опасность, т.к. при диаметре более 50 мм даже при небольшой плотности вес отложения получается порядка 50–100 г/см.

Анализ пространственного распределения значений диаметра и веса кристаллической изморози показал, что во все сезоны (кроме лета) наибольшее среднемноголетнее значение максимального диаметра отмечается на арктическом побережье ЕТР (от 10 до 20 мм), наибольшее среднемноголетнее максимальное значение веса здесь варьируется от 15 до 30 г/см.

Зернистая изморозь, по сравнению с кристаллической изморозью и с гололёдом, встречается гораздо реже (рис. 2). Зернистая изморозь образуется в тех же регионах, что и гололёд. С октября по апрель отдельные случаи с зернистой изморозью отмечаются в западной части страны и на Чукотке, а осенью и весной – ещё на юге Сибири и Дальнего Востока (абсолютный максимум числа

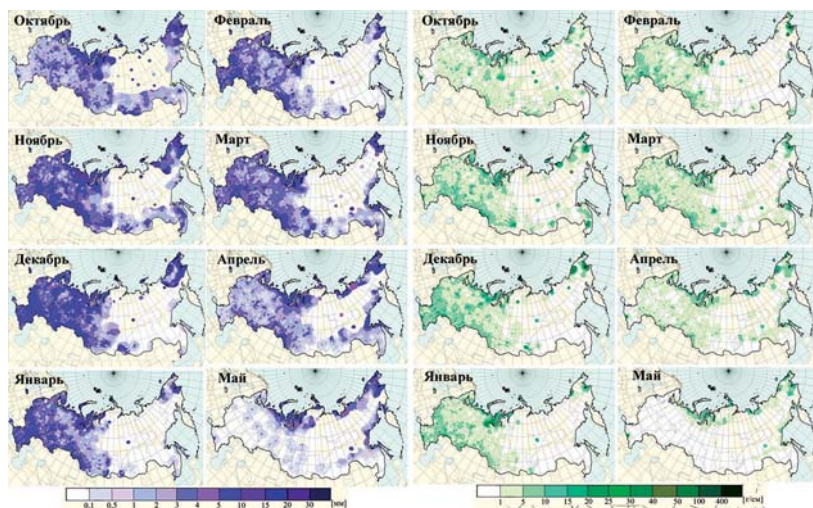


Рис. 2. Распределение средних многолетних значений максимального диаметра (мм) (слева) и веса (г/см) (справа) зернистой изморози (1984–2018 гг.)

случаев зернистой изморози по территории России изменяется от 2 до 6 дней, в отдельных районах – до 8 дней). Например, на станции Довольное Новосибирской области в марте 1993 года абсолютный максимум числа случаев с зернистой изморозью составил 12 дней. При этом среднемноголетнее максимальное значение диаметра не превышает 2 мм. Наибольшее среднемноголетнее значение максимального диаметра зернистой изморози отмечается в конце осени и зимой на арктическом побережье ЕТР, в северных и южных районах Уральского федерального округа (ФО), а также в Приволжском ФО, в Южном и на юго-западе Центрального ФО (от 5 до 10 мм). Наибольшее среднемноголетнее значение максимального веса здесь варьируется от 10 до 15, и только в отдельных районах достигает 20 г/см.

К гололёдно-изморозевым явлениям относятся и *отложения мокрого снега*. Отдельные случаи с отложением мокрого снега отмечаются осенью и весной в западной части страны, на юге Сибири и Дальнего Востока, а в зимний период – только на ЕТР и юге Уральского ФО (рис. 3). Осенью наибольшее

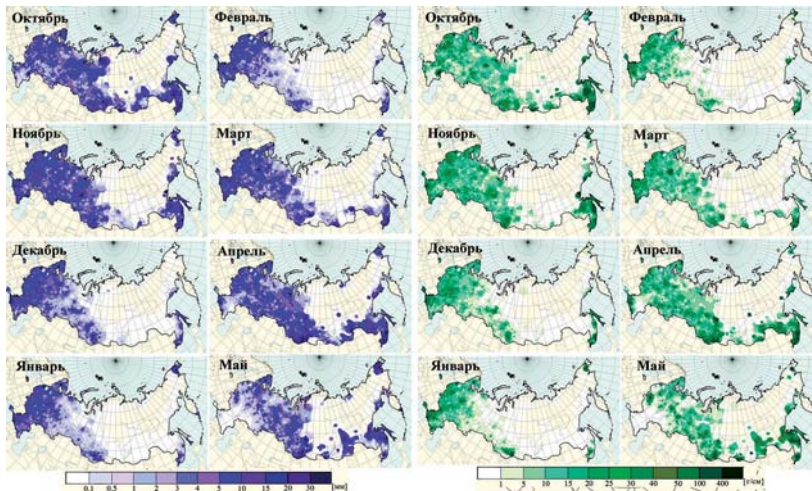


Рис. 3. Распределение средних многолетних значений максимального диаметра (мм) (слева) и веса (г/см) (справа) отложения мокрого снега (1984–2018 гг.)

среднемноголетнее значение максимального диаметра отложения мокрого снега отмечается на юге Хабаровского и в Приморском краях (от 10 до 20 мм), среднемноголетнее значение веса в это время здесь достигает 50–400 г/см. Абсолютное максимальное значение диаметра отложения мокрого снега составило 220 мм в ноябре 2004 года на станции Лабинск Краснодарского края, при этом значение веса равнялось 520 г/см.

Зимой и в начале весны в отдельных районах Южного ФО наибольшее среднемноголетнее значение максимального диаметра отложения мокрого снега варьируется от 10 до 20, местами до 30 мм, а веса – от 50 до 100 г/см. Абсолютное максимальное значение диаметра отложения равнялось 155 мм в январе 1987 года на станции Кордон Лаура Краснодарского края, при этом значение веса составило 792 г/см.

Тенденции изменения гололёдно-изморозевых характеристик

Рассмотрены тенденции изменений диаметра и веса каждого вида отложения, поскольку ущерб, наносимый гололёдно-изморозевыми явлениями, непосредственно зависит от веса и размера образования. Полученные тенденции изменения диаметра образования аналогичны полученным тенденциям изменения веса, поэтому рассмотрим более подробно тенденции изменения веса. Выявленные тенденции имеют региональные и временные особенности.

Пространственное распределение коэффициентов линейного тренда в рядах веса кристаллической изморози представлены на рис. 4.

В отличие от гололёдных образований, на ЕТР преобладают тенденции уменьшения веса кристаллической изморози во все сезоны (кроме лета). Как отмечено в [10], у гололёдных отложений отмечаются тенденции как уменьшения, так и увеличения веса. Тенденция уменьшения веса кристаллической изморози получена в середине осени на северо-востоке ЕТР, Урале и в северных районах Западной Сибири (на 10–30 %/10 лет).

В конце осени и зимой вес уменьшается почти на всей ЕТР (на 10–40 %/10 лет). Очаг с максимальной отрицательной

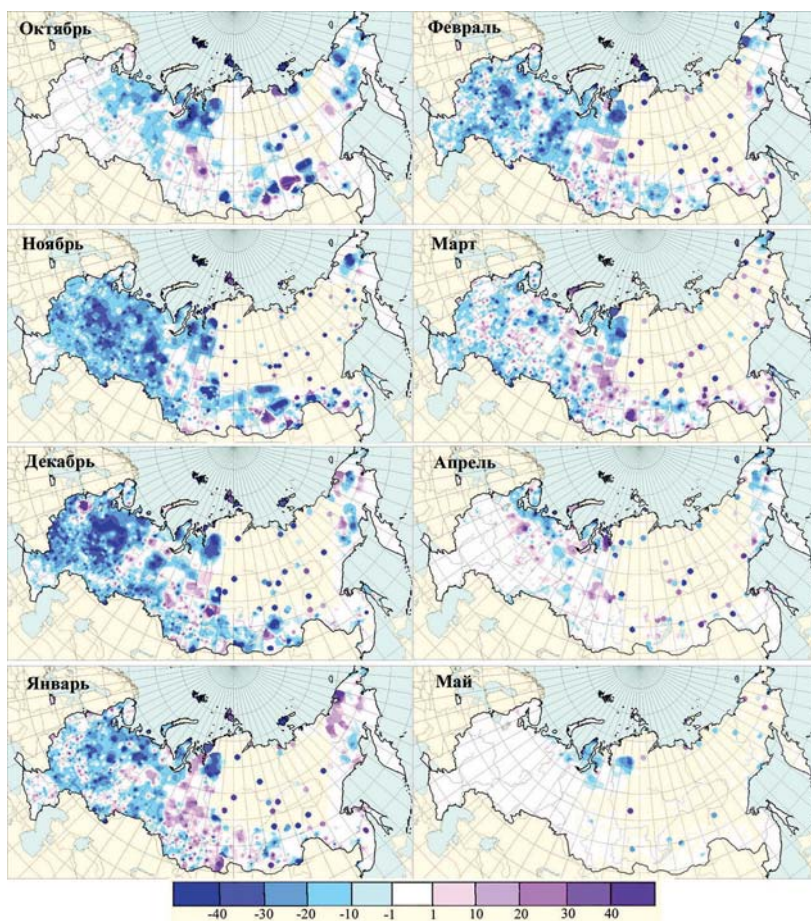


Рис. 4. Коэффициенты линейного тренда в рядах веса кристаллической изморози на метеорологических станциях (%/10 лет)

тенденцией отмечается в начале зимы в центральных районах Северо-Западного ФО, где вес кристаллической изморози уменьшается на 40 % и более за 10 лет от среднемноголетних значений. В начале весны также обнаружена тенденция уменьшения веса отложения в отдельных районах ЕТР (на 10–20 %/10 лет). Кроме того, получено увеличение веса кристаллической изморози, что немаловажно, так как большой вес отложения может оказать

отрицательное влияние на различные отрасли экономики. Тенденция увеличения веса кристаллической изморози отмечается зимой, а также в начале весны в Западной Сибири (кроме северных районов), к тому же выделяются отдельные небольшие очаги положительных значений коэффициентов линейного тренда на территории Дальневосточного ФО (на 10–20 %/10 лет). В начале и в середине весны тенденция увеличения веса отмечается также в отдельных районах ЕТР (на 1–20 %/10 лет).

Пространственное распределение коэффициентов линейного тренда в рядах веса зернистой изморози представлено на рис. 5.

Зернистая изморозь, по сравнению с кристаллической изморозью, на Азиатской территории России встречается гораздо реже вследствие температурно-влажностного режима, не подходящего для образования зернистой изморози. На ЕТР отмечаются как положительные, так и отрицательные значения коэффициентов линейного тренда в рядах веса зернистой изморози. Тенденция увеличения веса зернистой изморози обнаружена в конце зимы на юго-западе Центрального и юге Приволжского ФО, а также в середине и в конце зимы – на юге Астраханской области (на 10–20 %/10 лет). В середине весны вес увеличивается на севере Уральского ФО, а в конце осени – на востоке Алтайского края (на 1–20 %/10 лет).

Уменьшение веса зернистой изморози отмечается в конце осени и начале зимы в Приволжском ФО (на 1–20 %/10 лет), в начале зимы и начале весны – в Южном ФО, а также на юго-западе Центрального ФО (зимой на 20–40 %/10 лет, весной на 1–20 %/10 лет). В середине осени и в середине зимы вес уменьшается на северо-западе Приволжского ФО (на 1–30 %/10 лет).

На рис. 6 представлено пространственное распределение коэффициентов линейного тренда в рядах веса отложения мокрого снега.

На ЕТР (за исключением Южного ФО и северо-востока Северо-Западного ФО), в отличие от гололёдных и изморозевых отложений, осенью, зимой и весной отмечаются тенденции увеличения веса отложения мокрого снега. Причём это увеличение составило от 1 до 20 %/10 лет, а в феврале на западе

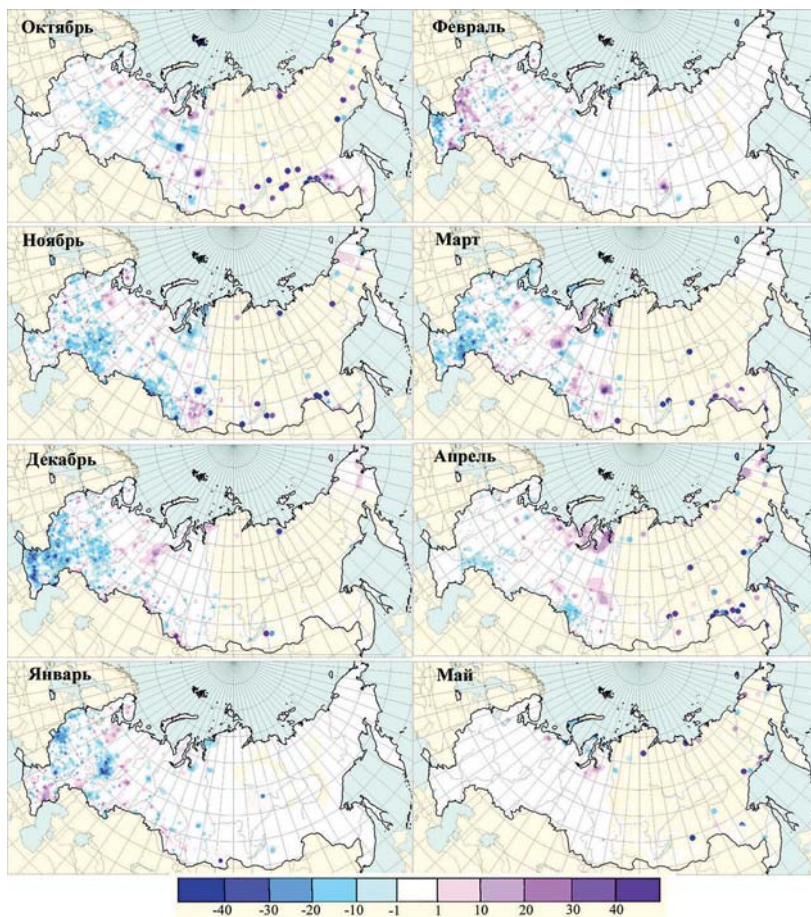


Рис. 5. Коэффициенты линейного тренда в рядах веса зернистой изморози на метеорологических станциях (%/10 лет)

Центрального ФО наблюдается небольшой очаг, где вес растёт даже на 20–30 %/10 лет от среднего многолетнего. В середине и в конце осени, в начале и в середине весны вес увеличивается на юге Западной Сибири (на 1–20 %/10 лет). На западе Южного ФО тенденция увеличения веса отмечается в середине и в конце зимы, а также в начале весны. В начале весны вес увеличивается также в северных районах Южного ФО. Поскольку вес отложения мокрого

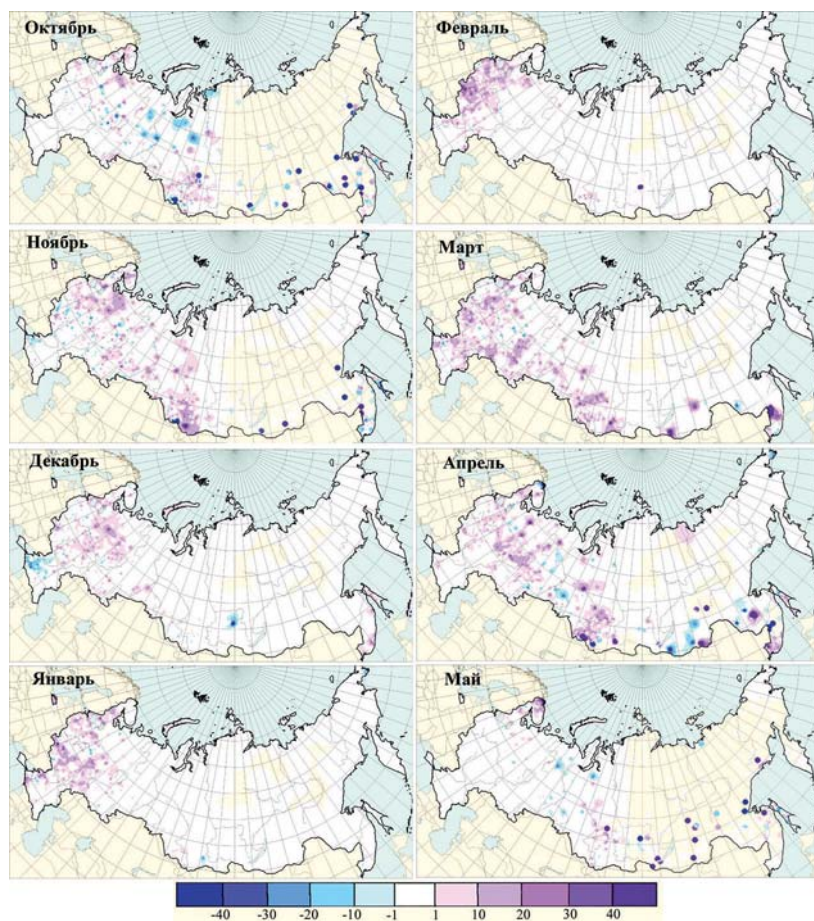


Рис. 6. Коэффициенты линейного тренда в рядах веса отложения мокрого снега на метеорологических станциях (%/10 лет)

снега в среднем многолетнем варьируется от 50 до 400 г/см, то его увеличение даже на 20 % может серьезно отразиться на многих отраслях экономики.

Кроме того, наблюдаются отдельные небольшие очаги уменьшения веса отложения мокрого снега в середине осени в Уральском ФО, в начале зимы – на западе Южного ФО (на 1–30 %/10 лет).

Заключение

На основе густой сети метеорологических станций, с учётом данных за последние годы, в работе рассмотрены пространственно-временные особенности распределения климатических характеристик каждого вида гололёдно-изморозевых образований. Обнаружено, что гололёдно-изморозевые явления отмечаются практически на всей территории России. Гололёдно-изморозевые отложения отмечаются на отдельных метеостанциях арктического побережья даже летом. Из всех видов гололёдно-изморозевых образований наибольшее распространение по площади у кристаллической изморози (наблюдается практически на всей территории России).

На ЕТР, в отличие от гололёдных образований, преобладают тенденции уменьшения веса кристаллической изморози во все сезоны, за исключением лета. Однако на ЕТР отмечаются как положительные, так и отрицательные тенденции в рядах веса гололёдных отложений и зернистой изморози. Кроме того, в западной части страны отмечаются тенденции увеличения веса отложения мокрого снега. Таким образом, ЕТР, особенно арктическое побережье, наиболее подвержена этим явлениям.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Доклад* об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2018 год. М.: Росгидромет, 2019. С. 10–15. http://www.meteorf.ru/upload/pdf_download/o-klimat-rf-2018.pdf.
2. *Заварина М.В., Глухов В.Г.* О приведении данных гололёдного станка к рабочим уровням линий электропередачи // Труды ГГО. 1974. Вып. 333. С. 68–71.
3. *Глухов В.Г.* К оценке гололёдных нагрузок на высотные сооружения по данным аэрологических наблюдений // Труды ГГО, 1971. Вып. 283. С. 3–11.
4. *Заварина М.В.* К расчёту гололёдных нагрузок // Труды ГГО. 1970. Вып. 265. С. 21–29.
5. *Захаров А.Г.* Распределение гололёдных нагрузок на территории СССР // Труды ГГО. 1984. Вып. 485. С. 87–93.
6. *Яковлев Л.В., Коган Ф.Л., Каверина Р.С.* Повышение надёжности ВЛ в условиях гололёдообразования и ветровых нагрузок // Энергетик. 2008. № 4. С. 14–16.

7. *Подрезов О.А.* Горная климатология и высотная климатическая зональность Кыргызстана. Бишкек: КРСУ, 2014. 170 с.
8. *Луговой В.А., Тимашова Л.В., Черешнюк С.В.* Учёт климатических нагрузок на воздушные линии электропередачи // Энергия единой сети. 2014. № 3. С. 30–40.
9. *Аржанова Н.М., Булыгина О.Н., Кориунова Н.Н.* Специализированный массив данных гололёдно-изморозевых явлений для мониторинга климата и климатических исследований // Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2018. Вып. 182. С. 101–110.
10. *Bulygina O.N., Arzhanova N.M., Groisman P.Ya.* Icing conditions over Northern Eurasia in changing climate // Environ. Res. Lett. 2015. 10 025003 doi:10.1088/1748-9326/10/2/025003.
11. *Наставление* гидрометеорологическим станциям и постам. Ч. 1. Вып. 3. Л.: Гидрометеоиздат, 1969. 307 с.
12. *Веселов В.М.* Архивы Госфонда на ПЭВМ и технология их организации // Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2002. Вып. 170. С. 16–30.

УДК 551.583

КЛИМАТИЧЕСКИЕ ИЗМЕНЕНИЯ УРОВЕННОГО РЕЖИМА И ТЕРМИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ РОССИЙСКОГО СЕКТОРА БАЛТИЙСКОГО МОРЯ ЗА ПОСЛЕДНИЕ ДЕСЯТИЛЕТИЯ

А. А. Воронцов

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

В последние десятилетия происходит глобальное потепление климата на Земле, что подтверждено мировым научным сообществом. При этом показатели этого потепления пространственно неоднородны. Наиболее значимы характеристики глобального потепления в Арктическом регионе [1]. Немного меньше величины положительного температурного тренда в дальневосточных морях [2]. Цель работы – рассмотреть особенности и состояние гидрометеорологических условий в Балтийском море, поскольку это море существенно отличается от арктических и дальневосточных морей, это внутриконтинентальный шельфовый бассейн Атлантического океана, который, естественно, имеет свои характерные особенности [3].

В современных границах Балтийское море имеет площадь 419 тыс. км², объём – 21,5 км³, средняя глубина моря – 51 м, а максимальная – 470 м (Ландсортская впадина) [3]. Балтика сильно вытянута с севера на юг (порядка 1 500 км), что обуславливает различные климатические условия на севере (российский сектор моря – Финский залив) и юге моря (российский сектор моря – район Калининграда), и проявляется в различии величин основных гидрометеорологических параметров: на севере средняя $T_a = 4,9$ °С, средняя $T_w = 5,5$ °С, а на юге средняя $T_a = 8,1$ °С, средняя $T_w = 9,1$ °С.

До 90-х годов прошлого столетия всё восточное побережье относилось к СССР и была возможность проводить исследования

по большей части моря, результаты комплексного исследования Балтийского моря, по данным до 1990 года, приведены в ряде работ, основная из которых – результаты работ по проекту «Моря СССР» большого коллектива авторов [3]. После выхода в свет этого качественного справочно-монографического издания прошло 25 лет, и в рамках выполнения государственной программы «Мировой океан» (Постановление Правительства РФ № 919 от 10 августа 1998 года) было подготовлено в 2006 году электронное режимно-справочное издание по гидрометеорологическим условиям Балтики – Электронный атлас «Климат морей России и ключевых районов Мирового океана. Балтийское море» (<http://www.esimo.ru/atlas/Balt/index.html>). В настоящее время, спустя ещё 12 лет, интересы к Балтике, району интенсивного судоходства, рыболовства, туризма девяти стран (России, Финляндии, Швеции, Дании, Германии, Польши, Литвы, Латвии, Эстонии) не снижаются, поэтому было принято решение об обновлении результатов расчётов для сопоставления с предыдущими расчётами, проверки устойчивости изменения термических условий и уровня моря и получения новых характеристик.

Цель данной работы – на основе накопленных данных гидрометеорологических наблюдений на прибрежных станциях и постах российского сектора Балтийского моря оценить тенденции и особенности ряда гидрометеорологических характеристик: уровня моря (L), температуры воздуха (T_a) и воды (T_w) за последние четыре десятилетия.

По гидродинамическому и гидрометеорологическому режимам Балтийское море делят [4] на несколько различных областей, в которых выделяется Финский залив и юго-восточная часть Балтики, по сути, это и есть российские сектора Балтийского моря в настоящее время. Именно эти районы и представляли интерес для исследований.

Для анализа изменений гидрометеорологических условий использовались проконтролированные данные наблюдений за температурой воздуха и воды и солёности на ряде (табл. 1) прибрежных станций (ГМС) в Балтийском море за период 1977–2018 гг., данные срочных наблюдений за уровнем моря

на двух станциях в Финском заливе (Выборг в 1889–2018 гг. и Кронштадт в 1806–2018 гг.) и данные наблюдений на метеостанциях Выборг в 1884–2017 гг. и Калининград в 1848–2017 гг.

Таблица 1

ГМС российского сектора Балтийского моря

Код ГМС	Наименование	Широта (с. ш.)	Долгота (в. д.)
86035	Выборг	60,7°	28,7°
86053	Кронштадт	60,0°	29,8°
86181	Балтийск	54,6°	19,9°
86186	Калининград	54,4°	20,3°

Данные этих станций имеют незначительные пропуски в наблюдениях, поэтому они как наиболее репрезентативные стали основными для выбранных районов российского сектора на Балтике. Основные статистические оценки были получены для временных рядов с периодом 1977–2018 гг. Долгопериодные изменения уровня моря анализировались по данным станций с наиболее длинными рядами наблюдений – 125 и 196 лет.

На вышеперечисленных станциях по данным срочных наблюдений были рассчитаны [5] среднемноголетние месячные средние и экстремальные характеристики температуры воздуха (табл. 2) и температуры морской воды (табл. 3).

Таблица 2

Средние и экстремальные температуры воздуха (°C) за многолетний период (средние: T_a ср, максимумы: T_a макс, минимумы: T_a мин)

Месяц	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
ГМС Выборг												
T_a ср	-7,2	-7,6	-3,3	2,8	10,4	15,4	18,3	16,2	10,6	5	-0,1	-4,3
T_a макс	6,4	8,2	9,6	21,3	25,2	31,0	30,7	28,7	21,7	15,9	10,0	8,0
T_a мин	-36,7	-34,2	-27,4	-14,9	-2,0	0,5	8,0	4,7	-2,2	-11,3	-19,6	-32,8
ГМС Кронштадт												
T_a ср	-6,1	-6,7	-2,2	4,0	11,0	15,3	18,5	17,0	12,1	6,3	1,0	-3,2
T_a макс	7,5	6,4	12,1	25,3	29,9	30,8	31,6	32,9	23,5	17,3	10,3	10,3
T_a мин	-28,5	-30,1	-21,5	-11,7	-1,0	3,6	8,8	7,3	2,4	-6,7	-14,1	-31,6
ГМС Балтийск												
T_a ср	-0,7	-1,0	2,0	6,7	12,2	15,5	17,9	18,2	14,2	9,7	4,5	1,0

Окончание табл. 2

Месяц	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$T_a \text{ макс}$	11,0	11,0	15,7	27,0	29,5	30,0	33,6	33,2	27,7	20,2	14,6	12,2
$T_a \text{ мин}$	-26,0	-23,0	-18,5	-3,5	0,5	5,8	10,2	10,6	3,5	-3,4	-13,6	-21,5
ГМС Калининград												
$T_a \text{ ср}$	-1,5	-1,6	1,7	7,0	12,7	15,8	17,9	17,5	12,9	8,5	3,4	-0,1
$T_a \text{ макс}$	12,7	15,6	20,5	27,9	30,3	31,3	36,2	35,6	28,5	22,8	17,6	12,9
$T_a \text{ мин}$	-27,1	-25,3	-20,6	-4,1	-0,8	3,3	7,0	7,3	-1,0	-7,4	-18,6	-22,1

Таблица 3

Средние и экстремальные температуры воды (°C) за многолетний период (средние: $T_w \text{ ср}$, максимумы: $T_w \text{ макс}$, минимумы: $T_w \text{ мин}$)

Месяц	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
ГМС Выборг												
$T_w \text{ ср}$	0,0	0,0	0,2	2,2	10,6	16,7	19,9	19	13,8	7,5	2,3	0,4
$T_w \text{ макс}$	1,3	1	2,8	11,3	21,9	24,9	27,4	25,3	20,2	13,3	7,5	5,0
$T_w \text{ мин}$	-0,2	0,0	-0,1	0,0	0,6	9,9	13,3	13,6	6,5	0,0	0,0	0,0
ГМС Кронштадт												
$T_w \text{ ср}$	0,0	-0,1	0,0	2,1	10,4	16,3	19,5	18,5	13,4	7,5	2,4	0,4
$T_w \text{ макс}$	1,4	0,3	2,4	12	19,6	25,2	27,5	27,3	20,3	17,7	7,8	5,2
$T_w \text{ мин}$	-0,4	-0,3	-0,3	-0,2	0,6	8,7	13,8	12	6,6	0,2	-0,3	-0,3
ГМС Балтийск												
$T_w \text{ ср}$	1,2	1	2,2	6,5	12	16,1	18,8	19,2	15,7	10,8	5,9	2,5
$T_w \text{ макс}$	6,2	5,5	8,3	17,9	22,2	24,2	26,7	25	22,6	18,4	12	8
$T_w \text{ мин}$	-26,0	-23,0	-18,5	-3,5	0,5	5,8	10,2	10,6	3,5	-3,4	-13,6	-21,5
ГМС Калининград												
$T_w \text{ ср}$	0,8	0,7	2,3	7,9	14,8	18,8	20,5	20,4	15,9	10,7	4,9	1,6
$T_w \text{ макс}$	5,5	5,5	9	19,5	21,8	24,2	26,7	25,8	22,8	17,8	11	6,8
$T_w \text{ мин}$	-0,5	-0,1	-0,1	0,2	5,2	12,3	15,5	10,4	9,7	3,6	0	-0,5

С середины прошлого столетия регион Балтийского моря испытывает постоянно возрастающий эффект изменения климата.

По данным [1], к концу нынешнего столетия ожидается общее увеличение средней температуры воздуха на 3–4 °C.

Анализ изменений приповерхностной температуры воздуха над Балтийским регионом свидетельствует о быстром и

значительном её росте с конца 70-х годов прошлого столетия по настоящее время.

Среднегодовая T_a за период 1977–2018 гг. на береговых станциях российских секторов Балтийского моря возросла на 3,4 °С, а средняя скорость её роста составила +0,08 °С/год.

За всё это время на станциях наблюдается положительный тренд в изменении T_a . Для примера на рис. 1 показан характерный вид изменения среднегодовых температур воздуха на ГМС Выборг и линейный тренд с коэффициентом линейного тренда (КЛТ), равным 0,057 °С/год.

Отметим, что и за весь период (с конца XIX века по настоящее время) инструментальных наблюдений за температурой воздуха прослеживается положительный тренд на выбранных метеостанциях:

- на станции Выборг КЛТ для T_a равен 0,012 °С/год;
- на станции Калининград КЛТ для T_a равен 0,009 °С/год.

Амплитуды колебаний экстремальных температур воздуха возрастают в направлении с юга на север, при этом на юге они равны 36,2 °С (Балтийск), а на севере 48,1 °С (Выборг). Тенденции изменения экстремальных температур воздуха на станциях Балтики, как максимумы, так и минимумы, «теплеют»

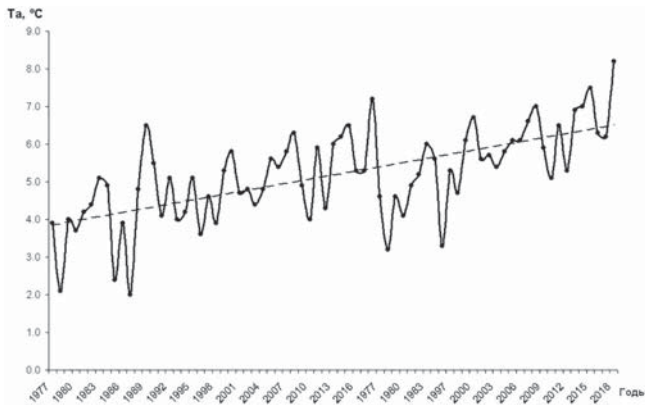


Рис. 1. T_a на ГМС Выборг (сплошная линия) и оценка тренда (пунктир)

со скоростями порядка $0,1-0,2$ °С/год, что проявляется в их повышении на $4-7$ °С за последние четыре десятилетия. Экстремальные температуры воздуха на выбранных станциях отражают «широтный» эффект: с севера на юг максимумы T_a изменяются от $31,0$ °С в Выборге до $36,2$ °С в Калининграде, а минимумы – от $-36,7$ °С в Выборге до $-27,1$ °С в Калининграде.

Среднегодовая T_w (табл. 3) за последние десятилетия на береговых станциях российских секторов Балтийского моря возросла на $2,2$ °С, а средняя скорость её роста составила $+0,05$ °С/год.

Одной из показательных характеристик временной изменчивости термического режима морских акваторий могут служить аномалии температур морской воды, которые получены для акваторий, близких к выбранным гидрометеорологическим станциям.

Изменения среднегодовых величин аномалий (как правило, это чередование тёплых и холодных периодов в рядах наблюдений) показывают, что продолжительность холодного или тёплого периода варьируется в интервале $2-7$ лет.

В итоге, на основании проведённых расчётов можно сказать, что на всех выбранных станциях отмечаются положительные тренды, которые отражают возрастание температуры воздуха и воды в прибрежной зоне Балтики за исследуемый период, что не противоречит общей тенденции последних десятилетий. Можно констатировать, что за последние 30 лет повышение температуры воздуха в Балтийском регионе доходило до 7 °С, а температуры воды в прибрежных районах – до $2,2$ °С.

Различия в гидрологических режимах различных частей Балтийского моря наблюдаются и в изменениях уровня моря.

В табл. 4 показаны средние и экстремальные характеристики уровня моря по данным ГМС (табл. 1).

Средние характеристики уровня моря по данным инструментальных наблюдений находятся в пределах $488-520$ см на севере и $490-510$ см на юге. А интегральные вероятности малой обеспеченности $1-2$ % оцениваются в $523-609$ см на севере (табл. 5) и $515-584$ см на юге Балтийского моря (табл. 6).

Для экстремумов (максимумов) уровня моря эти характеристики будут достигать значений в $7,0-7,5$ м.

Таблица 4

**Средние и экстремальные уровни моря (см) за многолетний период
(средние: L_{cp} , максимумы: $L_{макс}$, минимумы: $L_{мин}$)**

Месяц	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
ГМС Выборг												
$L_{w\ cp}$	515,9	503,9	496,3	490,3	488,3	498,8	507,3	505,9	509,4	510,5	516,2	519,8
$L_{w\ макс}$	680	640	622	585	584	571	616	577	608	629	667	670
$L_{w\ мин}$	387	402	406	397	402	443	452	439	431	424	390	401
ГМС Кронштадт												
$L_{w\ cp}$	518	506,2	498,5	492,7	490,7	501,6	509,9	508,6	512,5	513,6	518	521,5
$L_{w\ макс}$	717	679	640	603	578	588	592	598	624	674	693	700
$L_{w\ мин}$	389	403	390	398	389	441	443	425	401	415	381	381
ГМС Балтийск												
$L_{w\ cp}$	507,8	501,7	494	492,9	489,8	497,9	506,5	505,9	508,1	504,2	508,4	509,5
$L_{w\ макс}$	611	582	578	573	530	551	544	560	563	579	579	598
$L_{w\ мин}$	436	430	425	447	453	456	470	455	451	439	424	429
ГМС Калининград												
$L_{w\ cp}$	512,9	505,1	496,3	492,9	489,8	499,2	508,7	507,3	511	506,6	511,6	511,2
$L_{w\ макс}$	662	608	616	588	564	576	583	633	585	588	638	643
$L_{w\ мин}$	440	438	434	446	446	458	462	453	453	423	423	429

Таблица 5

**Средние уровни моря (см) на ГМС Выборг за многолетний период
различной обеспеченности P (%)**

P	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
99	431,7	435,5	429,3	445,6	445,3	460,8	469,2	463,1	450,6	445,5	443,2	440,1
98	444,2	446,0	438,5	452,5	457,2	464,9	475,0	469,0	458,0	449,8	452,1	448,2
95	459,3	456,5	449,1	460,1	463,5	472,4	482,9	477,5	468,8	462,8	462,7	465,0
90	472,3	463,6	458,0	466,9	468,4	478,2	487,3	482,8	477,5	473,2	476,1	478,0
75	489,7	476,9	475,6	476,4	476,5	487,5	495,9	494,5	493,2	494,0	496,4	497,1
50	513,3	497,2	491,8	488,0	487,6	497,2	506,4	506,3	509,7	512,4	516,8	519,6
25	540,3	524,9	514,1	502,5	499,8	509,0	517,5	518,0	525,9	530,2	537,2	542,4
10	562,5	550,2	534,8	518,7	510,2	520,6	527,5	528,6	542,7	544,8	552,8	562,5
5	577,6	563,1	555,9	527,7	516,7	527,4	534,7	536,5	553,8	558,4	565,8	572,3
2	591,3	575,7	575,5	539,8	523,1	535,8	542,6	545,5	566,2	572,5	581,8	588,1
1	608,7	586,1	585,6	551,0	528,8	547,1	550,4	551,1	578,1	589,5	595,1	603,1

Таблица 6

**Средние уровни моря (см) на ГМС Балтийск за многолетний период
различной обеспеченности Р (%)**

Р	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
99	449,1	444,1	433,5	457,9	458,9	464,1	476,3	468,7	463,9	452,0	442,8	449,9
98	455,0	451,0	445,4	463,6	463,8	469,8	480,6	474,7	469,0	458,0	452,5	458,5
95	462,9	458,4	453,0	466,9	470,5	476,4	485,3	479,6	480,2	467,9	468,0	467,5
90	472,0	465,9	461,1	471,1	473,5	479,9	489,8	486,3	486,3	476,1	479,3	478,2
75	487,4	479,7	474,8	479,2	480,0	487,0	497,1	496,8	497,2	489,8	492,7	493,1
50	506,2	499,9	489,8	490,1	489,8	496,6	505,7	506,9	507,8	505,5	507,3	509,9
25	527,3	521,2	507,9	502,0	497,8	509,0	515,6	514,5	519,5	519,0	524,4	526,5
10	545,7	535,4	526,2	513,6	504,4	516,6	523,6	522,9	531,3	532,0	539,1	540,2
5	558,2	544,1	542,5	520,7	509,2	521,4	527,5	529,5	536,6	542,0	546,7	547,5
2	570,6	555,1	557,5	530,3	515,1	528,0	531,8	541,5	543,3	552,2	553,2	554,0
1	583,5	565,5	563,4	536,6	519,3	531,5	535,0	545,8	550,3	560,1	561,2	559,1

Отметим, что полученные оценки сделаны на основе данных прямых наблюдений за уровнем моря. Поскольку в Балтийском регионе отмечаются значительные вертикальные движения земной коры (данные альтиметрических измерений с борта ИСЗ) [6], то, естественно, они вносят определённые коррективы в изменчивость уровня моря. По оценкам, приведённым в работе [6], значения изменения уровня моря на Балтике доходят до 0,6 см/год.

Проведённые расчёты линейных трендов за последние десятилетия показали в целом явную положительную тенденцию в изменении уровня Балтийского моря. Величины КЛТ за последние 40 лет в разных районах российского сектора моря изменялись от 0,15 до 0,33 см/год (рис. 2). Данные наблюдений за уровнем моря в Финском заливе за последние 130 лет также подтверждают положительную тенденцию в изменении уровня моря: 0,02 см/год.

В целом, в прибрежной зоне российского сектора Балтийского моря климатические изменения проявляются в трендах устойчивого увеличения температуры воздуха в среднем со скоростью 0,01 °С/год за последние 120–200 лет и 0,08 °С/год за последние четыре десятилетия. Рост температуры морской воды Балтики также значителен – порядка 0,05 °С/год за последние четыре десятилетия. Изменение уровня моря на Балтике за последние четыре десятилетия близко

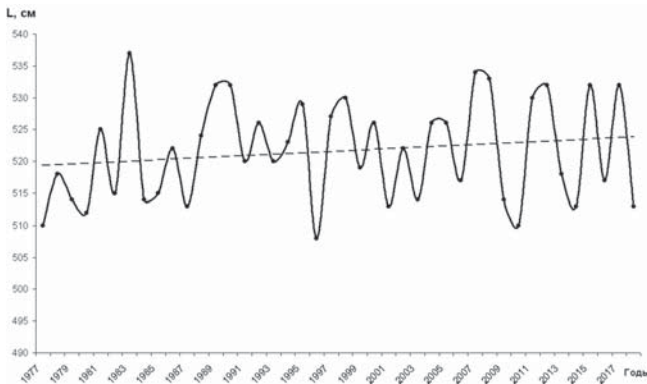


Рис. 2. L на ГМС Выборг (сплошная линия)
и оценка тренда (пунктир)

к оценке повышения уровня Мирового океана в целом (0,33 см/год [7]) и составляет от 0,33 см/год на юге и 0,15 см/год на севере моря.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Второй* оценочный доклад Росгидромета об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации / Науч. рук. В. М. Катцов, С. М. Семенов. М: Росгидромет, 2014. 1005 с.
2. Ростов И. Д., Дмитриева Е. В., Воронцов А. А. Тенденции климатических изменений термических условий прибрежных районов Охотского моря за последние десятилетия // Изв. ТИНРО. 2017. Т. 191. С. 176–195.
3. Проект «Моря СССР». Гидрометеорология и гидрохимия морей СССР. Т. 3. Балтийское море. Вып. 1 Гидрометеорологические условия. Санкт-Петербург: Гидрометеиздат, 1992. 447 с.
4. Справочные данные по режиму ветра и волнения Балтийского, Северного, Чёрного, Азовского и Средиземного морей. Санкт-Петербург: Российский морской регистр судоходства, 2006. 451 с.
5. Воронцов А. А. Обработка гидрометеорологической информации в Единой информационной системе обстановки в Мировом океане для получения стандартной выходной продукции // Новые информационные технологии: сборник трудов VII Всероссийской научно-технической конференции, Москва, 26 апреля 2005 г. М.: МГАПИ, 2005. С. 27–32.
6. Лебедев С. А. Климатические изменения температуры поверхности и уровня Балтийского моря по данным дистанционного зондирования // Янтарный мост. Журнал региональных исследований. 2014. № 1 (1). С. 78–95.
7. Belkin I. M. Rapid warming of large marine ecosystems. Prog. Oceanogr., 2009, v. 81, Nos 1–4, pp. 207–213; doi:10.1016/j.pcean.2009.04.011.

УДК 551.515(470+571)

ОЦЕНКА ЧАСТОТЫ ПОЯВЛЕНИЯ ОПАСНЫХ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЙ, НАНЁСШИХ УЩЕРБ СУБЪЕКТАМ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

С. И. Шамин¹, А. Т. Санина²

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

¹ sha@meteo.ru, ² nai@meteo.ru

Знания о природных опасных гидрометеорологических явлениях (ОЯ) необходимы для использования с целью предотвращения ущерба от последствий этих явлений, а также для планирования превентивных мер. К настоящему времени накоплен определённый объём информации о природе опасных явлений, закономерностях их развития, при этом перечень мер по обеспечению безопасности расширяется и совершенствуется. Несмотря на это социальные и материальные потери от катастрофических природных явлений постоянно растут, что требует дальнейшего изучения, анализа и оценки этих явлений.

В настоящей статье на основе анализа базы сведений об опасных и неблагоприятных гидрометеорологических явлениях погоды, нанёсших ущерб экономике и населению Российской Федерации [1], проведено исследование частоты появления опасных и неблагоприятных гидрометеорологических явлений по отдельным субъектам Российской Федерации.

Основные тенденции изменения частоты появления ОЯ на территории РФ (в целом) были изложены в статье авторов [2], здесь же впервые анализируются опасные явления, нанёсшие ущерб на территориях отдельных субъектов РФ.

Территория РФ отличается многообразием природных климатических зон, в которых расположено 83 административных субъекта.

В базе сведений об ОЯ [1] содержится информация по 25 метеорологическим, 9 агрометеорологическим и 12 гидрологическим

опасным явлениям по всем субъектам РФ за период 1991–2018 гг. с характеристикой их количественного и качественного значения, даты наблюдения и описанием нанесённого ущерба.

В последние несколько лет ущерб, нанесённый в различных регионах территории РФ, уточнялся для каждого субъекта, при этом заново анализировалась имеющаяся информация, а также привлекалась новая. Кроме того, база сведений об ОЯ была дополнена информацией из ежедневных сводок чрезвычайных ситуаций (ЧС) и происшествий МЧС России за 2012–2018 годы. Благодаря этому удалось уточнить имеющуюся информацию, добавить новые данные, особенно по ущербу отдельных субъектов РФ. Анализ проведён по обновлённой и расширенной подобным образом базе.

Рассмотрим общее количество опасных гидрометеорологических явлений за период с 1991 по 2018 год с учётом того, что комплекс неблагоприятных явлений (КНЯ) приравнивается к одному ОЯ. В дальнейшем по тексту при изложении статистики по явлениям это учитывается.

В таблице, приведённой в статье, представлена количественная сторона частоты появления гидрометеорологических опасных явлений по каждому субъекту РФ с приведением региональной оценки повторяемости ОЯ в этом субъекте (под повторяемостью ОЯ понимается среднее количество ОЯ в год за рассматриваемый период).

Следует отметить, что суммарное количество ОЯ в таблице может не совпадать со статистикой, приведённой ранее в статье [2], так как ОЯ часто охватывают большие территории и одновременно наблюдаются в двух и более субъектах РФ.

Анализ показал большой разброс общего количества опасных гидрометеорологических явлений среди всех 83 субъектов РФ. Например, от 24 (Ненецкий автономный округ) до 734 (Краснодарский край) ОЯ за период с 1991 по 2018 год. Это, в принципе, можно объяснить отличием у этих двух субъектов территориальных, административных (Ненецкий автономный округ является самым малонаселённым субъектом) и географических особенностей. Поэтому интересно было бы изучить и оценить характер наблюдавшихся ОЯ по территориям конкретных субъектов.

Таблица

Статистика по количеству ОЯ за 1991 – 2018 годы по субъектам РФ

Субъект РФ	Повторяемость ОЯ	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Амурская область	5			2	2	2	4	4	3	1	10	4	9	4	6	9	4	8	9	2	4	3	3	8	1	4	12	4	4
Еврейская авт. область	1								5		1	2	1	1		2	2			4	8	2	1	2	4		1		
Камчатский край	6	4	1	6	5	10	15	10	2	3	2	4	6	10	9	9	7	4	7	6	2	1	7	8	2	2	5	9	
Магаданская область	3	2	5	3	4	7	4	1	3	2	3	3	1	5	1		7	1	4	7	4	1	1	3	3	1	3	1	
Приморский край	9	6	5	8	16	3	12	9	2	5	15	10	16	9	5	11	5	14		16	1	4	10	12	9	12	13	9	16
Сахалинская область	18	6	7	13	21	15	14	16	5	16	15	10	15	17	34	29	18	10	14	30	34	20	20	29	21	22	17	17	16
Хабаровский край	6	3	2	4	6	5	6	6	5	4	11	4	6	3	6	9	7	3	18	9	9	10	11	5	10	2	2	6	
Чукотский авт. округ	4	4	3	1	1	1	7	1	1	1	3		3	4		5	5	3	9	6	14	7	5	6	9	3	1	9	4
Республика Саха (Якутия)	4	2	3	1	2	3	7	2	3	6	3	9	5	2	7	5	1	3	7	4	3	7	9	5	8	2	4	2	9
Республика Бурятия	13	7	9	7	8	2	3	1	9	11	10	18	7	10	12	23	23	13	15	16	18	13	14	16	10	17	20	17	24
Иркутская область	10	4	4	4	5	4	4	1	5	4	1	8	5	6	2	6	16	14	16	12	17	6	15	18	16	21	17	23	15
Красноярский край	21	16	21	28	17	20	9	4	4	15	4	16	26	33	42	28	34	15	24	24	32	21	16	28	16	23	10	26	24
Республика Тыва	5		2	1	1	2		2	1	3	2	5	3	7	4	7	12	6	7	4	4	5	8	4	6	15	3	12	10
Республика Хакасия	6		4	3	2	2	2		3	5	4	10	13	12	6	16	6	6	7	8	3	10	9	8	11	5	14	6	
Забайкальский край	15	7	8	4	10	7	9	5	17	18	14	28	19	20	17	26	22	25	22	14	16	17	27	15	6	10	11	16	16
Республика Алтай	8	4	3	5	7		3			3	3	5	3	1	11	18	23	18	9	8	22	5	15	5	10		11	15	8
Алтайский край	26	7	12	11	11	17	15	12	16	19	12	33	24	16	26	38	32	44	28	25	40	17	36	38	56	43	21	41	39
Кемеровская область	17	7	8	6	7	10	14	8	15	20	9	29	22	12	19	29	25	29	9	22	34	11	22	14	10	25	17	21	30
Новосибирская область	19	8	12	8	11	8	17	13	13	17	10	24	23	16	19	27	24	24	20	24	31	12	29	16	26	30	16	15	24
Омская область	6	8	5	9	8	5	7	2	5	4	4		2	2	3	4	18	8	3	12	11	5	10	8	7	11	10	5	

Продолжение табл.

Субъект РФ	Повто- ряемость ОЯ	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Томская область	13	6	10	9	6	8	14	8	15	13	9	17	20	12	18	14	22	16	9	16	25	8	16	9	12	12	11	7	23
Томская область	4	6	7	3	8		3	2	4	1	4	1	2	1	2	3	8	5	1	3	10	4	3	5	4	3	8	8	7
Ханты-Мансийский авт. округ	2	5	3	3	5	1				1	4		1		2	4	5	2	1	1	4		1	5	3	5	1	1	7
Ямало-Ненецкий авт. округ	2	6	3	5	4	1		2		1	1			2	4	2	3	6	3	1	3		1	4	1	4	1	1	1
Республика Башкортостан	8	13	6	4	13	17	5	6	7	6	10	11	4	2	3	5	5	9	6	4	16	6	2	10	6	11	14	5	11
Курганская область	6	5	6	3	13	10	8	7	8	4	5	6	4	1	10	4	8	6	2	5	9	1	2	4	1	2	12	5	2
Оренбургская область	9	4	1	7	8	9	5	6	7	7	5	6	1	2	3	17	9	11	14	10	11	10	11	15	10	12	13	12	10
Пермский край	6	4	5	11	8	9	8	6	4	5	6	7	4	2	10	3	3	9	3	9	5	1	3	4	3	4	14	5	4
Свердловская область	8	5	11	16	13	11	9	8	4	9	9	10	10	2	16	5	7	11		9	9	2	4	10	6	6	11	1	7
Удмуртская Республика	4	3	1	4	6	2	1	2	3	5	3	8			4	1	6	4	6	4	10	3	8	4	4	3	4	7	1
Челябинская область	10	7	5	11	14	7	7	4	9	3	7	8	3	3	14	6	16	11	17	14	19	7	8	16	16	7	14	10	7
Кировская область	9	5	6	2	9	7	6	6	10	3	6	12	9	8	16	11	6	13	10	12	13	10	15	14	7	7	10	14	13
Республика Марий Эл	4	5	3	2	4	9	5	3	6	4	8	4	4		4	1	6	8	4	2	10	4	5	4	4	3	5	4	1
Республика Мордовия	6	7	3	1	4	11	8	3	10	5	8	6	8	3	8	3	8	11	9	6	11	5	10	5	5	6	1	3	8
Нижегородская область	9	8	3	1	8	6	8	5	11	5	8	10	6	4	6	14	14	14	12	8	17	9	15	9	13	11	8	8	3
Чуашская Республика	5	6	3		5	8	5	4	5	3	7	2	4	1	2	1	3	13	7	2	10	5	5	8	6	2	2	4	2
Астраханская область	5	11	4	2	5	7	3	2	11	5	4	5	5	3	2	3	6	4	1	6	5	4	7	2	5	5	1	5	4
Волгоградская область	9	14	2	4	6	5	6	2	11	5	9	10	9	7	4	10	12	9	10	12	13	6	11	8	7	11	9	13	10
Республика Калмыкия	6	10	2	5	6	7	10	6	7	6	6	3	5	4	3	1	6	5	4	5	12	4	9	4	11	12	5	6	5
Пензенская область	6	10	3	5	6	2	5	3	12	2	7	7	11		5	3	2	3	5	5	11	6	5	10	8	9	1	11	14
Самарская область	11	15	5	4	7	8	4	2	9	6	9	6	11	3	5	20	22	24	18	16	18	17	16	16	11	14	14	10	9

Продолжение таб.

Субъект РФ	Повто- ряемость ОЯ	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Саратовская область	10	16	5	5	10	8	2	1	9	3	9	16	9	3	11	23	8	10	21	12	11	10	15	12	10	13	15	10	15
Республика Татарстан	11	12	1	2	9	10	6	8	13	8	12	12	17	5	8	6	9	14	8	9	13	7	13	19	17	28	15	6	10
Ульяновская область	9	16	3	4	6	6		2	10	5	10	8	8	1	7	7	5	12	9	12	15	7	12	17	10	17	7	5	21
Республика Адыгея	6	9	2					2	8	3	6	9	14	8	9	2	12	3	9	4	2	6	3	9	5	4	12	13	8
Республика Дагестан	14	9	5	3	7	6	7	25	16	17	10	8	24	9	17	35	23	18	24	24	19	17	12	10	3	3	12	6	7
Республика Ингушетия	5	9	3			1	1	2	8	8	6	10	12	9	17	5	3	2	1	6	3		2	1		2	3	11	3
Кабардино-Балкарская Республика	11	10	6	4	2	6	5	5	13	9	10	8	10	10	13	10	15	15	12	13	21	9	15	7	22	29	22	11	7
Карачаево-Черкесская Республика	9	9	3	1	4	3	9	10	12	7	5	10	10	9	20	4	16	14	1	15	13	4	8	1	10	21	6	5	14
Краснодарский край	26	14	12	10	11	5	8	11	15	8	11	21	29	20	30	24	36	24	19	29	39	28	43	38	45	51	53	32	68
Ростовская область	11	13	8	4	5	8	14	7	14	7	10	10	10	16	9	14	20	11	11	10	13	5	12	10	18	9	17	17	13
Республика Северная Осетия – Алания	16	10	9	6	1	12	6	5	10	8	13	17	15	18	19	31	22	18	8	16	25	23	29	19	19	27	17	25	22
Ставропольский край	16	11	9	6	5	11	14	11	15	5	6	9	12	13	13	18	24	18	15	17	27	23	28	23	24	30	22	16	31
Чеченская Республика	5	9	2			1	1	1	8	4	5	6	11	5	19	12	11	5	5	5	2	6	6	2	1		7	4	2
Брянская область	4	9		2	4	2		1	8	3	8	2	5	2	3	8	5	5	1	2	10	4	4	4	6	5	3	3	9
Владимирская область	3	10		3	4	4	2	1	8	2	4	5	6		1	2		1	1		10		3	3	1	1	1	8	5
Ивановская область	3	10		3	3	5		2	14	4	4	2	5	3		2		1	3	10	1	1	6	1	1	2	4	5	
Калужская область	3	9	1	3	5	1		1	9	2	8	3	5		2	1	1	4		1	3	1	2	1	1	2	2	4	4
Костромская область	4	10	2	5	5	4		2	13	1	4	6	5	1	4	1		1		2	14		4	3	2	2	5	4	4
Московская область	5	10	2	5	5	7	3	2	9	8	8	9	7	2	1	7	2		2	4	12	1	3	4		3	6	10	8

Окончание табл.

Субъект РФ	Повто- ряемость ОЯ	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Орловская область	5	9	1	1	5	3		2	7	2	6	2	6	3	3	8	9	11	4	4	10	6	4	6	4	1	8	4	9
Рязанская область	4	10		5	4	2	3	1	8	3	9	4	7	1	2	4	5	12		1	10		7	3	3		2	10	6
Смоленская область	3	9	1	1	4	2	3	2	12	1	7	2	5		1	3		2		1	8	3	2	7	3	1	3	3	6
Тверская область	4	10	2	4	3	1	6	4	9	3	7	3	6		3	4	3	5	2	4	12	8	5	2			2	5	5
Тульская область	3	9	2	1	5	1		3	7	5	6	2	6	3	2	3	2	5	1		6	2	2	2	1		1	5	4
Ярославская область	3	12		5	2	2	2	1	7	2	4	7	5					2	6		1	5	1	2	3	1	3	2	4
Белгородская область	7	10	2	2	2	8	2	4	8	3	5	3	3	3	4	8	12	13	3	3	17	10	6	10	8	8	10	7	12
Воронежская область	9	10	2	3	4	8	3	3	9	2	5	2	5	3	4	7	14	17	9	6	18	13	21	16	9	15	7	6	16
Курская область	8	10	2	2	4	6	3	4	7	2	5	2	3	5	2	7	14	16	7	9	19	6	17	11	9	10	14	8	10
Липецкая область	6	10	2	2	2	8	3	4	7	5	5	2	5	4	2	8	14	2	3	12	3	10	2	7	2	2	13	6	7
Тамбовская область	7	12	2	3	2	8	3	3	6	3	5	4	5	3	2	10	14	15	5	7	17	11	12	3	8	7	6	7	12
Калининградская область	4	6	2	4	3	3		2	5	5	5	8	11		2	5	3	5	3	6	7	6	1	1	1	1	5	1	
Ленинградская область	4	9	1	3	8	4	4	1	8	6	7	6	6	2	1	3	3	2	3	2	4	2	1	4		3	2	2	
Новгородская область	3	6	1	3	3	4	4	3	4	5	4	4	5	3		3	2	1	2		2	1	2	4		1	5	3	
Псковская область	2	6	2	2	4	4	5	4	7	3	3	3	5	2	1	2	1		2		1	1	2	2	1	1	1	1	
Архангельская область	3	4	2	1	5	2	1	2	4	6	4	4	3	2	2	2	1	7		4	3	2	3	1	3	1	2	2	2
Вологодская область	2	4		3	2	1		1	1	2	3	1	3				3	5		2	4	1				2	3	3	3
Республика Карелия	2	4	3		2	4	2	2	2	3	3	3	2	1		2	2		1	1	2	1	1	2			6	1	
Республика Коми	2	6	1	4	3	5	3	5	2	3	2	1	2	2	1	1	4	1			3	2	2	1	1			3	2
Мурманская область	4	7	2	5	2	5	7	4	3	2	3	3	3	1	1	6	4	4	5	2	9	5	6	5	4	5	4	4	1
Ненецкий авт. округ	1	4	1		1	1	2		3	1		1	2	2	1		1					0		2	2				

Выберем из общего числа субъектов РФ те, в которых наблюдается в среднем 10 и более ОЯ в год. Их оказалось 19. Перечислим эти субъекты РФ по мере возрастания повторяемости ОЯ: Иркутская область – 10; Челябинская область – 10; Саратовская область – 10; Республика Татарстан – 11; Ростовская область – 11; Кабардино-Балкарская Республика – 11; Самарская область – 11; Республика Бурятия – 13; Томская область – 13; Республика Дагестан – 13; Забайкальский край – 15; Республика Северная Осетия–Алания – 16; Ставропольский край – 16; Кемеровская область – 17; Сахалинская область – 18; Новосибирская область – 19; Красноярский край – 21; Краснодарский край – 26 и Алтайский край – 26.

На примере выбранных субъектов исследуем основные тенденции частоты появления ОЯ. Наиболее интересным для исследования является период 2009–2018 гг. (т. е. последнее десятилетие), поскольку связано это с более подробным и единым подходом к учёту количества опасных гидрометеорологических явлений согласно рекомендациям [3], поэтому мы и ограничимся последним десятилетием.

В среднем количество опасных природных явлений по всей территории РФ, нанёсших экономический и социальный ущерб, от года к году имеют тенденцию к росту [2]. Для выяснения тенденций изменения частоты появления ОЯ на территориях выбранных субъектов выполнены оценки линейных трендов.

Хорошо выраженную положительную тенденцию имеют линейные тренды для Краснодарского края и Республики Бурятия – наблюдается рост количества ОЯ. В Краснодарском крае доля объяснённой дисперсии составляет 0,4625, и в Республике Бурятия доля объяснённой дисперсии составляет 0,2426, что демонстрирует рис. 1. При этом у Краснодарского края и Республики Бурятия имеется значимо отличный от нуля с вероятностью 0,95 положительный линейный тренд.

Среди 19 субъектов (а это почти четверть всех субъектов РФ), выбранных для анализа, у трёх линейный тренд имеет отрицательную тенденцию (рис. 2). Республика Дагестан, Сахалинская область и Самарская область демонстрируют значимо отличный от нуля отрицательный тренд.

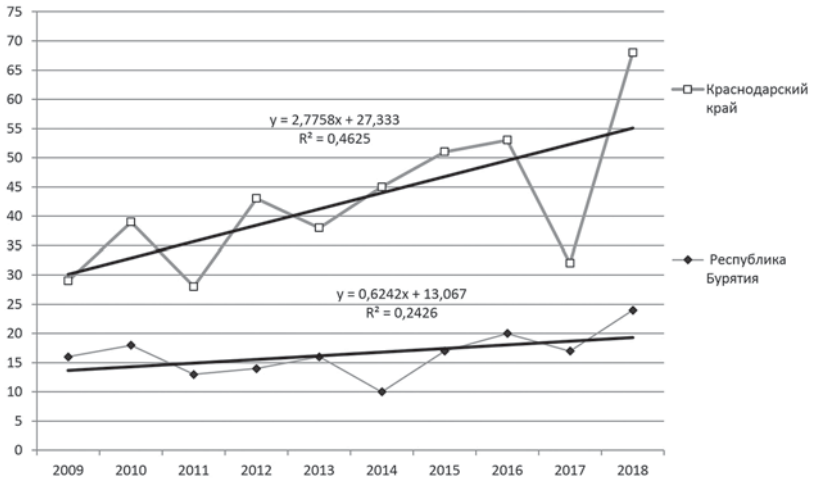


Рис. 1. Тенденция изменения частоты появления количества ОЯ по годам за последнее десятилетие для Краснодарского края и Республики Бурятия

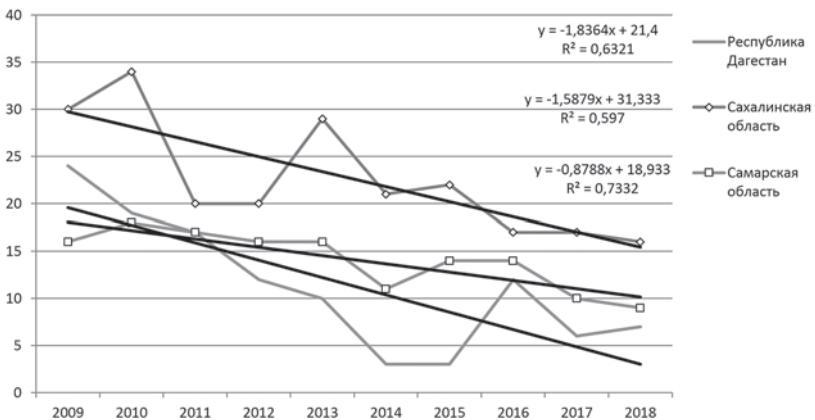


Рис. 2. Тенденция изменения частоты появления количества ОЯ по годам за последнее десятилетие для Республики Дагестан, Сахалинской и Самарской области

Анализ линейных трендов остальных рассмотренных субъектов РФ показал, что они не имеют явно выраженных тенденций.

При рассмотрении отдельных явлений можно отметить следующее. В субъектах за Уралом наибольший ущерб наносит ветер: за последнее десятилетие число явлений с сильным ветром было от 34 до 91 (наибольшее в Красноярском крае – 91 раз ветер нанёс ущерб), южные субъекты, расположенные в горных районах, страдают от таких гидрологических явлений, как сель, сход снежных лавин (в частности, в Дагестане 25, а в Северной Осетии – Алании 33 лавины нанесли существенный ущерб, и в Дагестане 37 раз наблюдался сель). Ставропольский край характеризуется обильным выпадением дождей (36), града (42) и сильным ветром (25).

Среди 46 рассматриваемых опасных явлений есть те, которые имеют почти одинаковый характер воздействия на природу и похожий характер нанесённого ущерба. Поэтому было проведено объединение всех явлений в 9 групп [2], и решено в дальнейшем проводить анализ на частоту появления каждой из групп (как одного ОЯ) в пространстве выбранных выше 19 субъектов. Рис. 3 в виде диаграммы иллюстрирует вклад (в количественном соотношении) каждой группы опасных явлений в общее число явлений в этих субъектах за последнее десятилетие (2009–2018 годы).

Иркутская и Челябинская области за последнее десятилетие страдали от сильной жары и сильного мороза (74 случая в Иркутской и 42 – в Челябинской). Эта группа вместе с группой Ветер (соответственно 22 и 24 случая) внесли существенную долю в нанесённый ущерб по сравнению с другими группами явлений (общее количество групп – явлений за десятилетие – было соответственно 158 и 117).

Также высокая и низкая температуры по сравнению с другими группами сказались на ущербе в других субъектах: в Ростовской области – 27, в Томской области – 36 и в Забайкальском крае – 32 раза проявляла себя группа Жара + Мороз. В Ростовской и Томской областях нестабильная температура в тёплые и переходные месяцы привела к обильным дождям и наводнениям. В Ростовской области 24 раза дождевая группа вызвала ущерб, а в Томской отмечались 24 случая проявления группы наводнений с

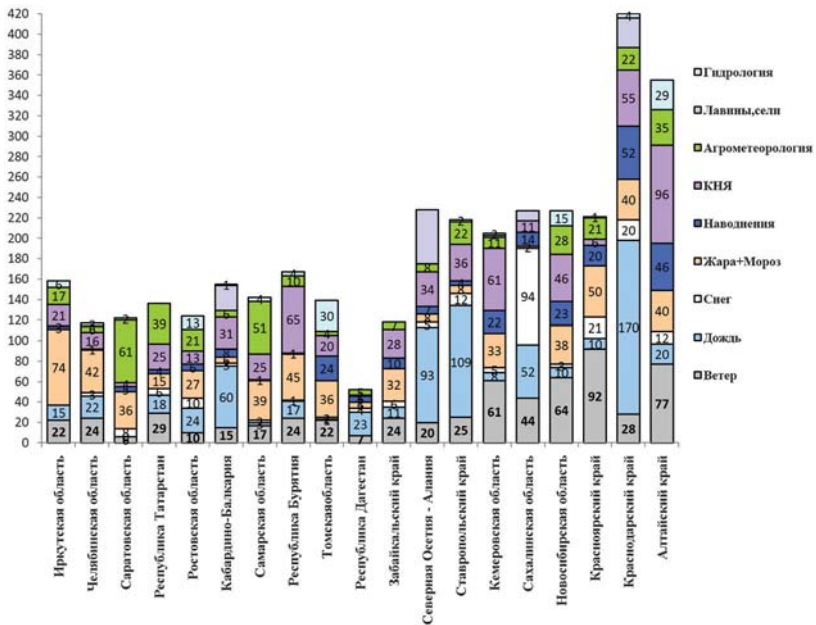


Рис. 3. Вклад каждой группы явлений в нанесённый ущерб в 19 субъектах за 2009–2018 годы

ущербом. В Забайкальском крае группа КНЯ (28 случаев) почти так же себя проявила, как и температурная группа. Таким образом, в вышеперечисленных субъектах выделяются, как правило, две группы, от которых с вероятностью 50 % и более можно ожидать проявления наибольшего ущерба.

В Саратовской области 61 раз за десятилетие ущерб был нанесён группой агрометеорологических явлений (от общего числа случаев – 122). Это могло быть вызвано влиянием оценок температурной группы (группа Жара+Мороз в этом субъекте наблюдалась 36 раз). В результате на эти две группы пришлось почти 80 % явлений, нанёсших ущерб. Аналогичная картина складывается и в Самарской области (соседней с Саратовской): 51 раз (почти 36 % от общего количества явлений) группа агрометеорологических явлений совместно с группой Жара+Мороз (39 случаев) повлияла на причинённый ущерб.

В последнее десятилетие Республика Татарстан также пострадала от агрометеорологических явлений (39 случаев проявления этой группы), а второй группой, существенно повлиявшей на ущерб, оказалась ветровая группа – 29 случаев, что вместе составило около 50 % явлений, влияющих на ущерб.

Среди субъектов южных районов РФ можно выделить те, в которых ущерб экономике страны и населению был в основном нанесён природными явлениями, объединёнными в дождевую группу.

Ниже приводятся субъекты, в которых именно эта группа была самой многочисленной и значимой по сравнению с другими группами и, как правило, занимала первое место в ряду всех групп конкретного субъекта, что естественно повлияло на нанесённый ущерб. В Кабардино-Балкарской Республике – 60 случаев, в Республике Северная Осетия – Алания – 93, в Ставропольском крае – 109, в Краснодарском крае – 170. Сильные дожди сопровождались набором явлений группы КНЯ (соответственно: 31, 34, 36 и 55 случаев). Именно эти две группы – Дождь и КНЯ – при их проявлении могли привести к 50 %-ной доле вклада в ущерб.

Особо следует отметить, что только в Республике Северная Осетия – Алания по сравнению с другими субъектами наблюдалось намного больше случаев появления группы лавин, селей (53 за десятилетие), чем в других субъектах. Хотя можно отметить Кабардино-Балкарию – 25 случаев, Краснодарский край – 29.

В Республике Дагестан почти половина всего ущерба пришлась на группу Дождь – 23 случая и ветровую группу – 7 случаев.

Согласно приведённым данным, субъекты Сибирского федерального округа такие, как Красноярский край, Кемеровская и Новосибирская области наиболее пострадали от явлений, входящих в ветровую группу. В Красноярском крае ветровая группа наблюдалась 92 раза (41,6 % от общего количества групповых явлений и самая высокая по сравнению с другими субъектами), второй по значимости оказалась группа Жара + Мороз – 50 случаев, а вместе они вложились в ущерб по Красноярскому краю за десятилетие на 64 %. Не удивительно, что именно там частенько бушуют пожары.

Интересная статистика отмечается по Кемеровской области: ветровая группа и группа КНЯ по данным последнего десятилетия наблюдались по 61 разу, и обе группы одинаково вложились в нанесённый ущерб – по 29,8%. Почти такая же ситуация наблюдается и в Новосибирской области – 64 случая ветровой группы и 46 – КНЯ. Именно эти две группы (как и в Кемеровской области) больше всего проявлялись в последнем десятилетии.

Два субъекта РФ из 19 (Бурятия и Алтайский край) в последнее десятилетие понесли наибольший ущерб не от конкретных опасных явлений, объединённых в группы, а от комплекса неблагоприятных явлений (КНЯ). В Республике Бурятия – это 65 случаев, в Алтайском крае – 96. Второй весомой группой для Бурятии оказалась группа Жара + Мороз с довольно высоким показателем (45 случаев), и эти две группы повлияли на нанесённый ущерб более чем на 50 %. Для Алтайского края второй группой, существенно повлиявшей на ущерб, является ветровая – 77 случаев. Вместе с КНЯ это более 50 % влияния.

И, наконец, только Сахалинская область в последнем десятилетии подвергалась опасности от группы Снег (94 случая), второй весомой группой для нанесения ущерба в этом регионе стала группа Дождь – 52 случая. А отсюда и большое количество продолжительных дождей, метелей и снежных заносов. Остальные же субъекты демонстрировали влияние этой группы на ущерб менее чем в 10 % от общего числа случаев.

Заключение

Проведенное исследование позволяет впервые оценить количественную и качественную стороны произошедших опасных природных явлений на территории отдельных субъектов РФ. В большинстве из 19 рассмотренных субъектов в среднем количество опасных природных явлений, нанёсших экономический и социальный ущерб, за последнее десятилетие не имеют явно выраженных тенденций. При этом в Краснодарском крае и в меньшей степени в Республике Бурятия наблюдается увеличение количества ОЯ. В Республике Дагестан, Сахалинской и Самарской

областях и в меньшей степени в Забайкальском крае наблюдается уменьшение частоты появления ОЯ.

Результаты анализа свидетельствуют, что в каждом из субъектов РФ имеется одна-две группы опасных гидрометеорологических явлений, на которые приходится больше половины всех ОЯ, причём для каждого субъекта РФ эти группы разные. В Республике Бурятия, Кемеровской области и Забайкальском крае максимальное количество явлений за последнее десятилетие приходится на группу КНЯ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *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.
2. *Шамин С.И., Санина А.Т.* Основные тенденции изменения частоты появления опасных гидрометеорологических явлений на территории Российской Федерации // Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2018. Вып. 183. С. 42–50.
3. «*Рекомендации по сбору, ведению и хранению сведений об опасных природных явлениях*». Обнинск, 2009. 11 с.

УДК 551.583

АСИНХРОННЫЕ ДАЛЬНИЕ СВЯЗИ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА В ЦЕНТРАЛЬНОМ РЕГИОНЕ РОССИИ С ТЕМПЕРАТУРОЙ ПОВЕРХНОСТИ МИРОВОГО ОКЕАНА

Б. Г. Шерстюков

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

Введение

Современные изменения климата во многих научных работах трактуются как следствие увеличения выбросов углекислого газа в атмосферу при интенсификации сжигания ископаемого топлива [1]. В других работах не менее обоснованно утверждается, что природные факторы колебаний климата были и остаются сильнее факторов антропогенных [2].

В [2] показано, что весь комплекс данных по ледяному ядру из скважины на ст. «Восток» свидетельствует о том, что на протяжении последних 420 тыс. лет климат испытывал постоянные колебания, амплитуда которых не выходила за пределы стабильных границ климатической изменчивости. Концентрация парниковых газов и глобальная температура в прошлом изменялись параллельно. Содержание газов резко возросло за последние 100 лет, но независимо от этого изменения температуры, как и прежде, не выходят за рамки её естественных флуктуаций, сложившихся сотни тысяч лет назад.

Вопрос о причинах изменения современного климата остаётся дискуссионным. В сложившихся условиях, когда нет ясности в причинах изменений климата, прогностическая модель может быть статистической, построенной на основе внутренних асинхронных статистических связей в климатической системе. Для такой модели необходимо найти связи в климатической системе при больших сдвигах по времени.

Огромная теплоёмкость слоя взаимодействия океана с атмосферой всегда определяет доминирование океана над атмосферой в их взаимодействии. Исключение возможно только в тонком верхнем слое океана, на который могут проникать короткопериодные колебания термодинамического режима приповерхностной атмосферы. Сезонные и межгодовые колебания термодинамического режима океана не связаны с воздействием атмосферы, а определяются циркуляционными процессами в глубинах океана. Поэтому теплообмен океан–атмосфера является генератором долгопериодных колебаний температуры, влажности и ветра в атмосфере.

По данным [1] за 1961–2003 годы произошло увеличение теплосодержания климатической системы на $15,9 \cdot 10^{22}$ джоулей. Из них увеличение теплосодержания океана произошло на $14,2 \cdot 10^{22}$ джоулей, атмосферы – на $0,5 \cdot 10^{22}$ джоулей, суши – на $0,76 \cdot 10^{22}$ джоулей, льда – на $0,45 \cdot 10^{22}$ джоулей. Из общего увеличения теплосодержания 89,3 % пришлось на океан и только 10,7 % – на все остальное (лёд + суша + атмосфера). Увеличение теплосодержания атмосферы составило 3,1 % от общего увеличения теплосодержания всей климатической системы. Это означает, что в годы глобального потепления около 90 % дополнительного тепла пошло на нагрев океанов, и только около 3 % – на нагрев атмосферы. Эти 3 % избыточного тепла привели к прямому нагреву атмосферы. Но тепло, получаемое Мировым океаном, не остаётся в нем навсегда, оно с некоторым запаздыванием передаётся в атмосферу, создавая отложенное потепление атмосферы. Поэтому можно ожидать, что сведения о термическом состоянии океана недалёкого прошлого могут в некоторой мере объяснить состояние современного климата и послужить предикторами для оценок будущего состояния климата атмосферы.

На первом этапе ставилась задача определения района в Мировом океане, температура поверхности которого влияет на температурный фон в Центральном регионе России. На втором этапе стояла задача прогноза изменений климата в Центральном регионе на основе асинхронной регрессии.

Пространственные особенности и долгопериодные изменения температуры поверхности океана (ТПО) определяются местными физико-географическими и физическими условиями в океане, а также океаническими течениями. Существует глобальная система океанической циркуляции, которая перераспределяет тепло по всему миру. Теория большого конвейера океанических течений утверждает, что региональные океанические течения объединены в одну общую систему [3]. Северо-Атлантическая глубинная вода, двигаясь на юг, пересекает экватор и, достигнув в Южном полушарии широты $30-40^\circ$, поворачивает на восток, где сливается с глубинным течением, окружающим Антарктиду. Затем даёт ответвление на север в Индийском океане и продолжает путь в широтном направлении до Тихого океана, где поворачивает на север. Таким образом и формируется получившая широкую популярность «петля Брокера» или «большой океанический конвейер». Основной движитель конвейера – термохалинный механизм, работающий в Северной Атлантике.

Ещё в 1970 году в работе [4] было отмечено, что перераспределение тепла на Земле морскими течениями составляет один из основных климатообразующих факторов на Земле. Позднее эти сведения получили новые подтверждения и развитие [3, 5, 6].

Большой конвейер океанических течений медленно переносит тепло и влагу из одних регионов и слоёв в океане в другие по сложным, не совсем понятным траекториям. Как отмечает Лозье [7], пока ясна только двухмерная картина движения, а трёхмерная картина не вполне понятна. Не ясно, непрерывно ли движется конвейер или он периодически меняет свою скорость, а главное – в какой степени связаны эти изменения скорости движения воды с изменениями климата и как изменения климата связаны с изменениями течений в Мировом океане. Идёт дискуссия и о том, что является основным движителем конвейера – увеличение плотности воды, заставляющее её тонуть, или же сильные ветра, заставляющие подниматься воду к поверхности [7].

Анализируя асинхронную ковариационную структуру климатических индексов, в работе [8] описывается распространение сигнала изменения температуры по всему Северному полушарию

через последовательность многократных превращений асинхронных атмосферно-океанических дальних связей. По оценкам тех же авторов, первоначальный сигнал изменения температуры в Северной Атлантике, распространяясь, достигает удалённых регионов полушария примерно 30 лет спустя. Тридцатилетнее запаздывание может послужить хорошей основой для прогнозистических оценок изменения климата на 30 лет.

Исходные данные

В работе использовались данные наблюдений за температурой воздуха (T_e) на метеорологической станции Москва за 1879–2016 гг. и данные ERSST v3b о температуре поверхности океана в узлах географической сетки $2 \times 2^\circ$ широты и долготы за 1854–2016 гг. [9–11].

Массив данных о температуре поверхности океана ERSST v3b представляет собой восстановленные ряды месячных аномалий температуры поверхности океана относительно норм за 1971–2000 годы. Восстановление пропущенных данных статистическими методами выполнено авторами массива. В отличие от версии ERSST v3 новая версия ERSST v3b не включает спутниковые данные, которые, как было установлено, вызывают слишком сильное смещение. Данные ТПО в узлах севернее 80° с. ш. были получены авторами по фрагментарным сведениям и поэтому нами не использовались как ненадёжные.

Методы анализа и результаты

За многолетнюю историю метеорологических наблюдений в Москве в изменениях среднегодовых значений T_e можно обнаружить составляющие колебаний климата с разными периодами от нескольких лет до нескольких десятилетий, которые накладываются на медленный тренд потепления. Исключим линейный тренд потепления, вычисленный по всему ряду. Полученные отклонения от тренда содержат многолетние колебания, которые предстоит исследовать и экстраполировать на будущее. Межгодовые колебания длительностью менее трёх лет исключаем методом скользящих средних по трём годам.

Аналогичную обработку сделаем с рядами среднегодовой ТПО в каждом узле Мирового океана. Дальние связи будем оценивать по наилучшим (максимальным) асинхронным коэффициентам корреляции между ТПО в каждом отдельном узле географической сетки и T_{θ} в Москве с запаздыванием T_{θ} от 0 до 36 лет. В каждом исследуемом узле из серии асинхронных коэффициентов корреляции T_{θ} с ТПО выделялся максимальный коэффициент корреляции R и фиксировалась величина L опережения колебаний ТПО в узле относительно последующих колебаний T_{θ} в Москве. Значимыми принимались коэффициенты $R \geq 0,3$ (вероятность случайности менее 1 %). Узлы с $R < 0,3$ исключались из дальнейшего анализа. На карту рис. 1 в соответствующий географический узел наносилась величина R , а на карту рис. 2 наносилась величина L опережения колебаний ТПО в узле относительно последующих колебаний T_{θ} в Москве.

Наилучшей оказалась синхронная связь ($R=0,774$) колебаний T_{θ} с ТПО в Северном море в узле с координатами $18,0^{\circ}$ в. д. $60,0^{\circ}$ с. ш. Но для прогностических целей эта связь не подходит. А наилучшая асинхронная связь ($R=0,55$) T_{θ} в Москве с ТПО обнаружилась в далеком узле с координатами 18° в. д. 30° ю. ш. в Южной Атлантике при опережении ТПО на 30 лет ($L=30$). Кроме этого тесная корреляция T_{θ} с ТПО ($R > 0,5$) с опережением ТПО

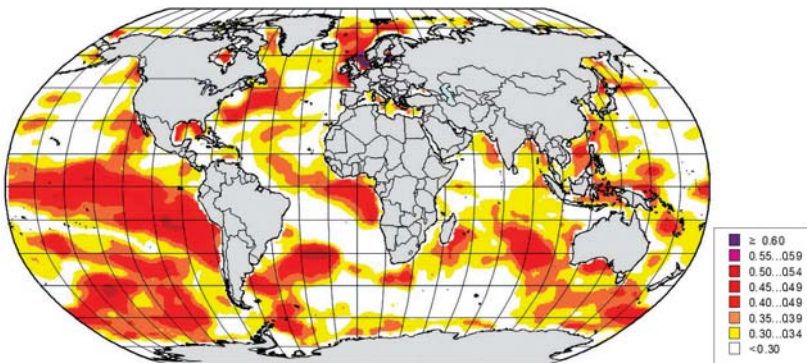


Рис. 1. Наилучшие синхронные и асинхронные (сдвиги в пределах от 0 до 36 лет) коэффициенты корреляции ТПО в узлах географической сетки с T_{θ} в Москве. Изменения ТПО опережают изменения T_{θ} .

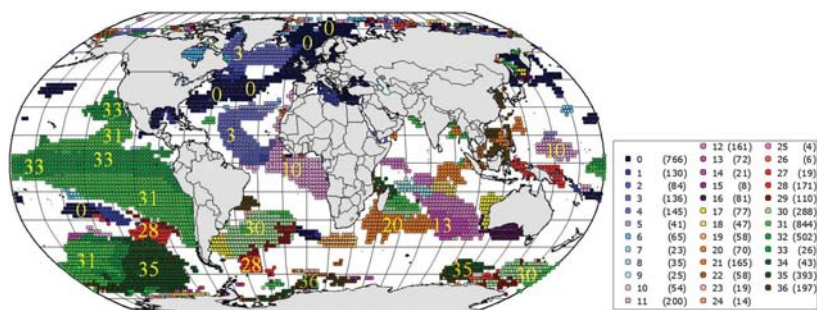


Рис. 2. Количество лет, на которые колебания ТПО в узлах географической сетки опережают колебания T_6 в Москве. В легенде указано в скобках количество узлов с соответствующим опережением.

преимущественно на 31–35 лет обнаружилась в Тихом океане на широтах $30 \div 65^\circ$ ю. ш. на траектории океанического течения Западных Ветров, а также вдоль Перуанского течения в направлении на север и далее с поворотом на запад вдоль экватора по пути Южного Пассатного течения в Тихом океане.

Столь же тесная асинхронная корреляция T_6 обнаружена с ТПО в южной Атлантике – в районах Бразильского и Южного Пассатного течений и в Индийском океане – чуть севернее течения Западных Ветров.

Во всех упомянутых океанах наилучшая асинхронная корреляция ТПО с T_6 наблюдается в связи с течением Западных Ветров. Течение Западных Ветров является самым протяжённым и самым мощным течением на Земле. Это поверхностное течение в Южном полушарии приблизительно между 40° ю. ш. и 55° ю. ш. опоясывает Антарктику с запада на восток, пересекая Атлантический, Индийский и Тихий океаны, в которых от него ответвляются холодные Бенгальское, Западно-Австралийское и Перуанское течения. Широтная зона расположения течения Западных Ветров является единственной зоной на Земле, в которой материи не преграждают путь океаническому течению при движении вокруг Земли. Эти широты известны своими непрекращающимися штормами. Относительно узкие места в океане между Антарктидой и южными

оконечностями континентов Южная Америка и Австралия и подводные поднятия дна способствуют ускорению течений, завихрениям и глубокому интенсивному перемешиванию вод океана в этих районах. Течение вызывает подъём очень холодных глубинных вод на поверхность океана, где они прогреваются, но затем они снова уходят на дно. Перемешивание приводит к усиленному теплообмену между океаном и атмосферой.

Течение западных ветров является важным элементом глобальной океанической циркуляции. Запаздывание 30 лет в распространении возмущений ТПО в пределах одного полушария допустимо, так как согласуется с оценками [8]. Но на передачу возмущений из Южного полушария в Северное потребовалось бы ещё дополнительное время. Остаётся предположить, что существует некоторый внешний фактор, который создаёт температурные возмущения в ТПО Южного полушария в области течения Западных Ветров и одновременно создаёт аналогичные возмущения в разных частях Северной Атлантики с разным запаздыванием, включая область Гольфстрима, который в конечном счете оказывает влияние на T_g в Москве.

Во второй статье автора [13] настоящего сборника показано, что возмущения ТПО в области океанических течений хорошо объясняются циклическими изменениями момента инерции движения Солнца относительно центра масс Солнечной системы. Асинхронный корреляционный анализ показал [13], что под влиянием внешнего фактора наиболее сильные возмущения ТПО возникают в районе Антарктического циркумполярного течения Западных Ветров и в восточной части Тихого океана. Но, как показано выше, возмущения ТПО, которые дают наилучшую асинхронную корреляцию с колебаниями температуры в Москве, тоже исходят из района Антарктического циркумполярного течения Западных Ветров в Тихом и Атлантическом океанах. В Южном океане возмущения происходят за 30–36 лет до появления подобных изменений T_g в Москве. За 31–33 года возмущения ТПО возникают в экваториальных широтах Тихого океана в районах пассатных течений и в примыкающих районах Перуанского и Калифорнийского течений.

В южной Атлантике на рис. 2 виден большой район с 30-летним опережением колебаний. А в экваториальной области Атлантики колебания ТПО происходят позднее с опережением колебаний T_θ в Москве только на 10 лет. Севернее экватора, повторяя изгиб Серединно-Атлантического хребта, вдоль его восточного склона тянется область до широты 30° с. ш., в которой колебания ТПО только на 3 года опережают колебания T_θ в Москве. А вдоль течения Гольфстрим и Северо-Атлантического течения вытянулась область с колебаниями, синхронными с колебаниями T_θ в Москве. Тесная синхронная связь колебаний T_θ в Европе с ТПО в Северном море объясняется близостью Северного моря к Европе и преобладающим западно-восточным переносом воздушных масс.

Места появления возмущений ТПО преимущественно совпадают с траекторией большого океанического конвейера, с локализацией его поверхностных течений. По данным о поверхностной температуре удаётся проследить только те фрагменты глобальных течений, которые проявляются на поверхности. Глубинные процессы остаются скрытыми. Общая направленность траектории перемещения возмущений температуры океана стала понятна, но непрерывного перемещения возмущений по поверхности проследить не удалось, так как поверхностная температура не даёт полной информации, а трёхмерная картина глобального конвейера океанических течений не вполне ясна.

В Индийском океане ответвление от течения Западных Ветров создают возмущения в ТПО с районами опережения колебаний Московской T_θ на 20, 13 и 7 лет. А в районе океана, прилегающем к Австралии с юга, обнаружился район с колебаниями ТПО, синхронными с колебаниями T_θ в Москве. Видимо, время распространения возмущения ТПО по двум описанным траекториям от течения Западных Ветров (в Атлантике и в Индийском океанах) совпало случайно.

Известно [3, 5, 6], что термохалинная циркуляция, приводимая в движение североатлантическими глубинными водами, является глобальным явлением, распространяющимся на Индийский и Тихий океаны. Допускается существование колебаний

климата, связанных с ослаблением и усилением термохалинной циркуляции с периодами от нескольких лет до 1 000 лет [12].

Для прогностических целей наибольший интерес представляют асинхронные связи T_g с ТПО в узле 18° в.д. 30° ю.ш. Судя по корреляциям, изменения ТПО в этом узле Южного полушария являются статистическим предвестником изменений ТПО в Северной Атлантике. С учётом выявленного ранее наилучшего сдвига было построено уравнение регрессии T_g в Москве на ТПО в упомянутом базовом узле 18° в.д. 30° ю.ш. при $L = 30$ лет. Запаздывание колебаний T_g относительно колебаний ТПО и сдвиг ряда ТПО на 30 лет вперёд позволили продлить предиктор на 30 лет до 2046 года и затем по уравнению регрессии вычислить значения tr температуры воздуха в Москве до 2046 года. Среднеквадратическая ошибка уравнения регрессии составила $0,5^\circ\text{C}$.

Тренды T_g и ТПО, исключённые на начальном этапе исследования, были возвращены в прогностические значения tr и в значения предиктора на всём интервале лет.

На рис. 3 показан многолетний ход предиктора (To – это ТПО в базовом узле со сдвигом на 30 лет) и температуры воздуха в Москве (T_g), сглаженной по 3-летиям, включая её прогностические оценки (tr) до 2046 года.

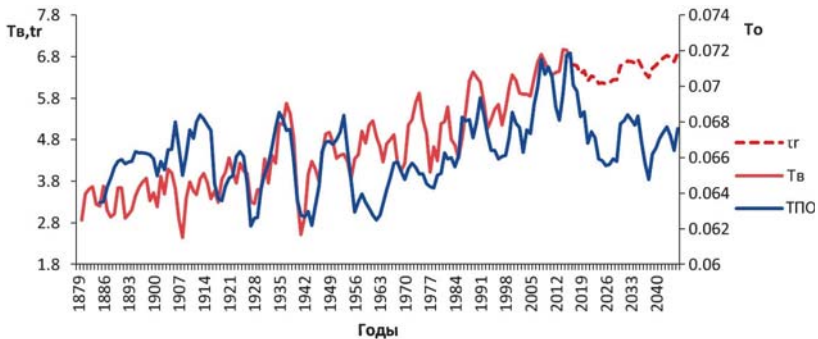


Рис. 3. Среднегодовая температура воздуха в Москве T_g по данным наблюдений за 1879–2016 годы; прогнозируемая температура в Москве tr на период до 2046 года, вычисленная по уравнению регрессии; предиктор – ТПО в выбранном узле географической сетки океана со сдвигом на 30 лет

Из рисунка видно, что в предстоящие три десятилетия в значениях предиктора ожидается понижение, но T_e в предстоящие годы удержится на современном уровне за счёт добавления трендовой составляющей. Если установленные статистические зависимости сохранятся, то можно ожидать, что в ближайшие десятилетия произойдёт стабилизация климата в Центральном регионе России. Асинхронные корреляции показывают, что продолжения потепления в этом регионе не ожидается.

Обсуждение результатов

Циркуляция вод Мирового океана – единая взаимосвязанная система непрерывного движения, включающая волнение, приливы и отливы, морские течения, сгонно-нагонные явления, вертикальные движения вод. Благодаря циркуляции вод Мирового океана, происходит постоянный обмен и перемешивание вод океанов. Вопрос о причинах течений принадлежит к неразработанным вопросам океанографии. При отсутствии общей теории существуют отдельные объяснения нескольких факторов.

Одним из факторов океанических течений являются приливы и отливы. Однако силы приливов не достаточно для обеспечения существующих скоростей экваториальных течений.

Второй силой, способствующей возникновению течений вод в океане, являются ветры. Ветры в атмосфере (Пассаты) признаются главной причиной экваториальных течений. Известно, что направление главнейших морских течений совпадает с направлением главных воздушных течений. А отклонения – это влияние берегов и силы Кориолиса.

Третьим фактором океанических течений является разность плотностей воды. Различие в плотности происходит от разности температур и разности солёности. Солёная и тёплая вода удерживается на поверхности океана силой Архимеда. Поверхностные слои воды, перемещающиеся от экватора в сторону полюсов, имеют избыток солёности. Охлаждаясь в средних и высоких широтах в период зимних холодов, такая вода увеличивает свою плотность. В результате, солёные воды погружаются на большие

глубины. Процесс образования глубинных вод происходит как в северной части Атлантики, так и у берегов Антарктики [5,6].

Осцилляции глобального масштаба возможны благодаря существованию обратных связей в системе океан–атмосфера–континентальные льды. Например, когда в субтропиках испаряется значительное количество воды с поверхности океана, солёность оставшейся океанической воды возрастает. Эта вода с повышенной солёностью переносится в приполярные области, охлаждается и опускается на глубины. А влага, испарившаяся с поверхности океана в субтропиках, через атмосферную циркуляцию тоже попадает в приполярные области в виде осадков. Выпавшие осадки опресняют океанические воды и тем самым замедляют производство глубинных вод [12]. В зависимости от того, какой из процессов сильнее, перенос солёных вод или процесс их распреснения осадками, возможно существование двух климатических режимов. Одному режиму соответствует усиленная термохалинная циркуляция, которая может направлять в Северную Атлантику тёплые воды даже из Южного полушария. Другой «прохладный» режим реализуется в условиях, когда избыток пресной воды в приполярных областях блокирует производство глубинных вод и «выключает» термохалинную циркуляцию.

Итак, первоначально асинхронные возмущения ТПО возникают на траекториях основных океанических течений и затем переносятся на континент. Запаздывание возмущений температуры в Москве различно относительно возмущений ТПО в разных частях Мирового океана и статистически может составлять 30 лет (относительно узлов на траектории самого мощного циркумполярного океанического течения Западных Ветров).

Остаётся не ясно, каков механизм появления высоких корреляций T_6 с возмущениями ТПО в Южном океане на траектории циркумполярного течения Западных Ветров.

Заключение

Исследования показали, что долгопериодные колебания T_6 в Центральном регионе России являются следствием глобальных изменений в климатической системе, первоначальное проявление

которых находится в Южном океане на траектории течения Западных Ветров.

Возмущения на границе океан–атмосфера в результате асинхронных атмосферно-океанических связей и общей циркуляции океана и атмосферы через неустановленный механизм распространяются в другие регионы Земли и достигают Москвы через 30 лет. Выявленная задержка в возмущениях T_e позволила построить асинхронное уравнение регрессии с возможностью вычисления долгопериодных прогностических колебаний температуры в Москве на предстоящие десятилетия.

В ближайшие десятилетия произойдет стабилизация климата в Центральном регионе России. Продолжения потепления климата в этом регионе не ожидается.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, проекты 18-05-00721 и 18-45-160006.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. IPCC, 2013: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535 p.
2. Котляков В.М. О причинах и следствиях современных изменений климата // Солнечно-Земная физика. Вып. 21. 2012. С. 110–114.
3. Broecker W.S. The great ocean conveyor // Oceanography. 1991. 4(2). P. 79–89.
4. Максимов И.В., Саруханян Э.И., Смирнов Н.П. Океан и космос. Л.: Гидрометеиздат, 1970. 214 с.
5. Лаппо С.С. К вопросу о причинах адвекции тепла на север через экватор в Атлантическом океане // Исслед. процессов взаимодействия океана и атмосферы. М., 1984. С. 125–129.
6. Лаппо С.С., Добролюбов С.А., Лозовацкий И.Д., Морозов Е.Г., Соков А.В., Шаповалов С.М. Трансформация вод антарктического происхождения и меридиональный перенос в Атлантике к северу от экватора по данным квазизонального разреза 2000 г. // Фундаментальные исследования океанов и морей. Т. 1. М.: Наука, 2006. С. 15–32.

7. *Lozier M. S.* Deconstructing the Conveyor Belt // *Science*. 2010. Vol. 328. P. 1507–1511.
8. *Wyatt M. G., Kravtsov S., Tsonis A. A.* Atlantic Multidecadal Oscillation and Northern Hemisphere's climate variability // *Climate Dynamics*. March 2012. Vol. 38. Is. 5–6. P. 929–949.
9. The Extended Reconstructed Sea Surface Temperature (ERSST) dataset is a global monthly sea surface temperature analysis derived from the International Comprehensive Ocean–Atmosphere Dataset. <https://www.ncdc.noaa.gov/data-access/marineocean-data/extended-reconstructed-sea-surface-temperature-ersst-v3b>.
10. *Smith T. M., Reynolds R. W., Peterson T. C., Lawrimore J.* Improvements NOAAs Historical Merged Land–Ocean Temp Analysis (1880–2006) // *J. of Climate*, 21. 2008. P. 2283–2296.
11. *Xue Y., Smith T. M., Reynolds R. W.* Interdecadal Changes of 30-Yr SST Normals during 1871–2000 // *Journal of Climate*, 16. 2003. P. 1601–1612.
12. *Birchfield G. E., Wang H. X., Rich J. J.* Century/millennium internal climate oscillations in an ocean–atmosphere–continental ice sheet model // *J. of Geophysical Res.* Vol. 99, Is. C6. 1994. P. 12459–12470. <https://doi.org/10.1029/94JC00523>.
13. *Шерстюков Б. Г.* Момент инерции движения Солнца относительно центра масс Солнечной системы и долгопериодные колебания температуры поверхности океана. (См. настоящий сборник).

УДК 551.583.1

МОМЕНТ ИНЕРЦИИ ДВИЖЕНИЯ СОЛНЦА ОТНОСИТЕЛЬНО ЦЕНТРА МАСС СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЫ И ДОЛГОПЕРИОДНЫЕ КОЛЕБАНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ПОВЕРХНОСТИ ОКЕАНА

Б. Г. Шерстюков

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

При изучении причин колебаний климата неоднократно ставился вопрос о влиянии планет на состояние климата Земли [1–7]. Во всех работах отмечался циклический характер влияния. В [1] рассматривалось вращение Солнца вокруг общего центра масс Солнечной системы, смещённого относительно центра Солнца. При этом предполагалось, что при появлении диссимметрии положение земной орбиты остается неизменным в космическом пространстве, но из-за смещения Солнца происходит изменение расстояния Солнце–Земля. Следствием предполагаемого смещения Солнца внутри орбиты Земли считалось изменение длительности сезонов и перераспределение солнечной радиации внутри года, которые приводили к изменению среднегодовой температуры. Позднее в [8] было показано, что изменения инсоляции при диссимметрии солнечной системы не могут повлиять на климат, но что воздействие на Землю не ограничивается переменной инсоляцией.

В [9] при анализе внутривековых климатических изменений ледовитости Евразийских арктических морей и некоторых других показателей климата Земли была обнаружена 60-летняя цикличность, которая опять объяснялась колебаниями притока солнечной радиации, вызванными изменениями расстояния между Землёй и Солнцем при диссимметрии Солнечной системы, возникающей при движении трёх тел: Солнца, Юпитера и Сатурна.

Аналогично в [10] вековые изменения атмосферной циркуляции Северного и Южного полушарий связывались с вековым циклом диссимметрии Солнечной системы и утверждалось, что эта связь реализуется через изменения расстояния Солнце–Земля под влиянием Урана.

В настоящей работе предлагается для обсуждения динамический механизм зависимости климатических характеристик от движения планет Солнечной системы, не связанный с изменением расстояния Солнце–Земля и с изменением притока солнечной радиации к Земле.

Суть предполагаемого механизма заключается в изменениях циркуляции вод Мирового океана и генерации дополнительных потоков тепла из океана в атмосферу при появлении момента вращения системы Солнце–Земля относительно центра масс Солнечной системы.

Если центром орбитального вращения Земли является центр Солнца, тогда гелиоцентрическая система координат является инерциальной для Земли, однако существует диссимметрия Солнечной системы, и поэтому такая система является неинерциальной. В неинерциальной системе остаются неучтёнными некоторые составляющие в движении Земли, связанные с перемещениями самого Солнца в космическом пространстве и перемещением всей орбиты Земли вместе с Солнцем. В работе сделана попытка обнаружить воздействие неучтённых движений Земли и возникающих при этом неучтённых сил, регулирующих циркуляцию океана, теплообмен океан–атмосфера и межширотный теплообмен.

Исходные данные и методы анализа

В работе использовались данные о температуре поверхности океана (ТПО) ERSST v3b в узлах географической сетки $2 \times 2^\circ$ широты и долготы за 1854–2016 гг. [11–13].

Массив данных ERSST v3b представляет собой восстановленные ряды месячных аномалий ТПО относительно норм за 1971–2000 годы. Восстановление пропущенных данных статистическими методами выполнено авторами массива. В отличие от версии ERSST v3, новая версия ERSST v3b не включает

спутниковые данные, которые, как было установлено, вызывают слишком сильное смещение. Данные ТПО в узлах севернее 80° с. ш. и все данные до 1960 года получены были авторами массива по фрагментарным сведениям. Мы их сочли ненадёжными и поэтому не использовали в своей работе. В анализе участвовали среднегодовые значения ТПО за 1960–2016 годы.

В первом приближении Солнечная система состоит из планет, которые движутся по слабозмущённым эллипсам вокруг Солнца. Принято считать, что система координат, центр которой совмещён с Солнцем, а оси направлены на соответствующим образом выбранные звёзды, является инерциальной. Такую систему называют гелиоцентрической. Инерциальной является система, которая неподвижна или совершает прямолинейное равномерное движение.

Но на самом деле планеты движутся не вокруг центра Солнца, а каждая пара Солнце–планета движется вокруг их общего центра масс. В связи с этим гелиоцентрическая система является неинерциальной и в ней не выполняются законы Ньютона. Вычисления в такой системе, связанные с движением тел, необходимо проводить с учётом движения самого Солнца.

Правильнее считать инерциальной систему с началом координат в центре масс Солнечной системы, если не учитывать движение всей Солнечной системы в Галактике. В выбранной системе координат центр Солнца перемещается в пространстве по некоторой траектории под воздействием орбитального вращения планет-гигантов вокруг их центра масс вместе с Солнцем. А вращение планет земной группы с их малой массой не может заметно повлиять на центр масс всей системы, поэтому их движение по орбите можно считать движением вокруг центра Солнца. Последнее означает, что вызванное планетами-гигантами движение центра Солнца по некоторой траектории в пространстве вокруг центра масс Солнечной системы увлекает за собой Землю так, что вся орбита Земли, как единое целое, перемещается в космосе вокруг центра масс Солнечной системы. Траектория такого движения петлеобразная, скорость движения неравномерная. Центр Солнца может смещаться относительно центра масс Солнечной системы на величину, превышающую два радиуса Солнца.

Количественной оценкой появления неучтённых сил при таком дополнительном движении Солнца может служить суммарный момент инерции орбитального вращения планет-гигантов вокруг оси, проходящей через центр масс Солнечной системы.

Момент инерции J орбитального вращения планет i массой m_i , находящихся на расстоянии r_i от оси вращения:

$$J = \sum_{i=1}^n m_i r_i^2,$$

где m – масса планеты; r – векторное геоцентрическое расстояние до планеты с учётом её гелиоцентрической долготы, характеризующей в каждый момент направление вектора момента инерции. Момент инерции каждой i -той планеты – векторная величина.

$j_i = \{x_i; y_i\}$, где x_i и y_i – составляющие момента инерции на плоскости.

Суммарный момент инерции вращения планет:

$$J = \left\{ \sum_{i=1}^n x_i; \sum_{i=1}^n y_i \right\}, \quad n - \text{число планет.}$$

Составляющие вектора момента инерции вращения каждой планеты:

$$x_i = -m_i r_i^2 \sin\left(\frac{\pi}{180} d_i\right), \quad y_i = -m_i r_i^2 \cos\left(\frac{\pi}{180} d_i\right), \quad (1)$$

где m_i – масса планеты; r_i – расстояние от Солнца до планеты; d_i – гелиоцентрическая долгота планеты, она определяет направление действия момента инерции.

Суммарные составляющие вектора момента вращения планет-гигантов за год:

$$X = \sum_{k=1}^{365} \sum_{i=1}^n x_i, \quad Y = \sum_{k=1}^{365} \sum_{i=1}^n y_i, \quad (2)$$

где k – перебирает номера суток внутри года от 1 до 365.

Скалярная величина суммарного за год момента вращения планет-гигантов:

$$J = \sqrt{X^2 + Y^2}, \quad (3)$$

Погодичные ежесуточные значения о гелиоцентрических долготах планет и о расстояниях от Солнца до планет получены из Института прикладной астрономии Российской академии наук. Расстояния до планет были выражены в астрономических единицах, а массы планет – в долях массы Земли. Суммарные скалярные значения момента вращения больших планет (Юпитер, Сатурн, Уран, Нептун) вычислены по формулам (1)–(3) за 1700–2050 годы.

Результаты анализа

Для сравнения величин, составляющих суммарный момент инерции, в табл. 1 приведены средние значения вклада каждой планеты в суммарный момент Солнечной системы, выраженный в процентах от вклада Юпитера.

Таблица 1

Вклад каждой планеты в суммарный момент Солнечной системы относительно центра масс, выраженный в процентах от вклада Юпитера

Планета	Меркурий	Венера	Земля	Марс	Юпитер	Сатурн	Уран	Нептун
Вклад (%)	0,00001	0,00099	0,00021	0,00157	100,0	100,1	63,1	198,8

Из табл. 1 видно, что планеты земной группы практически не влияют на момент инерции вращения Солнечной системы, а четыре другие планеты дают вклады, сопоставимые между собой. Это означает, что планеты Юпитер, Сатурн, Уран и Нептун при движениях по своим орбитам придают Солнцу движение по некоторой траектории в космическом пространстве. Каждая отдельная планета придаёт движение, при котором центр Солнца смещается относительно общего центра масс на величину меньше радиуса Солнца, но сочетание нескольких планет в одном секторе гелиоцентрических долгот может привести к смещению Солнца на величину больше двух радиусов Солнца.

На рис. 1 приведены по годам вычисленные значения суммарного момента вращения больших планет относительно центра масс Солнечной системы.

На рисунке видны повторяющиеся циклы момента вращения длительностью около 12–13 и 37–39 лет. Наличие минимумов

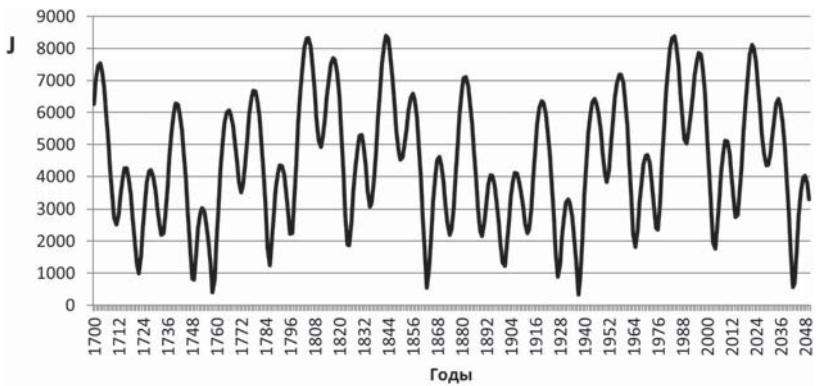


Рис. 1. Суммарный момент вращения больших планет относительно центра масс Солнечной системы

значений суммарного момента в 1758 и 1937 годах с интервалом 179 лет можно связать с известным циклом повторения парада планет. Колебания момента вращения во все последующие годы после минимума 1937 года точно повторяют колебания, которые были с 1758 по 1936 год.

Смещение центра вращения Солнечной системы относительно центра Солнца сопровождается смещением всей орбиты планеты Земля вслед за центральным телом её орбитального движения за Солнцем. Земля вовлекается в дополнительное движение в космосе вместе с Солнцем. При этом в гидросфере и атмосфере Земли появляются моменты инерции, пропорциональные массам гидросферы и атмосферы. Так как масса гидросферы почти в 300 раз больше массы атмосферы, то влияние неучтённых ранее сил следует ожидать прежде всего в изменениях циркуляции океана. Механизм воздействия момента инерции на состояние океана описывать не будем в рамках одной статьи. Сначала попытаемся обнаружить его проявление в изменениях ТПО по данным наблюдений.

За многолетнюю историю в среднегодовых значениях ТПО можно обнаружить составляющие колебаний климата с разными периодами от нескольких лет до нескольких десятилетий, которые накладываются на медленный тренд потепления. Исключим

линейный тренд потепления, вычисленный по всему ряду. Полученные отклонения от тренда содержат многолетние колебания, которые предстоит исследовать.

Аналогичную обработку проделаем с рядом среднегодового момента инерции вращения Солнечной системы. Будем искать район в Мировом океане с максимальным асинхронным коэффициентом корреляции между ТПО в узле географической сетки и J .

Существует глобальная система океанической циркуляции, которая перераспределяет тепло по всему миру. Теория большого океанического конвейера утверждает, что региональные океанические течения объединены в одну общую систему [14]. Двигателем конвейера является термохалинная циркуляция. Большой конвейер океанических течений медленно переносит тепло и влагу из одних регионов и слоёв океана в другие по сложным, не совсем понятным траекториям. Выход аномалий на поверхность океана в разных его частях возможен с запаздыванием в несколько лет или десятилетий. Допускается существование колебаний климата, связанных с ослаблением и усилением термохалинной циркуляции с периодами от нескольких лет до порядка 1 000 лет [15–17]. Термохалинная циркуляция является глобальным явлением, распространяющимся на Атлантический, Индийский и Тихий океаны. В [18] на основе анализа климатических циклов высказано предположение о том, что изменение в глобальном теплообмене Мирового океана через большой конвейер представляет собой первичное физическое явление, непосредственно реагирующее на вариации астрономических параметров. Анализируя асинхронную ковариационную структуру климатических индексов, в [11] описывается распространение сигнала изменения температуры по всему Северному полушарию через последовательность многократных превращений асинхронных атмосферно-океанических дальних связей. По оценкам тех же авторов, первоначальный сигнал изменения температуры в Северной Атлантике, распространяясь, достигает удалённых регионов полушария примерно 30 лет спустя.

Аналогичная оценка запаздывания реакции атмосферы на внешнее воздействие получена совершенно иным способом в [18]. Отклик состояния атмосферы на внешнее воздействие

происходит с запаздыванием, которое определяется необходимым временем релаксации, свойственным всей климатической системе. В [18] оценивалось время релаксации атмосферы на изменение концентрации CO_2 в атмосфере. По мнению автора, оптимальные значения такого времени релаксации оказались 25,1–27,5 лет [18]. Время релаксации является некоторой общей характеристикой инерционных свойств климатической системы. Приведённые оценки должны быть справедливыми для любых внешних воздействий на климатическую систему.

Учитывая возможное запаздывание распространения возмущений ТПО, о котором было сказано выше и величина которого заведомо не известна для каждого узла, будем исследовать асинхронные корреляции ТПО с J со сдвигами от 0 до 39 лет (изменения ТПО отстают от изменения J). В расчётах асинхронных коэффициентов корреляции при сдвигах ряда J не изменяется количество парных членов рядов, по которым вычисляется корреляция, так как сдвигаемый ряд J вычислен с середины XVII века.

В каждом исследуемом узле из серии асинхронных коэффициентов корреляции ТПО с J выделялся максимальный коэффициент корреляции R и фиксировалась величина L запаздывания колебаний ТПО в узле относительно колебаний J . Значимыми принимались коэффициенты корреляции $R \geq 0,5$ (вероятность случайности менее 1 %). Узлы с $R < 0,5$ исключались из дальнейшего анализа. На карту рис. 1 в каждый соответствующий географический узел наносилась величина R и величина L . После обработки всех узлов была построена карта, на которой показаны поля значимых корреляций R , а цифрами – величины запаздывания L в узлах сетки.

На рис. 2 показаны поля корреляции ТПО с J и время (годы) запаздывания реакции океана на изменения J .

Анализ карты рис. 2 показывает, что после изменений J появляются подобные изменения ТПО во всех океанах с наилучшей корреляцией в районах, приуроченных к океаническим течениям. На рис. 3 показаны траектории основных океанических течений Тихого океана на фоне поля асинхронных коэффициентов корреляции ТПО с J .

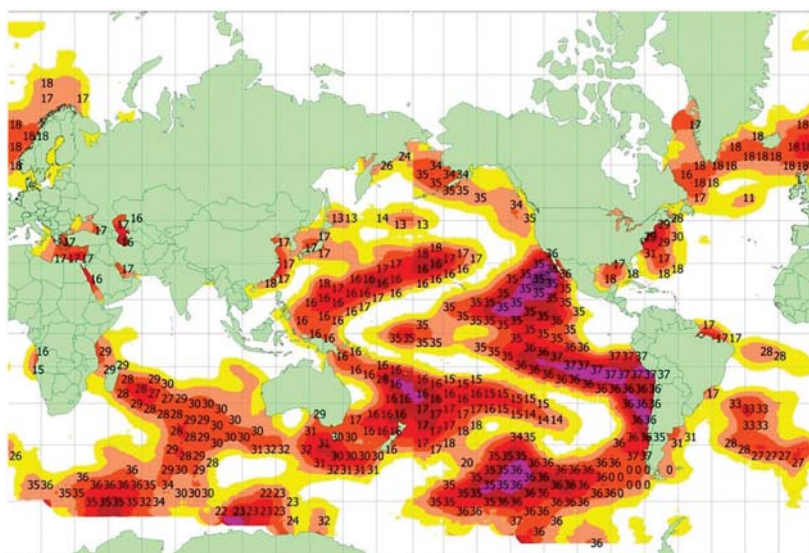


Рис. 2. Поля наилучших асинхронных коэффициентов корреляции ТПО с J и время (годы) запаздывания реакции поверхности океана на изменения J в узлах со значимой корреляцией

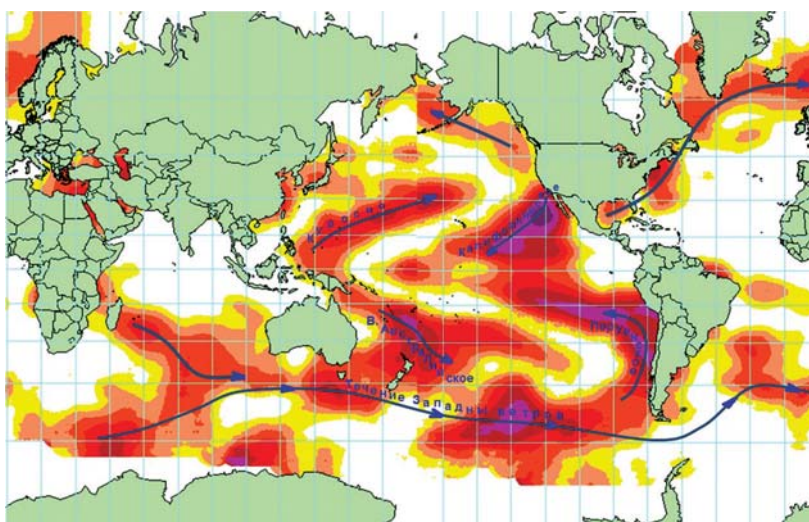


Рис. 3. Океанические течения на фоне асинхронных коэффициентов корреляции ТПО с J

Наилучшие корреляции $R > 0,8$ между ТПО и J обнаружены (рис. 2 и 3) в Тихом океане. Возмущения ТПО в Тихом океане сначала появляются в западной его части вблизи островов Океании с запаздыванием 16–18 лет в зоне 15–30° ю.ш. и в зоне 15–30° с.ш.

В Южной указанной зоне возмущения ТПО с запаздыванием 16–17 лет с наиболее высокими коэффициентами корреляции видны на рис. 3 в области Восточно-Австралийского течения и далее район подобных возмущений простирается на восток до Восточно-Тихоокеанского поднятия дна Тихого океана.

В это же время на аналогичных широтах в Северном полушарии тоже с запаздыванием 16–17 лет возмущения ТПО возникают в районе Филиппинского моря, течения Куроисио и Курильского течения. В других районах Тихого океана возмущения ТПО, связанные с J , возникают позднее.

С запаздыванием 35–37 лет возмущения ТПО появляются в Южном полушарии вдоль Перуанского течения, переходящего в Южное Пассатное течение, и в Северном полушарии вдоль Калифорнийского течения, переходящего в Северное пассатное течение. Эти области высоких корреляций ТПО с J на карте рис. 3 создают подобие крыльев бабочки с серединой на экваторе. Запаздывание в этих районах составляет 35–37 лет, коэффициенты корреляции – 0,65–0,85.

На юге Тихого океана ещё одна зона высоких корреляций в области течения Западных Ветров там, где это течение пересекает Восточно-Тихоокеанское поднятие дна океана. Запаздывание здесь составляет 35–37 лет.

На самых высоких северных широтах Тихого океана в области Аляскинского течения тоже обнаружены значимые коэффициенты корреляции $R = 0,60–0,64$ между J и ТПО с запаздыванием 34–35 лет.

В других океанах, судя по рис. 2 и 3, тоже происходят аналогичные процессы.

В Северной Атлантике значимая корреляция ТПО с J появляется с запаздыванием 17–18 лет на протяжённой территории от Мексиканского залива, вдоль Гольфстрима, Лабрадорского,

Северо-Атлантического и Норвежского течений до Северного Ледовитого океана. Коэффициенты корреляции – 0,60–0,65.

В Южной Атлантике – в районе Южно-Атлантического течения коэффициенты корреляции 0,65–0,69 при запаздывании 27–33 года.

В Индийском океане – вдоль Южно-Индийского течения корреляция $R = 0,60–0,69$ при запаздывании 28–30 лет.

Если рассматривать вместе весь Южный океан, то несколько разрозненных очагов высокой корреляции на юге Тихого, Атлантического и Индийских океанов можно объединить в одно кольцо значимых корреляций вдоль течения Западных Ветров вокруг Антарктиды. Запаздывание преимущественно 28–36 лет.

В перечисленных районах Мирового океана в областях важнейших океанических течений вклад изменений момента инерции вращения Солнечной системы в изменения среднегодовой поверхностной температуры океана составляет от 40 до 70 % от общей изменчивости ТПО в этих районах.

В качестве наглядного примера высокой корреляций колебаний ТПО с колебаниями J на рис. 4 приводятся графики изменения среднегодовой ТПО в области Калифорнийского течения по наблюдениям в узле с координатами 118° з. д. 24° с. ш.

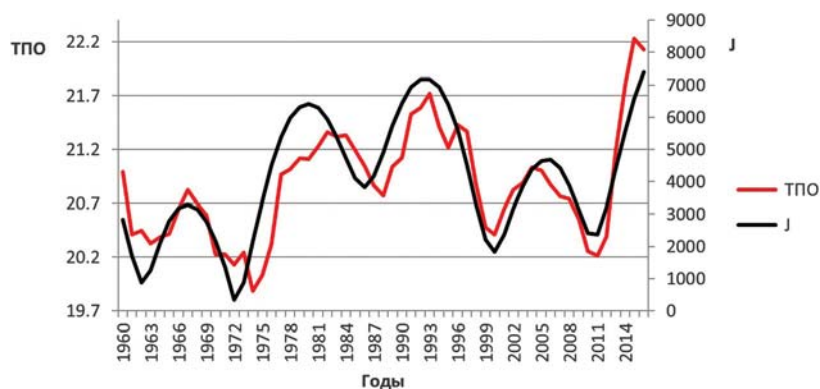


Рис. 4. Температура поверхности океана в области Калифорнийского течения по наблюдениям, сглаженная по трёхлетиям (ТПО), и момент инерции вращения Солнца относительно центра масс Солнечной системы со сдвигом на 35 лет

(сглажено по трёхлетиям) и момента инерции вращения Солнца (J) относительно центра масс Солнечной системы со сдвигом на 35 лет (изменения ТПО запаздывают). Коэффициент корреляции между ними $R = 0,84$.

Обсуждение результатов

Тесная корреляция между ТПО и J подтверждает предположение о возможном влиянии на циркуляцию вод Мирового океана и на ТПО неучтённых ранее сил, возникающих при изменении момента инерции вращения Солнца относительно центра масс Солнечной системы. Возникающее дополнительное изменение момента инерции в движении Земли создает в океане неучтённые в неинерциальной системе координат силы, которые изменяют динамику горизонтальных и вертикальных течений в большом океаническом конвейере.

Из обнаруженных особенностей корреляций и запаздывания очевидной является важная роль влияния рельефа дна океана и океанических течений в реализации дополнительных сил, влияющих на динамические процессы в океане. По данным о ТПО можно судить только о поверхностных фрагментарных проявлениях глубинных процессов в океане, которые могут активизироваться при изменении момента инерции вращения Солнца относительно центра масс Солнечной системы. Возникающие при этом силы являются массовыми и воздействуют на все слои океана одновременно, но на поверхности результат этого воздействия в изменении температуры проявляется с большим запаздыванием. Огромные размеры Тихого океана более отчётливо позволяют увидеть проявление дополнительного внешнего воздействия на океанические течения.

Итак, оказалось, что неравномерное криволинейное движение Солнца вокруг общего центра масс Солнечной системы создаёт дополнительные возмущения в движении океанических масс. По своей природе эти возмущения должны охватывать все слои океана, но, накладываясь на существующую систему глобальной океанической циркуляции, наиболее существенные изменения в океане, видимо, происходят сначала на больших

глубинах, а затем с запаздыванием на 15–16 лет выносятся на поверхность течениями в западных частях океанов в низких широтах Северного и Южного полушарий. Глубинные процессы происходят незаметно, но с запаздыванием 35–37 лет возмущения ТПО, связанные с движением Солнца вокруг общего центра масс Солнечной системы, появляются в восточных частях океанов опять в местах основных океанических течений, образуя таким образом кольцевую систему циркуляции в северной половине Тихого океана и аналогичную систему в южной половине океана. Одни фрагменты этой циркуляции видны на поверхности океана, а другие скрыты в глубинах океана.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, проекты 18-05-00721 и 18-45-160006.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Коваленко В.Д., Кизим Л.Д., Пашестюк А.М., Николаев В.Г. Исследование причин изменчивости климата // Агроклиматические ресурсы Сибири. Сб. трудов ВАСХНИЛ. Новосибирск: Сиб. отделение, 1987. С. 103–113.
2. Байдал М.Х. О временной сопряженности некоторых климатических характеристик с внешними факторами // Труды ВНИИГМИ МЦД. 1987. Вып. 141. С. 23–28.
3. Завалишин Н.Н., Виноградова Г.М. О связи аномалий месячных температур воздуха с циклом Хейла и динамикой расстояния Солнце–Земля // Труды СибНИГМИ. 1990. Вып. 93. С. 25–32.
4. Белязо В.А. Планетные циклы в колебаниях атмосферной циркуляции и их проявление в некоторых процессах Арктики // Труды ААНИИ. 1999. Т. 441. С. 46–51.
5. Дмитриев А.А., Белязо В.А. Космос, планетарная климатическая изменчивость и атмосфера полярных регионов. СПб.: Гидрометеоздат, 2006. 360 с.
6. Монин А.С. Влияние планет на климат Земли. М.: Научный мир. МГУ, 2000. С. 122–128.
7. Котляков В.М. О причинах и следствиях современных изменений климата // Солнечно-земная физика. 2012. Вып. 21. С. 110–114.
8. Богданов М.Б., Сурков А.Н. О возможности влияния движения Солнца относительно центра масс Солнечной системы на изменение климата // Известия Саратовского университета. 2004. Т. 4, вып. 1–2. С. 146–148.

9. Гудкович З.М., Карклин В.П., Фролов И.Е. Внутривековые изменения климата, площади ледяного покрова евразийских арктических морей и их возможные причины // Метеорология и гидрология. 2005. № 6. С. 5–14.
10. Дмитриев А.А., Белязо В.А. Ритмика атмосферной циркуляции приполярных районов Атлантического океана и их космико-геофизическая обусловленность // Учёные записки Российского государственного гидрометеорологического университета. 2011. № 19. С. 86–100.
11. Smith T.M., Reynolds R.W., Peterson T.C., Lawrimore J. Improvements NOAA's Historical Merged Land–Ocean Temp Analysis (1880–2006) // J. of Climate. 2008. Vol. 21. P. 2283–2296.
12. The Extended Reconstructed Sea Surface Temperature (ERSST) dataset is a global monthly sea surface temperature analysis derived from the International Comprehensive Ocean–Atmosphere Dataset. <https://www.ncdc.noaa.gov/data-access/marineocean-data/extended-reconstructed-sea-surface-temperature-ersst-v3b>.
13. Xue Y., Smith T.M., Reynolds R.W. Interdecadal Changes of 30-Yr SST Normals during 1871–2000 // J. of Climate. 2003. Vol. 16. P. 1601–1612.
14. Broecker W.S. The great ocean conveyor // Oceanography. 1991. Vol. 4(2). P. 79–89.
15. Birchfield G.E., Wang H.X., Rich J.J. Century/millennium internal climate oscillations in an ocean–atmosphere–continental ice sheet model // J. of Geophysical Res. 1994. Vol. 99, Issue C6. P. 12459–12470. <https://doi.org/10.1029/94JC00523>.
16. Ланно С.С. К вопросу о причинах адвекции тепла на север через экватор в Атлантическом океане // Исследование процессов взаимодействия океана и атмосферы. М., 1984. С. 125–129.
17. Ланно С.С., Добролюбов С.А., Лозовацкий И.Д., Морозов Е.Г., Соков А.В., Шаповалов С.М. Трансформация вод антарктического происхождения и меридиональный перенос в Атлантике к северу от экватора по данным квазизонального разреза 2000 года // Фундаментальные исследования океанов и морей. Т. 1. М.: Наука, 2006. С. 15–32.
18. Бялко А.В. Релаксационная теория климата // Успехи физических наук. 2012. Т. 182, № 1. С. 111–116.

УДК 551.465.7

ЭКСТРЕМАЛЬНЫЕ ВНЕТРОПИЧЕСКИЕ ЦИКЛОНЫ СЕВЕРНОЙ АТЛАНТИКИ И КРУПНОМАСШТАБНАЯ ЦИРКУЛЯЦИЯ В ВЕРХНЕЙ ТРОПОСФЕРЕ

Н. А. Вязилова¹, А. Е. Вязилов²

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

² ФГБУ «НПО «Тайфун», vyazilov@typhoon.obninsk.ru

Введение

Результаты исследований циклонической активности, проведённых различными авторами с использованием различных данных и методик, показывают усиление экстремальности циклонической деятельности в различных районах Северной Атлантики и Европы. Для понимания причин и механизмов этого усиления необходимо изучение различных факторов, способствующих возникновению и развитию внетропических циклонов. Анализ структуры развития циклонов показывает ключевую роль пространственного градиента температуры поверхности океана (ТПО) в развитии циклона на его начальной стадии и значительную роль динамики атмосферы в течение дальнейшего его развития. Согласно выводам авторов работы [1], большинство циклонов, выходящих на территорию Европы, зарождаются в восточной Атлантике, где бароклинность атмосферы и градиенты ТПО более слабые по сравнению с западной Атлантикой, однако при движении над акваторией океана значительная часть циклонов углубляется, прежде чем выйти на территорию Европы [2, 3]. Примеры анализа отдельных глубоких циклонов и штормов показывают [4], что развитие экстремально глубоких внетропических циклонов в восточной Атлантике происходит над акваторией океана в условиях преобладающего динамического форсирования с верхних слоёв тропосферы, интенсивность которого в значительной степени обусловлено положением и интенсивностью струйного течения в верхних слоях

тропосферы [1–3]. Важнейшим индикатором развития и углубления циклона является также интенсивная дивергенция скорости ветра на верхнем уровне тропосферы [5].

В целях изучения динамических факторов, оказывающих влияние на развитие циклонической активности, в настоящей работе представлены результаты исследования взаимосвязи между параметрами циклонической активности в отдельных районах Северной Атлантики и характеристиками крупномасштабной циркуляции в верхних слоях тропосферы в зимнюю половину года за период исследования с 1949 по 2012 год. Исследование основано на анализе временной изменчивости количества и интенсивности циклонов, с одной стороны, и зональной скорости ветра и дивергенции ветра на уровне струйного течения – с другой. Основное внимание в работе уделено влиянию крупномасштабной циркуляции в верхней тропосфере на активность глубоких циклонов, то есть циклонов с атмосферным давлением в центре от 970 гПа и менее.

1. Данные и методика анализа

Для исследования были использованы 6-часовые данные приземного давления, а также среднемесячные данные зональной составляющей скорости ветра и дивергенции скорости ветра на поверхности 200 гПа, данные в узлах сетки $2,5 \times 2,5^\circ$ архива Национального метеорологического центра США (реанализа NCAR/NCEP) за период с 1949 по 2012 год. [6]. По данным давления на уровне моря были рассчитаны характеристики циклонической активности в регионе исследования на основе метода автоматической идентификации центров циклонов и алгоритма расчёта траекторий циклонов, опубликованных в работе [7]. Основные параметры циклонической активности в данной работе – это повторяемость и интенсивность циклонов, рассчитываемые соответственно как количество циклонов и сумма аномалий давления в циклонах относительно климатических значений в узлах сетки в календарный месяц. Анализ межгодовой изменчивости циклонической активности в выбранных районах проведён на основе региональных интегральных характеристик, интегрального количества циклонов и индекса циклонической активности,

представляющих соответственно количество циклонов и сумму аномалий давления в этих циклонах в выбранном районе за определённый временной период (месяц, сезон). Интегральные характеристики рассчитаны как для всей группы циклонов, так и отдельно для умеренных и глубоких циклонов, то есть циклонов с давлением в центре соответственно выше и ниже 970 гПа. Исследование проведено для районов, выделяющихся максимальной циклонической активностью в зимний период года в Северной Атлантике и Европе [8]. Это – район Исландского минимума с координатами 55° с.ш.– 65° с.ш., 40° з.д.– 10° з.д. и район Балтийского моря с координатами 52° с.ш.– 68° с.ш., 7° в.д.– 31° в.д.

В качестве характеристик крупномасштабной циркуляции в верхних слоях тропосферы в данной работе используются среднемесячные значения зональной скорости ветра и дивергенции скорости ветра на поверхности 200 гПа. Следует отметить, что скорость ветра на поверхности 200 гПа часто используется в качестве характеристики струйного течения в верхней тропосфере, а дивергенция скорости ветра характеризует сходимости и расходимости потоков. Положительные значения дивергенции в верхней тропосфере являются индикатором оттока массы воздуха из столба тропосферы, развития восходящих движений в средних слоях тропосферы, интенсивность которых взаимосвязана с интенсивностью циклона [4]. Исследование взаимосвязи между изменчивостью характеристик циклонической активности и крупномасштабной циркуляции в верхней тропосфере проведено на основе метода регрессионного анализа.

2. Результаты исследования

Оценка временной изменчивости циклонической активности в выбранных районах Северной Атлантики в зимние месяцы показывает, что как в районе Исландского минимума, так и в районе Балтийского моря в течение периода исследования наблюдается не просто увеличение количества экстремально глубоких циклонов, то есть циклонов с атмосферным давлением в центре от 970 гПа и менее, а тенденция к повышению доли глубоких циклонов в общем количестве циклонов, увеличение

вклада экстремально глубоких циклонов в величину интегральной интенсивности (рис. 1а). Если в первую половину периода наблюдений вклад умеренных и экстремальных циклонов в общую сумму аномалий давления был практически равным, то с конца 1980-х годов вклад экстремальных циклонов в общую интегральную интенсивность вырос до 70–80 %.

Экстремальность циклонической активности, как уже отмечалось выше, может быть обусловлена различными факторами, влияющими на развитие циклонов и их глубину. На рис. 1б представлены графики временного изменения средних значений зональной скорости ветра над районами исследования на поверхности 200 гПа для зимней половины года, которые показывают явную тенденцию увеличения скорости ветра в верхней тропосфере за период исследования над районом Балтийского моря с 10–12 м/с до 16–18 м/с, а в районе Исландского минимума – до 18–20 м/с.

Анализ средних значений дивергенции скорости ветра над районами исследования на поверхности 200 гПа показывает преобладание положительных значений параметра в течение периода исследования (рис. 1в), что может говорить о развитии в данных районах достаточно интенсивных восходящих движений и усилении бароклинности атмосферы в зимние месяцы. В отличие от зональной скорости ветра изменение дивергенции в верхней тропосфере не показывает тенденции к росту.

Для более полного представления о влиянии изменения крупномасштабной циркуляции в верхней тропосфере на изменение циклонической активности в исследуемых районах Северной Атлантики на основе регрессионного анализа были построены диаграммы взаимосвязи (диаграммы рассеяния) между параметрами циклонической активности, с одной стороны, и параметрами крупномасштабной циркуляции на поверхности 200 гПа – с другой.

Так как построенные диаграммы практически одинаковые для исследуемых районов, для сокращения количества рисунков здесь представлены только диаграммы для района Балтийского моря (рис. 2, 3). Анализ диаграмм показывает наличие отрицательной взаимосвязи между средней скоростью зонального ветра на поверхности 200 гПа и количеством умеренных циклонов в

исследуемых районах (рис. 2). Максимальное количество умеренных циклонов в обоих районах наблюдается при средней скорости ветра в верхней тропосфере около 15 м/с. С увеличением

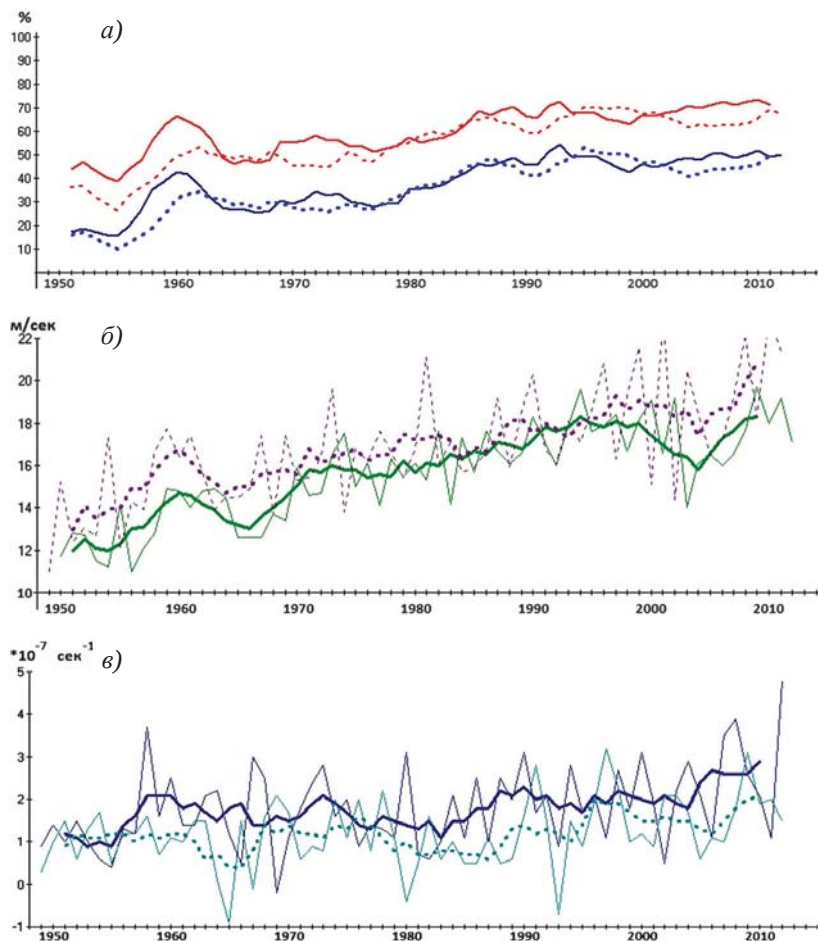


Рис. 1. Среднемесячные значения за зимнюю половину года в районе Балтийского моря (сплошные линии) и районе Исландского минимума (тире): а) доли глубоких циклонов в количестве циклонов (синий цвет) и индексе циклонической активности (красный цвет); б) зональной скорости ветра на поверхности 200 гПа; в) дивергенции скорости ветра на поверхности 200 гПа. Жирными линиями обозначены скользящие средние значения параметров за 5 лет.

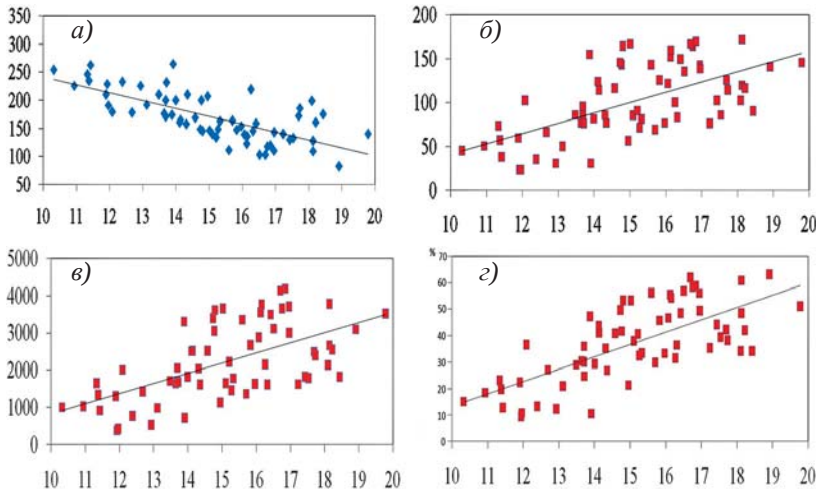


Рис. 2. Взаимосвязь характеристик циклонической активности в районе Балтийского моря с зональной скоростью ветра на поверхности 200 гПа: количества умеренных циклонов (а), количества глубоких циклонов (б), индекса активности глубоких циклонов (в) и доли глубоких циклонов в общем количестве циклонов (г)

скорости ветра наблюдается тенденция к уменьшению количества умеренных циклонов и увеличению количества глубоких циклонов и росту индекса их интегральной интенсивности. Значения коэффициентов корреляции для количества умеренных и глубоких циклонов для района Балтийского моря равны соответственно $-0,72$ и $+0,62$, при уровне значимости $0,001$.

Доля глубоких циклонов в общем количестве циклонов в исследуемых районах при средней скорости ветра в верхней тропосфере более 17 м/с (за месяц) может возрастать до 60% (рис. 2г), а в индексе циклонической активности – до 80% .

Диаграммы взаимосвязи дивергенции скорости ветра на поверхности 200 гПа с характеристиками циклонической активности демонстрируют, прежде всего, наличие отрицательной корреляции с количеством умеренных циклонов (рис. 3). С другой стороны, при росте значений дивергенции на поверхности 200 гПа наблюдается тенденция к явному увеличению и количества, и интегральной интенсивности глубоких циклонов,

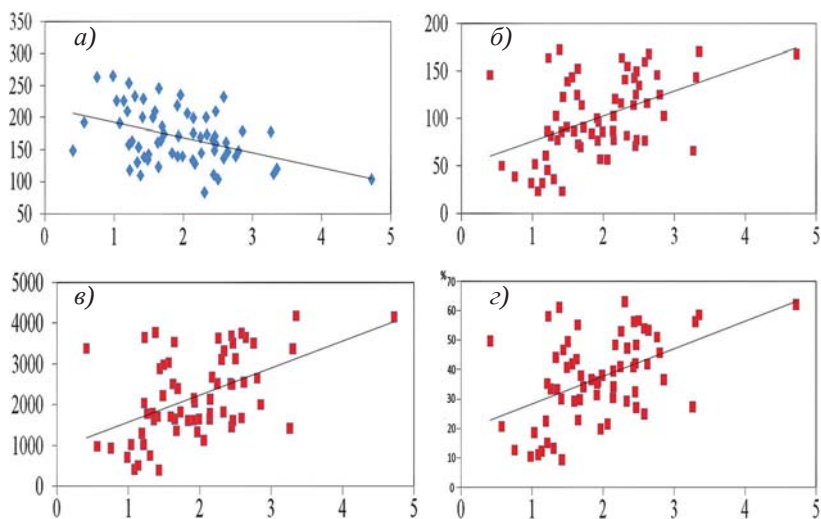


Рис. 3. Взаимосвязь характеристик циклонической активности в районе Балтийского моря с дивергенцией скорости ветра на поверхности 200 гПа: количества умеренных циклонов (а), количества глубоких циклонов (б), индекса активности глубоких циклонов (в) и доли глубоких циклонов в общем количестве циклонов (г)

а также к увеличению доли глубоких циклонов как в количестве, так и в индексе циклонической активности.

Заключение

В районах Балтийского моря и Исландского минимума, районах максимальной циклонической активности внетропических широт Северной Атлантики в зимние сезоны в период исследования с 1949 по 2012 год наблюдается тенденция к увеличению количества экстремально глубоких циклонов и росту их вклада в величину интегрального индекса циклонической активности, которая сопровождается тенденцией существенного увеличения среднего зонального переноса в верхней тропосфере над районами исследования.

Результаты регрессионного анализа подтверждают наличие положительной взаимосвязи между средней зональной скоростью ветра на поверхности 200 гПа в районах исследования, с одной

стороны, и количеством экстремально глубоких циклонов, а также их долей в общем индексе циклонической активности – с другой. И, наоборот, наличие отрицательной взаимосвязи – с количеством умеренных циклонов.

Средние значения дивергенции скорости ветра в верхней тропосфере как над районом Исландского минимума, так и районом Балтийского моря, являясь индикатором интенсивности осреднённых циклонических процессов в тропосфере, также демонстрируют положительную взаимосвязь с количеством глубоких циклонов.

Таким образом, крупномасштабная циркуляция в верхней тропосфере, действительно, является важным динамическим фактором, оказывающим значительное влияние на циклоническую активность во внетропических широтах Северной Атлантики. И это влияние может проявляться в создании в атмосфере благоприятных условий для развития циклонов и их интенсификации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Dacre H.F., Gray S.L.* The Spatial Distribution and Evolution Characteristics of North Atlantic Cyclones // *Mon. Wea. Rev.* 2009. Vol. 137. P. 99–115.
2. *Fink A.H., Brucher T., Ermert V., Kruger A., Pinto J.G.* The European storm Kyrill in January 2007: synoptic evolution, meteorological impacts and some considerations with respect to climate change // *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.* 2009. P. 405–423.
3. *Wernli H., Dirren S., Liniger M.A., Zillig M.* Dynamical aspects of the life cycle of the winter storm «Lothar» (24–26 December 1999) // *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society.* 2002. Vol. 128. P. 405–429.
4. *Deveson A.C.L., Browning K.A., Hewson T.D.* A classification of FASTEX cyclones using a height-attributable quasi-geostrophic vertical-motion diagnostic // *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.* 2002. Vol. 128, Is. 579. P. 93–117.
5. *Uccellini L.W.* The Possible Influence of Upstream Upper-Level Baroclinic Processes on the Development of the QE II Storm // *Mon. Wea. Rev.* 1986. Vol. 114. P. 1019–1027.
6. *Kalnay E. and Coauthors:* The NCEP/NCAR 40-Year Reanalysis Project // *Bull. Amer. Meteor. Soc.* 1996. Vol. 77. P. 437–471.
7. *Вязилова Н.А.* Циклоническая активность и колебания циркуляции в Северной Атлантике // *Метеорология и гидрология.* 2012. № 7. С. 5–14.
8. *Вязилова Н.А., Вязилова А.Е.* О штормовых циклонах в Северной Атлантике // *Метеорология и гидрология.* 2014. № 6. С. 19–27.

УДК 551.576.1:551.58

ПОВТОРЯЕМОСТЬ ВОССТАНОВЛЕННЫХ ОБЛАЧНЫХ СЛОЁВ НАД РАЗНЫМИ ШИРОТНЫМИ ЗОНАМИ ЗЕМНОГО ШАРА ПО ДАННЫМ РАДИОЗОНДИРОВАНИЯ ЗА 1964–2018 ГОДЫ

И. В. Черных¹, О. А. Алдухов²

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

¹ civ@meteo.ru, ² aoa@meteo.ru

1. Введение

Одной из основных компонент климатической системы является облачность [1–6]. При решении многих теоретических и практических задач, например задач энергетики атмосферы, для оценки условий распространения электромагнитных волн в атмосфере, нужд авиации, необходимы знания о вертикальной макроструктуре облачности, полученные на основе данных наблюдений [1–12]. Большой интерес представляет изучение вертикальной макроструктуры облачности, восстановленной по радиозондовым данным, для получения долгопериодных оценок её параметров [1, 2, 7–9, 13–18]. Этот интерес обусловлен тем фактом, что данные радиозондирования собраны за достаточно длительный период наблюдений и станции радиозондирования достаточно плотно покрывают территорию земного шара (ЗШ) [1, 15, 19].

Предметом исследования в данной работе является температурно-влажностное расслоение атмосферы в слое 0–10 км над подстилающей поверхностью на облачные слои (ОС) и безоблачные прослойки между ними, определённые по радиозондовым профилям температуры и влажности с помощью СЕ-метода [1, 13–15]. Рассмотрена задача пространственно-временной изменчивости повторяемости ОС, восстановленных по данным радиозондирования на глобальной аэрологической сети за 1964–2018 годы для разных широтных зон ЗШ: высоких,

умеренных и низких широт. Для её решения были рассчитаны многолетние оценки повторяемости ОС для месяцев, сезонов и года, проанализирован годовой ход соответствующих статистических характеристик с учётом широтных зон обоих полушарий ЗШ. Результаты получены с детализацией по грациям количества облачности и атмосферным слоям.

Вопросы апробации СЕ-метода подробно обсуждаются в работах [1, 12–14]. Так авторами [1, 13, 14] и независимыми экспертами [12] было показано, что полученные с его помощью результаты отражают наличие отдельных ОС и безоблачных прослоек, что позволяет объективно оценить повторяемость ОС в разных слоях атмосферы.

2. Данные и методы исследования

Для расчётов использованы данные из глобального массива радиозондовых наблюдений CARDS (Comprehensive Aerological Reference Dataset) [15, 19], пополненного текущими данными из массивов АЭРОСТАБ [20] и АЭРОСТАС [21] по 2018 год. Контроль данных исходных массивов состоял в использовании процедуры комплексного контроля качества [15, 19]. Как отмечается в работах [19, 22], на глобальной аэрологической сети в Южном полушарии (ЮП) в конце 1950-х – начале 1960-х годов результатов радиозондовых наблюдений недостаточно для климатических расчётов, поэтому период расчётов выбран с 1964 года. Для расчётов были выбраны станции в разных широтных зонах ЗШ с достаточно полным количеством данных.

При расчётах многолетних статистических характеристик повторяемости ОС требовалось, чтобы временные ряды для каждого месяца имели данные не менее чем за 25 лет из рассматриваемого 55-летнего периода 1964–2018 гг. для каждой станции. Одним из условий включения станции глобальной аэрологической сети в исследование является обязательное наличие наблюдений за интервал 1990–2010 гг.

Использовались все прошедшие контроль результаты радиозондирования с данными для температуры и влажности в слое от подстилающей поверхности до высоты 10 км, поэтому число

использованных профилей для разных слоёв атмосферы может быть различным. Заметим, что в предыдущих работах авторов, например [1, 2, 7, 8], требовалось наличие данных радиозондирования за половину лет из рассматриваемого периода наблюдений, и в расчёты были включены только те зондирования, при которых имелись данные как для температуры, так и для влажности до высоты 10 км.

Следует заметить, что в тропосфере данные радиозондовых наблюдений являются более «благополучными», чем в стратосфере, как в отношении обеспеченности, так и относительно возникновения ошибок расчётов по этим данным, обусловленных малой высотой полёта зондов [2, 19, 22].

Для восстановления границ и количества облачности по радиозондовым профилям температуры и влажности использовался СЕ-метод. Основная идея метода состоит в определении таких интервалов вертикального профиля, где на профили температуры и влажности воздействуют ОС. Вследствие инерционности реакция датчиков может практически не отражаться на абсолютных значениях температуры (T) и влажности, но практически всегда проявляется в относительных изменениях (производных вдоль профиля). Определение ОС по СЕ-методу состоит из двух этапов [1, 13–15].

На первом этапе определяются границы ОС по вторым производным температуры и относительной влажности (R) по высоте вдоль профилей. Идея состоит в том, что особенности скоростей изменения температуры и влажности с высотой могут быть обусловлены изменениями этих метеорологических параметров при пересечении радиозондом границ ОС. За критерий существования облачного слоя приняты условия

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

при требовании изменения знака второй производной на противоположный в граничных точках h_1 и h_2 . Это означает: h_1 и h_2 являются точками перегиба профилей T и R , а также локальных экстремумов первых производных T' и R' (максимума R' и минимума T' в точке h_1 и, наоборот, минимума R' и максимума T' в

точке h_2). Эти условия были определены в результате сравнения профилей температуры и относительной влажности и их вторых производных с результатами наземных наблюдений за облаками. Для получения непрерывных вторых производных по вертикальному профилю используется аппроксимация результатов измерений метеопараметров кубическими сплайнами с нулевыми граничными условиями для вторых производных [23].

На втором этапе для каждого выделенного ОС по значениям температуры и дефицита точки росы на уровне максимальной относительной влажности внутри ОС по кусочно-линейной аппроксимации диаграммы Арабей–Мошникова [14] определяется степень покрытия небосвода облачностью по градациям 0–20, 20–60, 60–80, 80–100 %. За количество облачности в каждом ярусе принимается максимальное количество облачности в ОС, лежащих внутри соответствующих диапазонов высоты 0–2, 2–6 и 6–10 км над уровнем земли, которые соответствуют нижнему, среднему и верхнему ярусам облаков [24].

Для изучения изменения повторяемости ОС с разным количеством облаков в пространстве и времени были рассчитаны постанционные многолетние средние значения повторяемости ОС с количеством облаков 0–20, 20–60, 60–80, 80–100, 0–100 % поверхности небосвода для атмосферных слоёв 0–2, 2–6, 6–10, 0–10 км для месяцев/сезонов и года в целом для разных широтных зон Северного полушария (СП) и ЮП.

Для каждой станции расчёты повторяемости, Fr , проводились по формуле:

$$Fr_{m,l,i} = \frac{N_{m,l,i}}{N_{m,l}} \cdot 100 \%,$$

где m – месяц/сезон/год; $l = 1, 2, 3, 4$ – номер атмосферного слоя 0–2, 2–6, 6–10, 0–10 км; $i = 1, 2, \dots, 5$ – номер градации количества облачности 0–20, 20–60, 60–80, 80–100, 0–100 % поверхности небосвода соответственно; $N_{m,l}$ – число зондирований для месяца m в слое l ; $N_{m,l,i}$ – число зондирований для месяца m в слое l , при которых были определены ОС с градацией количества i .

Учитывались облачные слои толщиной не менее 50 метров. При рассмотрении ОС с фиксированной градацией количества облаков допускалось существование и других ОС.

Расчёты выполнены для полярных и умеренных широт СП и ЮП: 60–90° с.ш.; 30–60° с.ш.; 30–60° ю.ш.; 60–90° ю.ш. и низких широт ЗШ 30° с.ш.–30° ю.ш.

При расчёте многолетних статистик ОС были использованы результаты радиозондовых наблюдений, проводимых на аэрологических станциях глобальной аэрологической сети, расположенных в соответствующем диапазоне широт, данные по этим станциям осреднены с учётом площади зоны влияния каждой станции. Под зоной влияния станции понимается территория вокруг неё, на которой наблюдения метеорологической величины коррелируют с наблюдениями на станции. Она определяется с использованием радиуса горизонтальной корреляции.

Сглаживание среднемесячных и среднесезонных значений повторяемости ОС проведено по трём точкам с удвоенным весом центральной точки.

3. Результаты

На рисунках 1–3 показаны многолетние средние значения повторяемости ОС с разным количеством облаков в слоях атмосферы 0–2, 2–6, 6–10, 0–10 км для каждого месяца, сезона и за год в целом для полярных и умеренных широт СП (рис. 1) и ЮП (рис. 2), а также низких широт ЗШ (рис. 3) за 1964–2018 гг. Они демонстрируют особенности внутригодового хода повторяемости ОС с разным количеством облаков в изучаемых слоях атмосферы над разными широтами. В табл. 1 и 2 представлены диапазоны внутригодовых изменений среднемесячных значений повторяемости ОС и многолетние средние годовые значения повторяемости ОС с учётом градации количества облачности и слоя атмосферы для изучаемых широтных зон ЗШ. Ниже приведён анализ особенностей повторяемости ОС для каждой градации количества облаков.

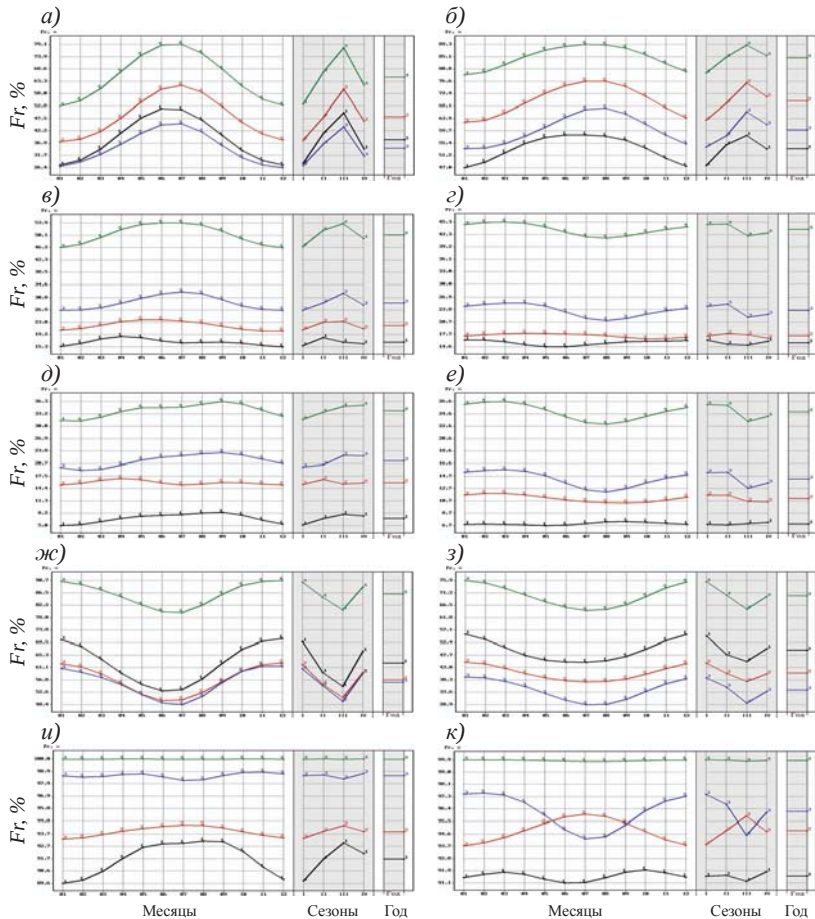


Рис. 1. Многолетние средние значения повторяемости, процент от соответствующего числа зондирований, облачных слоёв с количеством облачности 0–20% (а, б), 20–60% (в, г), 60–80% (д, е), 80–100% (ж, з), 0–100% (и, к) поверхности небосвода в слоях атмосферы 0–2, 2–6, 6–10, 0–10 км над уровнем земли для каждого месяца (1,...,12), сезона СП (I, II, III, IV) и за год, полученные на основе данных радиозондирования на аэрологических станциях в полярных (а, в, д, ж, и; 60–90°с. ш.) и умеренных (б, г, е, з, к; 30–60°с. ш.) широтах СП за период 1964–2018 гг.

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

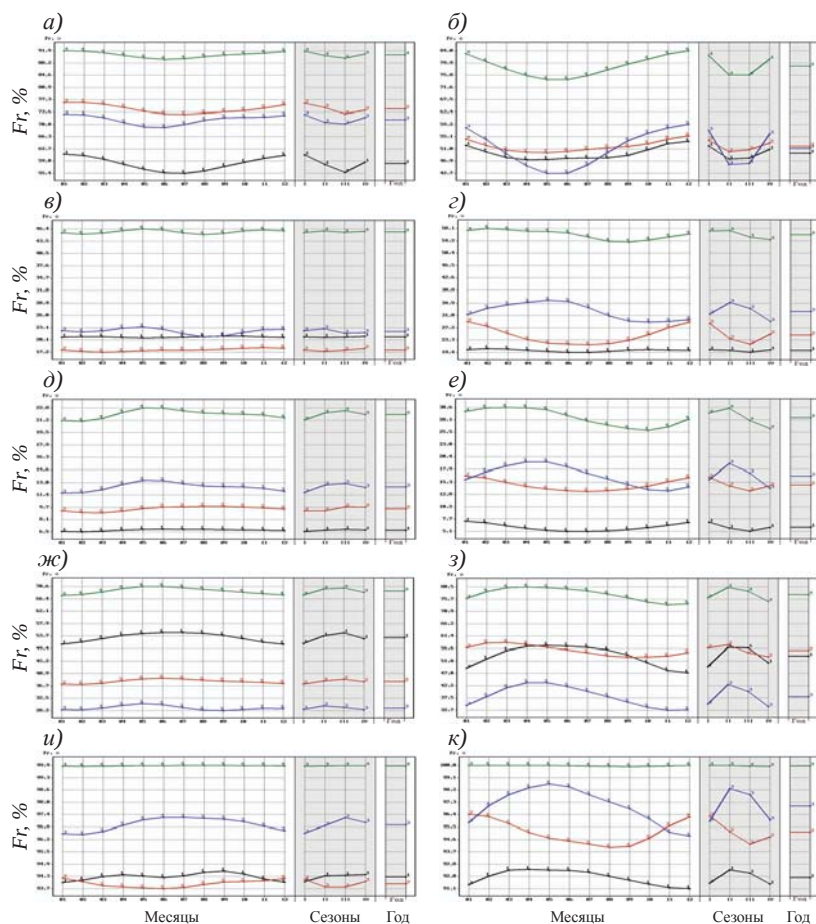


Рис. 2. Многолетние средние значения повторяемости, процент от соответствующего числа зондирования, облачных слоёв с количеством облачности 0–20% (а, б), 20–60% (в, г), 60–80% (д, е), 80–100% (ж, з), 0–100% (и, к) поверхности небосвода в слоях атмосферы 0–2, 2–6, 6–10, 0–10 км над уровнем земли для каждого месяца (1, ..., 12), сезона СП (I, II, III, IV) и за год, полученные на основе данных радиозондирования на аэрологических станциях в умеренных (а, в, д, ж, и; 30–60° ю.ш.) и полярных (б, г, е, з, к; 60–90° ю.ш.) широтах ЮП за период 1964–2018 гг.

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

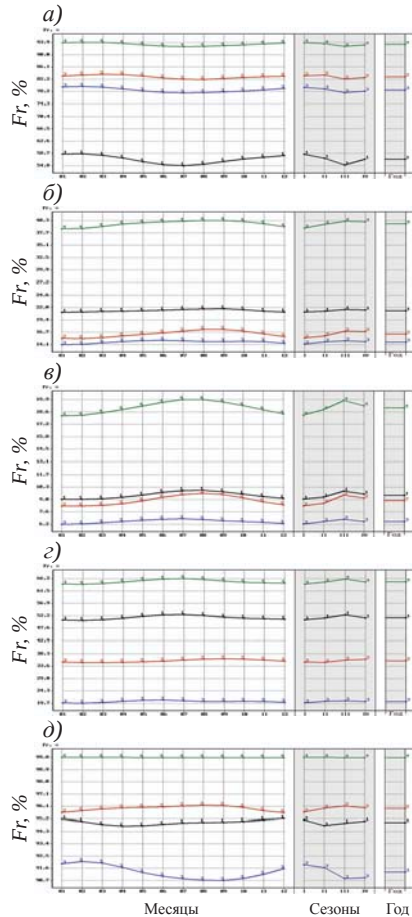


Рис. 3. Многолетние средние значения повторяемости, процент от соответствующего числа зондирования, облачных слоёв с количеством облачности 0–20 % (а), 20–60 % (б) 60–80 % (в),

80–100 % (г), 0–100 % (д) поверхности небосвода в слоях атмосферы 0–2, 2–6, 6–10, 0–10 км над уровнем земли для каждого месяца (1, ..., 12), сезона СП (I, II, III, IV) и за год, полученные на основе данных радиозондирования на аэрологических станциях в низких широтах (а, б, в, г, д; 30° с. ш. – 30° ю. ш.), широтах СП и ЮП за период 1964–2018 гг.

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

Т а б л и ц а 1

**Диапазоны внутригодовых изменений многолетних
среднемесячных значений повторяемости,
процент от соответствующего числа зондирований, облачных слоёв
с учётом градаций количества облачности в слоях атмосферы 0–10,
6–10, 2–6, 0–2 км над уровнем земли для разных широтных зон
земного шара за 1964–2018 годы**

Градация количества облачности, % поверхности небосвода	Широтные зоны земного шара				
	60–90° с. ш.	30–60° с. ш.	30° с. ш. – 30° ю. ш.	30–60° ю. ш.	60–90° ю. ш.
0–10 км					
0–20	52,8–79,1	78,7–89,3	92,6–93,9	89,4–91,9	74,4–84,0
20–60	46,2–53,9	41,6–45,3	38,6–40,3	45,0–46,4	54,0–58,1
60–80	31,6–36,3	23,0–26,6	18,6–19,9	21,2–22,8	26,0–30,6
80–100	80,1–90,7	64,5–75,9	64,2–66,2	67,8–70,6	73,5–80,5
0–100	99,9–100	99,8–99,9	99,7–99,8	99,8–99,9	99,9–100
6–10 км					
0–20	26,4–45,5	52,9–67,7	77,9–79,5	69,4–73,2	42,7–59,2
20–60	26,9–32,7	20,9–25,4	14,1–15,1	20,8–23,4	29,5–35,9
60–80	18,7–23,7	12,2–15,7	6,2–6,9	11,7–13,3	13,7–19,5
80–100	48,4–61,4	28,9–39,5	19,7–21,2	28,2–30,5	32,7–43,4
0–100	98,3–98,9	94,3–97,6	90,7–92,1	96,5–97,3	94,9–98,7
2–6 км					
0–20	36,9–61,3	62,8–76,6	82,2–84,2	73,0–76,6	50,0–55,6
20–60	20,5–24,0	17,0–17,8	15,4–17,6	17,2–18,5	22,0–29,2
60–80	15,1–17,0	10,5–12,0	8,2–9,7	9,2–9,9	13,4–16,6
80–100	48,4–61,6	37,8–45,3	35,2–36,7	37,4–39,5	53,8–59,0
0–100	93,3–94,6	93,7–96,0	95,7–96,2	93,7–94,2	94,1–96,4
0–2 км					
0–20	27,4–51,8	47,0–58,3	54,8–58,7	55,4–60,9	47,3–53,8
20–60	15,3–18,8	14,6–16,2	21,0–21,8	20,7–21,1	19,4–20,7
60–80	5,0–8,2	6,7–7,5	9,0–10,0	6,5–6,9	5,1–7,3
80–100	52,6–70,9	45,3–55,5	50,8–52,7	51,2–54,9	47,0–57,8
0–100	89,6–93,1	91,1–92,0	94,8–95,2	94,0–94,6	91,1–92,6

Т а б л и ц а 2

Многолетние средние годовые значения повторяемости, процент от соответствующего числа зондирований, облачных слоёв с учётом градации количества облачности в слоях атмосферы 0–10, 6–10, 2–6, 0–2 км над уровнем земли для разных широтных зон земного шара за 1964–2018 годы

Градация количества облачности, % поверхности небосвода	Широтные зоны земного шара				
	60–90° с. ш.	30–60° с. ш.	30° с. ш. – 30° ю. ш.	30–60° ю. ш.	60–90° ю. ш.
0–10 км					
0–20	65,1	85,0	93,4	90,7	78,9
20–60	50,1	43,7	39,7	45,7	56,2
60–80	34,0	25,0	18,9	22,0	28,6
80–100	86,4	70,0	64,8	68,8	77,9
0–100	100	99,8	99,8	99,8	99,9
6–10 км					
0–20	34,5	60,1	78,7	71,5	51,5
20–60	28,7	23,6	14,6	22,3	32,3
60–80	21,3	14,2	6,5	12,6	16,9
80–100	55,9	33,9	20,4	28,9	38,0
0–100	98,6	96,3	91,3	96,9	97,0
2–6 км					
0–20	48,4	69,3	83,1	74,6	52,0
20–60	22,0	17,4	16,4	17,7	25,2
60–80	15,8	11,1	8,9	9,6	14,8
80–100	56,8	41,5	35,6	38,0	56,0
0–100	93,9	94,8	96,0	94,0	95,1
0–2 км					
0–20	38,6	53,5	56,7	58,4	49,7
20–60	17,0	15,6	21,5	20,8	20,1
60–80	6,6	6,9	9,4	6,8	6,1
80–100	62,8	49,7	51,7	53,3	53,8
0–100	91,7	91,6	94,9	94,2	91,9

***Повторяемость ОС с количеством облаков 0–100 %
поверхности небосвода***

В результате анализа представленных материалов для повторяемости ОС с количеством облаков 0–100 % поверхности небосвода определено:

- для всех рассматриваемых широтных зон ЗШ диапазон внутригодовых изменений её среднемесячных значений в слое атмосферы 0–10 км составляет 99,7–100 %, амплитуда внутригодовых изменений для каждой широтной зоны не превышает 0,1 % (табл. 1); многолетние средние годовые значения повторяемости ОС составляют 99,8–100 % (табл. 2);

- в слое атмосферы 0–10 км повторяемость ОС в высоких широтах немного превышает её значения для умеренных и низких широт в обоих полушариях (табл. 1 и 2);

- при расчётах за год в целом для разных широтных зон ЗШ характер изменения повторяемости ОС в зависимости от яруса несколько различается: за год в целом в высоких широтах обоих полушарий и умеренных широтах СП повторяемость ОС возрастает с увеличением высоты (рис. 1*и*, 1*к*, 2*к*); для умеренных широт ЮП повторяемость ОС максимальна в верхнем ярусе и минимальна в среднем ярусе (рис. 2*и*); для низких широт она максимальна в среднем ярусе и минимальна в верхнем (рис. 3*д*); различия многолетних средних годовых значений повторяемости ОС в разных ярусах составляют 1–8 % (табл. 2);

- для всех месяцев одинаковая структура изменения повторяемости ОС в зависимости от яруса отмечена только для высоких широт СП, где для каждого месяца повторяемость ОС возрастает с увеличением высоты (рис. 1*и*) и низких широт СП и ЮП, для которых она максимальна в среднем ярусе и минимальна в верхнем (рис. 3*д*);

- для высоких широт ЮП, умеренных широт СП и ЮП соотношение повторяемости ОС в разных ярусах зависит от сезонов.

***Повторяемость ОС с количеством облаков 0–20 %
поверхности небосвода***

Результаты, представленные в табл. 1 и 2, показывают следующее.

- В слое атмосферы 0–10 км среднемесячные значения повторяемости ОС с количеством облаков 0–20 % поверхности небосвода изменяются в пределах от 52,8 % в высоких широтах СП до 93,9 % в низких широтах ЗШ; многолетние средние годовые значения повторяемости ОС для разных широтных зон составляют от 65,1 до 93,4 %.

- Во всех изучаемых слоях атмосферы над обоими полушариями средняя повторяемость ОС с количеством облаков 0–20 % поверхности небосвода минимальна в высоких широтах и максимальна в низких.

- Во всех изучаемых широтных зонах ЗШ многолетние средние годовые значения повторяемости ОС с количеством облаков 0–20 % поверхности небосвода максимальны для атмосферного слоя 2–6 км, минимальны они в высоких широтах СП для слоя 6–10 км, а в остальных широтных зонах ЗШ – в слое 0–2 км.

***Повторяемость ОС с количеством облаков 20–60 %
поверхности небосвода***

Согласно данным табл. 1, среднемесячные значения повторяемости ОС с количеством облаков 20–60 % поверхности небосвода в слое атмосферы 0–10 км изменяются в пределах от 58,1 % в высоких широтах ЮП до 38,6 % – в низких широтах.

Во всех изучаемых зонах её многолетние средние годовые значения зависят от слоя атмосферы: в слоях атмосферы 0–2, 2–6, 6–10, 0–10 км они более 15, 16, 14 и 39 % и не превышают 22, 25, 33 и 57 % соответственно (табл. 2).

Амплитуда внутригодовых изменений среднемесячных значений повторяемости ОС с количеством облачности 20–60 % поверхности небосвода в слоях атмосферы 0–2, 2–6, 6–10, 0–10 км для разных широтных зон ЗШ составляет 1–4 % для низких и умеренных широт и 4–8 % – для высоких широт (см. табл. 1).

Многолетние средние годовые значения повторяемости ОС с количеством облаков 20–60 % поверхности небосвода в

высоких широтах ЮП и СП и умеренных широтах СП монотонно увеличиваются с высотой: для слоя атмосферы 6–10 км они максимальны; для низких широт ЗШ, наоборот, они монотонно убывают с высотой и для слоя атмосферы 6–10 км они минимальны; в умеренных широтах ЮП они минимальны для слоя 2–6 км и максимальны для слоя 6–10 км (см. табл. 2).

***Повторяемость ОС с количеством облаков 60–80 %
поверхности небосвода***

Повторяемость ОС с количеством облаков 60–80 % поверхности небосвода для всех широтных зон в каждом изучаемом атмосферном слое минимальна по сравнению с повторяемостью ОС с меньшим и большим количеством облаков (табл. 1 и 2).

Согласно данным табл. 2, многолетние средние годовые значения зависят от слоя атмосферы: в слоях атмосферы 0–2, 2–6, 6–10, 0–10 км они не превышают 10, 16, 22 и 34 % соответственно.

Для слоёв 2–6, 6–10, 0–10 км наибольшие значения многолетних средних годовых значений повторяемости ОС зафиксированы в высоких широтах, а в слое 0–2 км – в низких широтах ЗШ. Для слоёв 0–2, 2–6, 6–10, 0–10 км различие многолетних средних годовых значений повторяемости ОС для разных зон не превышает 4, 7, 15 и 11 % соответственно.

***Повторяемость ОС с количеством облаков 80–100 %
поверхности небосвода***

Анализ результатов расчета повторяемости ОС с количеством облаков 80–100 % поверхности небосвода, представленных в табл. 1 и 2, показал, что

- среднемесячные значения повторяемости ОС с количеством облаков 80–100 % поверхности небосвода в слое атмосферы 0–10 км изменяются в пределах от 90,7 % в высоких широтах СП до 64,2 % в низких широтах;
- во всех изучаемых слоях атмосферы в обоих полушариях повторяемость ОС с количеством облачности 80–100 % поверхности небосвода максимальна для высоких широт и минимальна для низких широт;

- при расчётах за год в целом и для каждого месяца в умеренных широтах ЮП и низких широтах обоих полушарий повторяемость ОС с количеством облачности 80–100 % поверхности небосвода убывает с увеличением высоты;
- повторяемость ОС с количеством облачности 80–100 % поверхности небосвода в высоких широтах СП за год в целом и для каждого месяца убывает с увеличением высоты, но различия повторяемости ОС для верхнего и среднего ярусов малы;
- в высоких широтах ЮП повторяемость ОС с количеством облачности 80–100 % поверхности небосвода максимальна в среднем ярусе и минимальна в верхнем ярусе за год в целом, но для отдельных сезонов преобладают ОС не среднего, а нижнего яруса.

4. Заключение

Для высоких, средних и низких широт земного шара приведены новые результаты о повторяемости восстановленных облачных слоёв в слое атмосферы от поверхности земли до высоты 10 км с детализацией по грациям количества облачности для разного временного масштаба осреднения. Использованы СЕ-метод определения границ и количества облачности по радиозондовым профилям температуры и влажности и данные радиозондовых наблюдений за 1964–2018 гг. В результате анализа многолетних оценок повторяемости ОС в слое атмосферы 0–10 км установлено следующее.

Для всех рассматриваемых широтных зон ЗШ диапазон внутригодовых изменений среднемесячных значений повторяемости ОС с количеством облаков 0–100 % поверхности небосвода составляет 99,7–100 %, амплитуда этих внутригодовых изменений для каждой широтной зоны не превышает 0,1 %.

При расчётах за год в целом характер изменения повторяемости ОС с количеством облаков 0–100 % поверхности небосвода с высотой в зависимости от яруса облаков для разных широтных зон ЗШ немного различается: в высоких широтах обоих полушарий и умеренных широтах СП повторяемость ОС возрастает от нижнего яруса к верхнему, в низких широтах она максимальна в среднем ярусе и минимальна в верхнем; в умеренных широтах

ЮП повторяемость ОС минимальна в среднем ярусе и максимальна – в верхнем.

Для всех месяцев одинаковая структура изменения повторяемости ОС с количеством облаков 0–100 % поверхности небосвода в зависимости от яруса отмечена только для высоких широт СП и низких широт СП и ЮП. Для высоких широт ЮП, умеренных широт СП и ЮП соотношение повторяемости ОС в разных ярусах зависит от сезонов.

Структура изменения повторяемости ОС в зависимости от яруса зависит от количества облаков для всех рассмотренных широтных зон и временных масштабов осреднения.

Представленные результаты по климатологии вертикальной макроструктуры ОС могут быть полезны при изучении энергетики атмосферы, оценках условий распространения электромагнитных волн, для нужд авиации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алдухов О.А., Черных И.В. Методы анализа и интерпретации данных радиозондирования атмосферы. Т. 2. Восстановленные облачные слои. Обнинск: ВНИИГМИ-МЦД, 2013. 152 с.
2. Алдухов О.А., Черных И.В. Методы анализа и интерпретации данных радиозондирования атмосферы. Т. 3. Влажность и температура в атмосфере: статистические характеристики. Обнинск: ВНИИГМИ-МЦД, 2015. 494 с.
3. Асмус В.В., Загребяев В.А., Макриденко Л.А. и др. Система полярно-орбитальных метеорологических спутников серии «Метеор-М» // Метеорология и гидрология. 2014. № 12. С. 5–16.
4. Баранов А.М. Видимость в атмосфере и безопасность полётов. Л.: Гидрометеиздат, 1991. 206 с.
5. Дубровина Л.С. Облака и осадки по данным самолётного зондирования. Л.: Гидрометеиздат, 1982. 216 с.
6. Маховер З.М., Нудельман Л.А. Авиационно-климатические характеристики Северного полушария. Т. 1. Облачность. М.: Гидрометеиздат, 1987. 278 с.
7. Черных И.В., Алдухов О.А. Долгопериодные оценки характеристик вертикального распределения облачных слоёв по данным радиозондирования атмосферы // Метеорология и гидрология. 2016. № 4. С. 5–17.
8. Черных И.В., Алдухов О.А. Оценки числа облачных слоёв по данным радиозондирования атмосферы за 1964–2014 гг. на российских станциях // Метеорология и гидрология. 2018. № 3. С. 29–39.
9. Черных И.В., Алдухов О.А. Оценки параметров вертикальной макроструктуры облачных слоёв по данным радиозондирования атмосферы на

аэрологических станциях ГСНК территории РФ за 1964–2017 гг. // Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2018. Вып. 183. С. 5–19.

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

11. 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. Vol. 117. No. D21. Doi: 10.1029/2012JD017624.

12. Naud C. M., Muller J. P., Clothiaux E. E. Comparison between active sensor and radiosonde cloud boundaries over the ARM Southern Great Plains site // J. Geophys. Res. 2003. Vol. 108. No. D4. P. 3-1–3-12.

13. 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.

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

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

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

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

18. 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. Vol. 118. P. 846–858.

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

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

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

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

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

24. Хргиан А. Х., Новожилов Н. И. Атлас облаков. Л.: Гидрометеониздат, 1978. 267 с.

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

СОВРЕМЕННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ГИДРОЛОГИЧЕСКОГО РЕЖИМА РЕК В ГОРАХ СЕВЕРНОГО КАВКАЗА И АЛТАЯ

Е. В. Гниломедов

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

В целях изучения современных изменений стока горных рек необходимо выявить причины данных изменений. Основными источниками питания горных рек являются талые воды и осадки. Воздействие снегового питания (особенно на сток воды в половодье) характеризуется количеством снега, накопившемся в бассейне реки к началу снеготаяния. Осадки, выпавшие в жидком виде, влияют на сток воды в текущей фазе гидрологического режима, в твёрдом – на сток в текущей или последующих фазах [1, 2]. Рассмотрим современные изменения снежных запасов и количества осадков в бассейнах горных рек Северного Кавказа и Алтая.

1. Оценка изменений запасов воды в снежном покрове по данным маршрутных наблюдений в горах Северного Кавказа и Алтая

Данные о запасах воды в снежном покрове являются важнейшими характеристиками гидрологического режима рек. Основываясь на результатах создания базы данных по технологии «СНЕГ В ГОРАХ», разработанной в ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД» в соответствии с руководящим документом [3], подготовлен массив данных по маршрутным наблюдениям за снежным покровом с 70-х годов прошлого столетия до зимы 2015/16 г. в бассейнах рек Кубани, Терека и Катуни, содержащий ежегодные сведения о максимальных запасах воды к концу зимних периодов (в феврале–марте). Выполнены трендовые оценки временных изменений максимальных запасов воды в снежном покрове за период наблюдений на маршрутах по высотным поясам гор Северного Кавказа и бассейна Катуни.

Анализ данных наблюдений за снежным покровом в горах Северного Кавказа (рис. 1) показал следующие результаты.

В бассейне реки Белой (приток Кубани, снегомерный маршрут ст. Даховская–г. Оштен) на высотах более 1 800 метров наблюдается выраженное снижение максимальных запасов воды в снежном покрове за период с 1975 по 2016 год. На высотах менее 1 800 метров снижение запасов воды в снежном покрове не столь интенсивное или вовсе временных изменений не наблюдается.

Ситуация в бассейне реки Пшехи (приток реки Белой) на снегомерном маршруте с. Черниговское–г. Фишт аналогична предыдущей. На высотах более 1 000 метров наблюдается небольшое снижение максимальных запасов воды за период с 1979 по 2016 год, а ниже 1 000 метров изменения практически отсутствуют.

В бассейне реки Теберды (приток Кубани, снегомерный маршрут г. Теберда–ледник Хакель) существенных изменений максимальных запасов воды в снежном покрове на каких-либо высотных поясах за период с 1976 по 2016 год не выявлено.

Иная ситуация наблюдается в бассейне реки Цейдон (приток Терека, снегомерный маршрут п. Бурон–ледник Цея). Там за

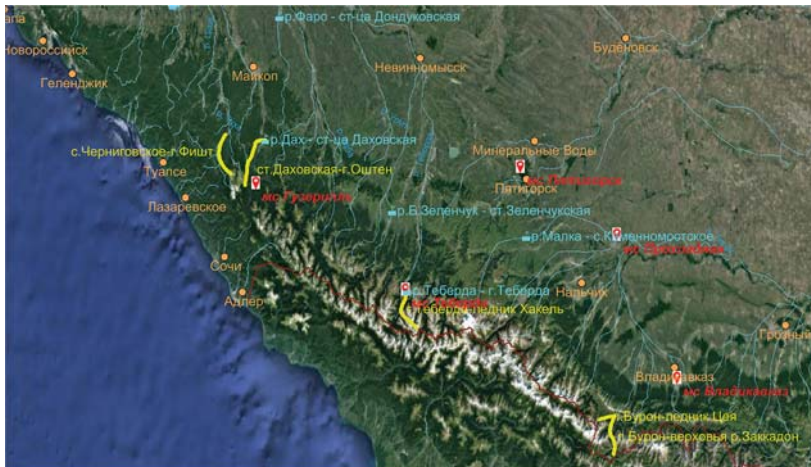


Рис. 1. Расположение гидрологических постов (голубым), метеостанций (красным), снегомерных маршрутов (жёлтым) в горах Северного Кавказа

период с 1977 по 2016 год на высотах более 1 600 метров происходит увеличение максимальных запасов воды, тогда как ниже этой отметки изменений не обнаружено.

На формирование стока воды в половодье оказывают влияние запасы снега на всех высотах снегомерных маршрутов [1, 4]. В этой связи предпочтительно пользоваться осреднёнными характеристиками: средним запасом воды в снеге на всех высотах маршрута и отдельно на высотах до 1 500 м абс. Отметка 1 500 м абс. охватывает те высоты, где снег в начале половодья тает наиболее интенсивно и которые гарантированно находятся ниже снеговой линии, то есть снег на этих высотах полностью участвует в формировании стока, не задерживаясь на следующий год.

Осреднённые запасы снега на снегомерных маршрутах в бассейнах рек Северного Кавказа имеют тенденцию к понижению в северо-западной части гор (рис. 2, 3). В центральной же части региона изменений не наблюдается.

По наблюдениям за снежным покровом в бассейне Катунь (рис. 4) получены следующие результаты. На Коксинском снегомерном маршруте (начало в 3 км от гидрометеостанции Усть-Кокса) на высотах более 1 600 метров (до 1 950 м) наблюдается увеличение максимальных запасов воды в снежном покрове за период с 2001 по 2014 год. На высотах 980–1 600 метров изменение запасов воды в снежном покрове не интенсивное или вовсе временных изменений не наблюдается.

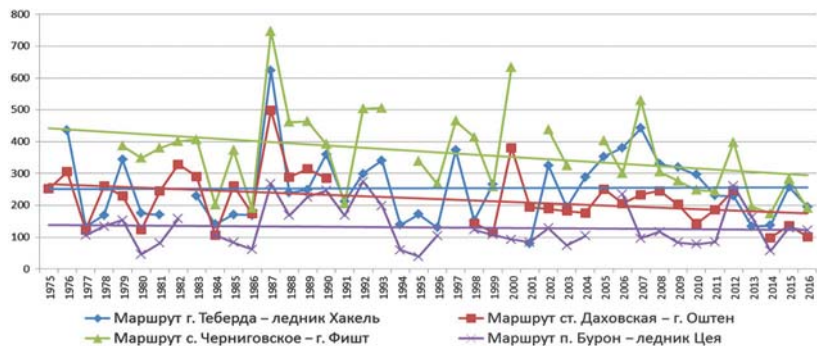


Рис. 2. Осреднённый по всем высотам маршрута запас воды в снеге (мм) перед началом половодья в бассейнах рек Северного Кавказа

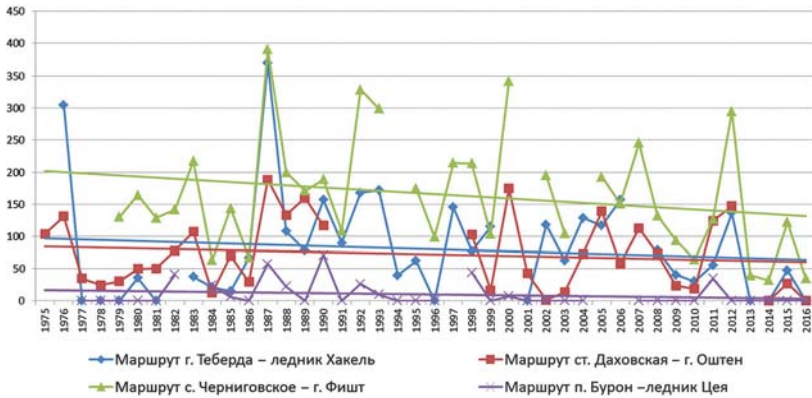


Рис. 3. Осреднённый по высотам маршрута до 1 500 м абс. запас воды в снеге (мм) перед началом половодья в бассейнах рек Северного Кавказа

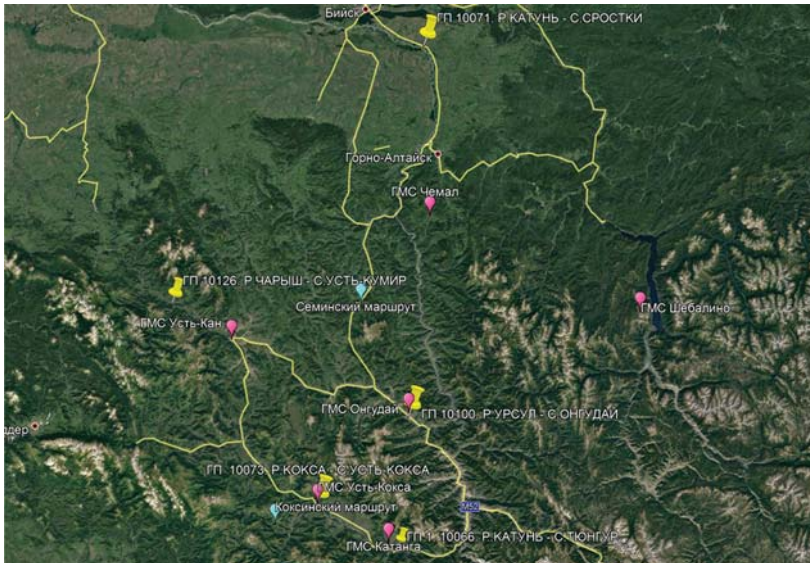


Рис. 4. Расположение гидрологических постов (жёлтым), метеостанций (красным), снегомерных маршрутов (голубым) в горах Алтая

На Семинском снегомерном маршруте (начало в 9 км от гидрометеостанции Шебалино) на всём протяжении (высоты 1 010–1 860 метров) наблюдается увеличение максимальных запасов воды за указанный период. Исключение составляют высоты 1 190 м (без изменений) и 1 760 м (снижение).

В сумме по обоим маршрутам и всем высотам происходит устойчивый рост максимальных (в конце марта) запасов воды в снежном покрове (рис. 5).

На высотах до 1 500 метров показатели запаса воды в снеге перед началом половодья изменяются разнонаправленно (рис. 6).

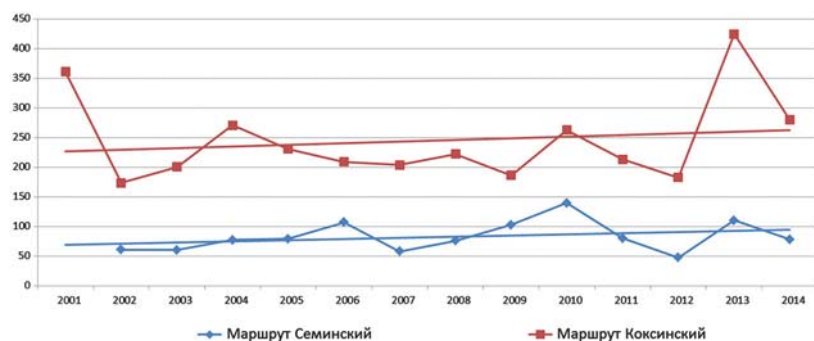


Рис. 5. Осреднённый по высотам маршрута запас воды в снеге (мм) перед началом половодья в бассейнах притоков реки Катунь

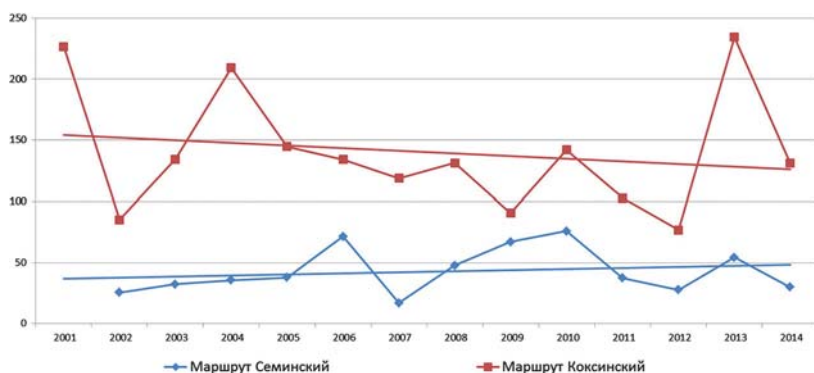


Рис. 6. Осреднённый по высотам маршрута до 1 500 м абс. запас воды в снеге (мм) перед началом половодья в бассейнах притоков реки Катунь

2. Оценка изменений количества осадков в горах Северного Кавказа и Алтая

Помимо общего количества осадков, выпавших в течение года, представляет интерес их распределение по сезонам, поскольку это оказывает влияние на разные фазы водного режима.

По трендовым оценкам временных изменений суммарных значений сезонных (зима, весна, лето, осень) осадков за 30-летний период на Северном Кавказе получены результаты по следующим метеостанциям (табл. 1).

Таблица 1

**Трендовые оценки временных изменений суммарных значений
сезонных осадков на Северном Кавказе**

Метеостанция	Индекс метеостанции	Зима	Весна	Лето	Осень
Ставрополь	34949	0	2	-1	0
Пятигорск	37050	1	2	0	0
Гузериэль	37101	0	2	0	1
Прохладная	37144	0	1	-2	2
Теберда	37193	1	2	0	0
Владикавказ	37229	0	2	-1	2

Трендовые оценки в таблице означают: 0 – изменения менее 5 % за 10 лет, 1 – увеличение на 5–10 % за 10 лет, -1 – уменьшение на 5–10 % за 10 лет, 2 – увеличение более чем на 10 % за 10 лет, -2 – уменьшение более чем на 10 % за 10 лет.

Как видно из табл. 1, наибольшее увеличение суммарных значений сезонных осадков Северного Кавказа происходит в весенний период, тогда как наибольшее их уменьшение – летом.

Результаты трендовых оценок временных изменений суммарных значений сезонных осадков в бассейнах рек Катунь и Чарыш приведены в табл. 2.

Таблица 2

**Трендовые оценки временных изменений суммарных значений
сезонных осадков в бассейнах рек Катунь и Чарыш**

Метеостанция	Индекс метеостанции	Зима	Весна	Лето	Осень
Усть-Кан	36213	0	1	2	1
Усть-Кокса	36229	0	-1	0	-1
Онгудай	36231	0	1	0	0
Катанга	36237	0	1	1	0

Определено, что значительных изменений значений сезонных осадков в бассейнах рек Катунь и Чарыш не происходит. Отмечено лишь незначительное их увеличение в весенне-летний период.

3. Исследования закономерностей изменения стока рек горных районов Северного Кавказа и Алтая при современных изменениях климата

По рекам Северного Кавказа, Алтайского края и Республики Алтай (в бассейне р. Катунь и р. Чарыш) по 20 гидрологическим постам [5] были построены ряды величин стока воды за 30-летний период (по 2016 год включительно). Из них были выбраны 10 постов, обладающих наибольшей полнотой данных. Были выделены фазы половодья и межени и рассчитаны средние показатели стока воды. Далее были выполнены трендовые оценки временных изменений осреднённых и экстремальных расходов воды.

Анализ изменения стока проводился по следующим характеристикам: среднегодовой расход воды $Q_{ср\ год}$, средний расход воды в половодье $Q_{ср\ пол}$ и межень $Q_{ср\ меж}$, минимальный среднемесячный расход в межень $Q_{мин\ мес}$, максимальный годовой расход $Q_{макс}$, минимальный расход в летне-осеннюю межень $Q_{мин\ лет}$, минимальный расход в зимнюю межень $Q_{мин\ зим}$.

Полученные результаты представлены в табл. 3 и 4.

Трендовые оценки в таблицах означают: 0 – изменения менее 5 % за 10 лет, 1 – увеличение на 5–10 % за 10 лет, -1 – уменьшение на 5–10 % за 10 лет, 2 – увеличение более чем на 10 % за 10 лет, -2 – уменьшение более чем на 10 % за 10 лет.

Таблица 3

Изменение характеристик стока воды на реках Северного Кавказа

Гидрологический пост	$Q_{ср\ год}$	$Q_{ср\ пол}$	$Q_{ср\ меж}$	$Q_{мин\ мес}$	$Q_{макс}$	$Q_{мин\ лет}$
р. Малка – с. Каменноостское	2	2	2	2	0	2
р. Теберда – г. Теберда	1	2	1	2	2	2
р. Большой Зеленчук – ст-ца Зеленчукская	1	0	1	1	1	1
р. Фарс – ст-ца Дондуковская	-1	-2	-1	0	1	-1
р. Дах – ст-ца Даховская	0	0	-1	0	0	0

Т а б л и ц а 4

**Изменение характеристик стока воды
на реках бассейна Катунь и Чарыша**

Гидрологический пост	$Q_{ср\ год}$	$Q_{ср\ пол}$	$Q_{ср\ меж}$	$Q_{мин\ мес}$	$Q_{макс}$	$Q_{мин\ лет}$	$Q_{мин\ зим}$
р. Катунь – с. Тюнгур	1	1	0	0	-1	-2	
р. Катунь – с. Сротки	1	1	0	0	1	0	1
р. Кокса – с. Усть-Кокса	-1	-2	0	1	-2	-2	2
р. Урсул – с. Онгудай	0	0	0	0	1	-1	2
р. Чарыш – с. Усть-Кумир	1	1	0	0	-1	0	-1

Как видно из табл. 3, на реках Северного Кавказа (рис. 1) наблюдается увеличение осреднённых и экстремальных расходов воды в центральной части региона (реки Малка, Теберда, Большой Зеленчук). В северо-западной его части преобладает их снижение (реки Фарс и Дах).

Однонаправленных изменений в бассейнах рек Катунь и Чарыш не происходит (табл. 4). Отмечено преобладающее уменьшение характеристик расходов на реке Кокса. Однако в целом по бассейну Катунь наблюдается рост стока воды, о чём свидетельствуют данные гидрологического поста р. Катунь – с. Сротки, который характеризует обобщённую картину происходящего (рис. 4).

Выводы по изменению стока рек Северного Кавказа и бассейнов Катунь и Чарыша согласуются с изменением величин осадков и запасов снега на соответствующих территориях.

4. Сравнительный анализ изменения стока рек, количества осадков и запасов снега в горных районах Северного Кавказа и Алтая при современных изменениях климата

В целях определения главных факторов, влияющих на изменение стока рек Северного Кавказа и Алтая, был проведён сравнительный анализ некоторых характеристик расхода воды с запасами воды в снежном покрове и количеством осадков.

Были посчитаны коэффициенты корреляции между стоком воды в фазу половодья и следующими характеристиками: количеством осадков в водосборе во время половодья, запасами воды в снеге перед началом половодья (для всех высот в целом и отдельно для высот до 1 500 м абс.), суммарной величиной количества осадков и запасов воды в снеге перед началом половодья (также для разных высот). Коэффициенты корреляции рассчитаны по группам близкорасположенных гидрологических постов, метеостанций и снегомерных маршрутов. Результаты расчётов приведены в табл. 5, 6 и 7.

Таблица 5

Коэффициенты корреляции между средним расходом воды в половодье, осадками и запасами воды в снеге в бассейнах горных рек Северного Кавказа

ГП	R	H	H_{1500}	$R + H$	$R + H_{1500}$	Примечания
р. Малка – с. Каменноостское	0,31	0,38	0,16	0,44	0,40	мс Пятигорск, мар. Теберда–Хакель
р. Теберда – г. Теберда	-0,06	0,56	0,32	0,46	0,21	мс Теберда, мар. Теберда–Хакель
р. Большой Зеленчук – ст-ца Зеленчукская	0,24	0,22	0,18	0,21	0,24	мс Теберда, мар. Теберда–Хакель
р. Фарс – ст-ца Дондуковская	-0,08	0,03	0,37	-0,01	0,21	мс Гузерибль, мар. Даховская – Оштен
р. Дах – ст-ца Даховская	0,30	-0,15	-0,08	0,34	0,37	мс Гузерибль, мар. Даховская – Оштен

В табл. 5 и 6 показаны коэффициенты корреляции между средним расходом воды на некоторых гидрологических постах (ГП) и определяющими его характеристиками: суммой осадков в половодье (R), максимальным запасом воды в снеге перед началом весеннего снеготаяния на всех высотах (H) и на высотах до 1 500 м абс. (H_{1500}) снегомерного маршрута в водосборе исследуемого ГП, суммарными значениями указанных характеристик. В столбце «Примечания» указаны метеостанция и снегомерный маршрут, данные с которых использованы в расчётах.

Т а б л и ц а 6

**Коэффициенты корреляции между средним расходом воды
в половодье, осадками и запасами воды в снеге
в бассейнах горных рек Алтая**

ГП	R	H	H_{1500}	$R + H$	$R + H_{1500}$	Примечания
р. Катунь – с. Тюнгур	0,47	0,68	0,42	0,69	0,64	мс Катанга, Коксинский марш.
р. Кокса – с. Усть-Кокса	0,49	0,58	0,42	0,78	0,78	мс Усть-Кокса, Коксинский марш.
р. Урсул – с. Онгудай	0,44	0,18	0,05	0,56	0,54	мс Онгудай, Коксинский марш.
р. Урсул – с. Онгудай	0,44	0,67	0,44	0,77	0,68	мс Онгудай, Семинский марш.
р. Чарыш – с. Усть-Кумир	0,04	0,60	0,47	0,40	0,23	мс Усть-Кан, Коксинский марш.
р. Чарыш – с. Усть-Кумир	0,04	0,39	0,09	0,15	0,04	мс Усть-Кан, Семинский марш.

Из полученных результатов можно сделать некоторые выводы о первичных и вторичных факторах изменения стока воды в половодье на реках Северного Кавказа и Алтая. Получено, что на каждом конкретном гидрологическом посту наибольший вклад в межгодовые колебания стока вносят разные факторы: осадки, запасы воды в снеге (на разных высотах) или их сумма. Величина среднего расхода воды в половодье в целом по горным рекам Северного Кавказа в меньшей степени связана с количеством осадков, выпавших во время половодья, и запасами воды в снеге перед началом половодья, чем та же величина по горным рекам Алтая. Данный факт объясняется тем, что значительную роль в весенне-летнем стоке рек Северного Кавказа играет интенсивность таяния ледников и снега выше снеговой линии, что в свою очередь зависит от колебаний температуры воздуха.

Средний расход воды в половодье на горных реках Алтая в наибольшей степени коррелирует с суммой факторов количества осадков в половодье и запаса воды в снеге перед началом половодья.

Снижение корреляционных зависимостей на некоторых изучаемых реках в табл. 5 и 6 вызвано отсутствием данных о

запасах снега и осадках непосредственно в их водосборах. В этих случаях использовались данные с ближайших метеостанций и снегомерных маршрутов. Так зависимость стока в половодье на реке Урсул выше, если вести расчёт по данным с Семинского снегомерного маршрута, а на реке Чарыш – с Коксинского. Максимальные коэффициенты корреляции получены по реке Кокса, что объясняется в том числе наличием данных о запасах снега и осадках непосредственно её водосборе.

В табл. 7 представлены коэффициенты корреляции между максимальными расходами воды в половодье по трём выбранным гидрологическим постам и максимальными запасами воды в снеге в водосборах этих постов перед началом весеннего снеготаяния. Выбор ГП определялся наличием данных по снегу именно в их водосборах.

Таблица 7

Коэффициенты корреляции между максимальными расходами воды в половодье и запасами воды в снеге перед началом весеннего снеготаяния в бассейнах горных рек Северного Кавказа и Алтая

ГП	H	H_{1500}	Примечания
р. Дах – ст-ца Даховская	-0,44	-0,19	мар. Даховская – Оштен
р. Теберда – г. Теберда	0,19	0,12	мар. Теберда – Хакель
р. Кокса – с. Усть-Кокса	0,70	0,50	Коксинский маршрут

Из полученных результатов можно сделать вывод, что на горных реках Северного Кавказа, помимо максимальных запасов воды в снеге перед началом весеннего снеготаяния, существенное влияние на максимальные расходы в половодье оказывают другие факторы (скорость весеннего снеготаяния, осадки в период половодья и т.д.), что также подтверждается исследованиями других авторов [6, 7].

Заключение

По результатам исследования выявлено, что на реках центральной части Северного Кавказа, где наблюдается увеличение осреднённых и экстремальных расходов воды, возрастает вероятность наводнений, хотя их число с 1980 по 2015 год и так превышало по 10–15 случаев отдельно в каждом административном

районе [8]. На реках северо-западной части Северного Кавказа напротив, преобладает снижение осреднённых и экстремальных расходов воды.

Увеличение стока на реке Катунь в период половодья (приблизительно на 10 % за последние 30 лет) прежде всего связано с ростом запасов снега в её бассейне. Этот факт повышает вероятность наводнений в районе Горно-Алтайска.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Семёнов В.А. Климатообусловленные изменения вклада снега в формирование опасных гидрологических явлений на реках // Лёд снег. 2013. № 3. С. 107–112.
2. Голубев В.Н., Семёнов В.А., Фролов Д.М. Вариации водозаписа снежного покрова и интенсивности его таяния как фактор весеннего половодья на реках России // Динамика и термика рек, водохранилищ и прибрежной зоны морей. Материалы VII Международной научно-практической конференции. Москва, РУДН, 24–27 ноября 2014 г. М.: Российский университет дружбы народов, 2014. С. 365–377.
3. РД 52.25.261–90 «Руководство по снегомерным работам в горах». М.: Гидрометеоиздат, 1991. 127 с.
4. Галахов В.П. Условия формирования и расчёт максимальных снегозапасов в горах. Новосибирск: Наука, 2003. 104 с.
5. Каталог кодов пунктов гидрологических наблюдений на реках России. Вып. 4. М.: Метеоагентство Росгидромета, 2006. 40 с.
6. Коровин В.И., Галкин Г.А. Генетическая структура наводнений и паводков на реках Северо-западного Кавказа за 275-летний период // Изв. АН СССР. Сер. геогр. 1979. № 3. С. 90–94.
7. Семёнов 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. 172 с.
8. Магрицкий Д.В., Самохин М.А., Юмина Н.М. Наводнения в Краснодарском крае и Республике Адыгея // Наука. Техника. Технологии. Политехнический вестник. 2013. № 4. С. 44–63.

УДК 551.521.11 (470 + 571)

ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТЬ СОЛНЕЧНОГО СИЯНИЯ НА ТЕРРИТОРИИ РОССИИ В 2018 ГОДУ

Л. К. Клещенко

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

Введение

Продолжительность солнечного сияния (ПСС), наряду с температурой воздуха, атмосферными осадками и другими метеорологическими параметрами, оказывает большое влияние на хозяйственную деятельность и жизнедеятельность человека. Свидетельством важности этого метеорологического элемента является, в частности, включение ПСС в систему климатического мониторинга ВМО, в рамках которого осуществляется выпуск регионального бюллетеня для Европы и Среднего Востока [1]. Территория России представлена в этом бюллетене не полностью – карты включают её европейскую часть и север азиатской территории. В связи с этим в ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД» была разработана технология мониторинга ПСС на всей территории России [2], которая обеспечивает анализ данных о ПСС, аналогичный обработке результатов наблюдений за температурой приземного воздуха и атмосферными осадками [3]. Результаты анализа данных о ПСС помещаются на сайте ВНИИГМИ-МЦД в бюллетене [4].

Данные и методика обработки

При проведении расчётов используется режимная информация из созданной во ВНИИГМИ-МЦД базы данных «Суммарная за месяц продолжительность солнечного сияния на станциях России» [5], а также оперативные данные за прошедший год, поступившие от метеорологических станций сети Росгидромета в виде телеграмм «КЛИМАТ» (порядка 300 станций).

Раздел бюллетеня, касающийся ПСС, включает данные о климатических аномалиях на территории Российской Федерации (РФ) за прошедший год и обновлённые (с учётом этих данных) оценки тенденций в многолетних изменениях ПСС. В настоящей публикации представлены результаты анализа пространственного распределения аномалий ПСС в 2018 г. и оценки, полученные при их региональном осреднении.

Оценки приведены для года в целом и для четырёх календарных сезонов (зима, весна, лето, осень). Сезонные суммы ПСС рассчитываются по результатам наблюдений на метеорологической станции, если присутствуют данные за все три месяца календарного сезона (сезон «зима» включает декабрь предыдущего года), а годовые – при наличии данных для всех 12 месяцев года (январь – декабрь). При расчёте аномалий используются средние многолетние значения ПСС (так называемые «нормы») за период 1981–2010 гг. Аномалии трёх временных масштабов (месяц, сезон, год) рассчитываются как отклонение от соответствующей нормы (VS , часы), а относительные аномалии – как отношение к норме, выраженное в процентах (RS , %).

В качестве характеристик аномалий используются показатели, основанные на эмпирической функции распределения (процентили и вероятности непревышения $P(SS \leq SS_{2018})$ – доля наблюдений в прошлом, когда значение переменной было не больше текущего) и порядковые статистики (ранги – порядковые номера в упорядоченном ряду значений). В поле аномалий выделяются станции, на которых значения ПСС попали в 5 %-ные «хвосты» распределения (в число 5 % самых низких и самых высоких значений). Расчёт этих характеристик осуществляется по данным за период, начинающийся 1961 годом и заканчивающийся прошедшим.

Полученные по данным метеорологических станций оценки представлены в виде карт для территории России, а также в виде региональных средних: для территории РФ в целом, её европейской (ЕЧР) и азиатской (АЧР) частей, девяти физико-географических регионов и восьми федеральных округов (ФО). Расположение регионов легко определяется по названиям, которые приведены в таблицах. Методика пространственного осреднения описана в [2].

Основные результаты

В целом за 2018 год на территории РФ преобладали положительные аномалии ПСС (рис. 1). Небольшой дефицит солнечного сияния наблюдался главным образом на юге Западной Сибири и в Дальневосточном регионе. Средняя для территории страны ПСС в 2018 г. оказалась выше 95-го процентиля (табл. 1) и имела ранг 3 в убывающем ряду. Средняя за год ПСС для ЕЧР является наибольшей с 1961 г. (ранг 1 в убывающем ряду), а все сезоны, за исключением зимы, попали в пять максимальных. При этом осень 2018 г. оказалась в числе пяти максимальных и для всей территории РФ. Наиболее солнечно в этот сезон было в Центральном ФО (136 % от нормы).

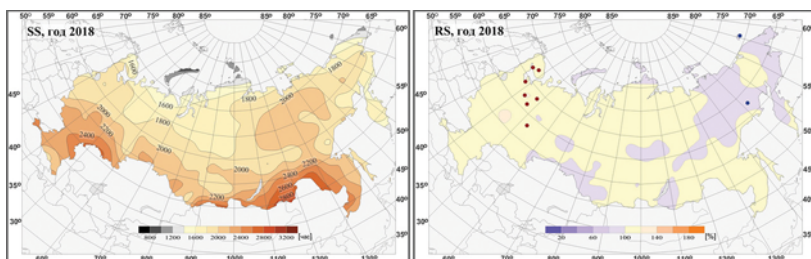


Рис. 1. Пространственное распределение суммарной за год продолжительности солнечного сияния (SS, часы) и её относительных аномалий (RS, %) на территории РФ в 2018 г. (январь–декабрь). Кругами синего цвета показано местоположение станций с экстремумами ниже 5-го процентиля, коричневого цвета – выше 95-го процентиля.

Зимой 2017/18 г. (рис. 2) на территории РФ наблюдались ярко выраженные как положительные, так и отрицательные аномалии. Наиболее значительные положительные аномалии отмечались в АЧР (Западная Сибирь, Красноярский край) как результат – регион «Центр и юг Западной Сибири» попал в пять максимальных. Наибольший дефицит солнечного сияния отмечался в западных и южных районах ЕЧР (Северо-Кавказский ФО попал в пять минимальных) и на северо-востоке страны, где составил менее 40 % от нормы. Отрицательные аномалии ПСС

отмечались также в Ненецком автономном округе (АО) и на юге Восточной Сибири.

Таблица 1

Относительная аномалия суммарной за год и сезоны продолжительности солнечного сияния (RS , %) в регионах России и вероятность её неперевышения (P , %) в 2018 г.

Регион	Год		Зима		Весна		Лето		Осень	
	RS	P	RS	P	RS	P	RS	P	RS	P
РФ	105	96	101	51	104	89	103	91	108	95
ЕЧР	110	100	95	30	113	98	108	93	118	98
АЧР	102	82	103	63	101	67	101	63	104	68
Физико-географические регионы РФ										
Север ЕЧР и Западной Сибири	111	98	101	61	108	86	108	74	120	89
Север Восточной Сибири и Якутии	99	30	94	32	100	46	102	72	94	26
Чукотка и север Камчатки	96	33	77	19	90	19	102	70	107	70
Центр ЕЧР	111	95	102	44	114	96	106	82	124	93
Центр и юг Западной Сибири	102	63	128	93	92	16	102	67	104	56
Центр и юг Восточной Сибири	102	70	97	42	104	86	98	33	103	65
Дальний Восток	105	98	100	49	110	96	99	47	107	88
Алтай и Саяны	102	63	102	58	94	18	106	88	100	49
Юг ЕЧР	106	91	87	14	113	89	110	96	110	82
Федеральные округа РФ										
Центральный	114	95	90	37	116	93	108	81	136	95
Южный	107	91	91	26	113	89	111	98	110	86
Северо-Западный	111	96	89	33	115	95	107	75	123	95
Дальневосточный	102	79	98	33	104	82	99	35	104	75
Сибирский	102	74	108	82	98	37	102	74	102	54
Уральский	105	82	119	79	100	54	102	56	110	74
Приволжский	111	96	113	70	111	91	107	88	123	89
Северо-Кавказский	105	79	79	5	111	89	108	84	117	93

Примечание. Жёлтым цветом выделены значения, попавшие в 5 максимальных, серым – в 5 минимальных.

В декабре 2017 г. на территории РФ преобладали отрицательные аномалии ПСС. Наибольший дефицит солнечного сияния отмечался в Северо-Западном и Центральном ФО (до 15 % от нормы). На ряде станций центральной части европейской

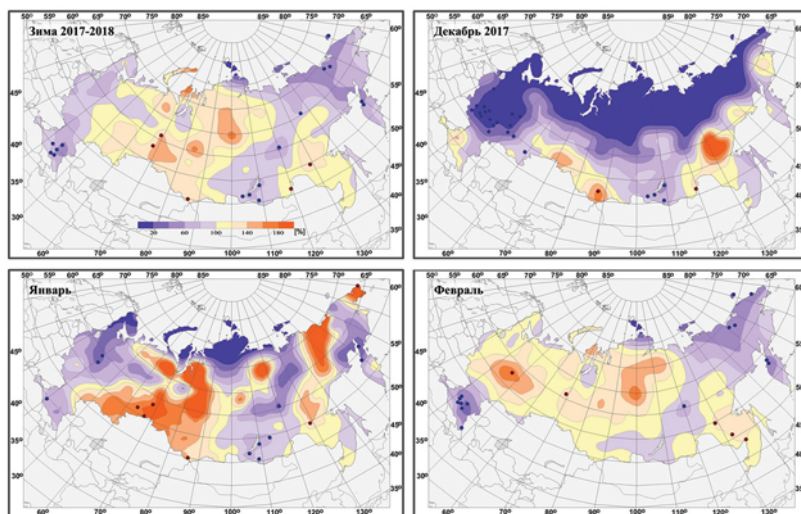


Рис. 2. Пространственное распределение относительных аномалий сезонной и месячной продолжительности солнечного сияния на территории России зимой 2017/18 г. Кругами синего цвета показано местоположение станций с экстремумами ниже 5-го перцентиля, коричневого цвета – выше 95-го перцентиля.

территории РФ суммарная за месяц ПСС была меньше наблюдавшихся ранее минимумов (Тульская, Липецкая, Рязанская и другие области). Очаги положительных аномалий ПСС сформировались на крайнем юге ЕЧР, в южных районах Западной Сибири и на востоке страны.

В январе 2018 г. дефицит солнечного сияния на территории РФ несколько уменьшился, тем не менее в пяти (из восьми) федеральных округов в среднем наблюдались отрицательные аномалии ПСС (табл. 2). На юго-востоке ЕЧР и в южных районах Западной Сибири, где на среднемесечной карте давления располагался мощный очаг положительных аномалий, сформировалась обширная область положительных аномалий ПСС. В Уральском ФО средняя аномалия составила 148 %. Положительные аномалии наблюдались также в других районах АЧР (в Якутии, Хабаровском крае, на Чукотке).

Т а б л и ц а 2

**Относительная аномалия (%) суммарной за месяц
продолжительности солнечного сияния,
осреднённой по регионам России. 2018 г.**

Регион	М е с я ц ы											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Российская Федерация	103	103	100	107	105	104	99	107	110	107	102	99
ЕЧР	91	103	108	117	113	107	103	116	114	125	115	56
АЧР	107	103	97	103	102	103	97	103	109	101	97	113
Физико-географические регионы РФ												
Север ЕЧР и Зап. Сибири	68	107	130	100	102	96	128	97	118	123	80	104
Север Восточной Сибири и Якутии	126	92	100	104	98	116	88	108	98	83	117	187
Чукотка и север Камчатки	82	72	52	102	106	91	104	105	113	99	104	224
Центр ЕЧР	102	122	117	110	116	105	94	123	125	119	130	60
Центр и юг Зап. Сибири	154	119	97	93	86	97	113	95	120	94	79	156
Центр и юг Вост. Сибири	95	102	100	108	105	108	83	104	106	101	98	99
Дальний Восток	97	105	100	107	124	88	105	106	107	106	104	102
Алтай и Саяны	112	96	96	102	87	115	94	109	98	114	84	131
Юг ЕЧР	82	72	72	149	111	117	103	111	100	125	104	55
Федеральные округа РФ												
Центральный	61	136	108	116	121	112	78	139	120	148	171	40
Южный	88	77	73	148	111	120	98	115	98	123	117	55
Северо-Западный	52	110	132	105	114	97	115	111	125	127	82	52
Дальневосточный	98	99	95	105	110	99	95	104	108	98	106	104
Сибирский	117	108	99	102	93	111	94	101	105	107	87	123
Уральский	148	114	107	100	97	93	116	93	132	83	92	123
Приволжский	117	135	122	106	109	103	98	122	126	108	138	67
Северо-Кавказский	74	61	70	145	110	119	103	104	110	140	94	57

Примечание. Жёлтым цветом выделены месяцы с относительной аномалией более 120 %, серым – менее 80 %.

В феврале в ЕЧР отрицательные аномалии ПСС сохранились только на юге, но при этом несколько усилились. В Северо-Кавказском ФО средняя аномалия составила минус 38 часов (61 % от нормы). В центральных районах ЕЧР сформировался очаг значительных положительных аномалий (на отдельных станциях аномалии достигали 180 % от нормы). Средние аномалии

в Центральном и Приволжском ФО составили более 135 %. В АЧР наиболее существенные положительные аномалии ПСС отмечались в центральных районах Красноярского края, а наиболее существенные отрицательные аномалии – на северо-востоке страны (в Корякском автономном округе до 50 % от нормы).

Весной 2018 г. вся европейская территория страны была занята положительными аномалиями ПСС (рис. 3). Средняя аномалия составила 76 часов. При этом весенний сезон в ЕЧР имеет ранг 2 в убывающем ряду. Наиболее существенные аномалии отмечались в центральных и северо-западных районах ЕЧР (в Архангельской и Нижегородской областях были превышены наблюдавшиеся ранее максимумы). Средняя ПСС для АЧР в целом была близка к норме, тогда как в её юго-восточных районах наблюдались существенные положительные аномалии и целый ряд станций попал в 95 %-й квантиль (Амурская и Читинская области, Хабаровский край и др.), а на юго-западе сформировался очаг существенных отрицательных аномалий, где многие станции не только попали в 5 %-й квантиль, но и обновили сезонные минимумы (Томская, Новосибирская, Кемеровская и другие области).

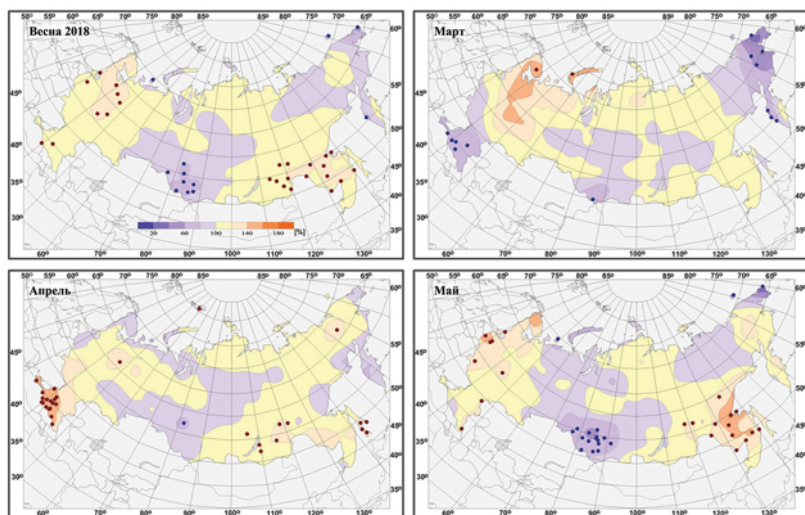


Рис. 3. То же, что на рис. 2, но для весны 2018 г.

В марте положительные аномалии ПСС наблюдались на большей части европейской территории РФ, но по сравнению с февралём они несколько ослабели, а очаг с наибольшими значениями сместился к северу. В среднем в северо-западном регионе аномалия составила 130 % от нормы. В южных районах сохранились отрицательные аномалии ПСС. Они хоть и ослабели, но тем не менее попали в 5 %-й квантиль. В АЧР дефицит солнечного сияния наблюдался в южной половине и на крайнем северо-востоке (на Чукотке до 50 % от нормы). Существенных положительных аномалий не отмечалось.

В апреле по-прежнему положительные аномалии преобладали как в европейской, так и в азиатской части России. Очаг наиболее значительных положительных аномалий (на отдельных станциях до 160 % от нормы) располагался на юге ЕЧР. На ряде станций (главным образом Краснодарского и Ставропольского краёв) были обновлены наблюдавшиеся ранее месячные максимумы ПСС. Новые максимумы появились также на ряде южных станций АЧР (Амурская, Читинская, Сахалинская области и др.). Средняя аномалия с отрицательным знаком наблюдалась только в регионе, включающем центр и юг Западной Сибири.

В мае преобладание положительных аномалий ПСС на территории РФ сохранилось. Наиболее заметные из них располагались на северо-западе ЕЧР, а также на юго-востоке АЧР (Хабаровский край, Амурская обл.), где многие станции попали в 95 %-й квантиль, а на некоторых из них были превышены наблюдавшиеся ранее месячные максимумы. Наиболее заметные отрицательные аномалии наблюдались на Чукотке и на юге Красноярского края. При этом целый ряд южно-сибирских станций попал в 5 %-й квантиль и на многих из них были обновлены наблюдавшиеся ранее минимумы ПСС (Кемеровская и Новосибирская области, Алтайский край).

Лето 2018 г., так же как и весна, в среднем за сезон на территории РФ характеризуется слабыми аномалиями ПСС, при этом месячные аномалии обоих знаков были довольно существенными (рис. 4). Сохранилось преобладание положительных аномалий. На юго-востоке ЕЧР ряд станций попали в 95 %-й квантиль.

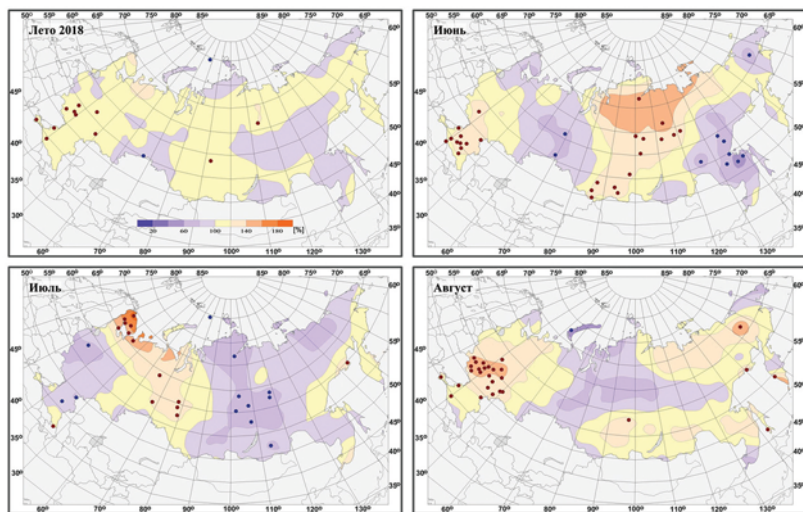


Рис. 4. То же, что на рис. 2, но для лета 2018 г.

Дефицит солнечного сияния наблюдался преимущественно в АЧР (южные районы Западной Сибири, Таймыр, Чукотка), но самая обширная область с отрицательными аномалиями ПСС сформировалась на юго-востоке азиатской территории страны.

В июне центральные районы Сибири практически постоянно занимали интенсивные гребни, в результате чего на севере Красноярского края сформировалась обширная область значительных положительных аномалий ПСС. Суммарная за месяц продолжительность солнечного сияния составила здесь более 400 часов, при этом на многих сибирских станциях были превышены наблюдавшиеся ранее максимумы. Положительные аномалии ПСС наблюдались и в южной половине ЕЧР, где также были обновлены исторические максимумы. Отрицательные аномалии ПСС сформировались на северо-западе ЕЧР, в Приуралье, на юге Западной Сибири, Чукотке. Наибольший дефицит солнечного сияния отмечался в Хабаровском крае, где на ряде станций обновились наблюдавшиеся ранее минимумы ПСС.

В июле распределение аномалий ПСС по сравнению с июнем претерпело существенные изменения. В результате активной

антициклонической деятельности на севере Европы сформировалась обширная область положительных аномалий геопотенциала (на уровне $H500$ до $+17$ дам), влияние которой распространялось на северную половину европейской части России, Поволжье, Урал и Западную Сибирь. Вся эта территория была занята положительными аномалиями ПСС с максимумом более 180 % на Кольском полуострове. При этом на станциях Мурманской области обновились наблюдавшиеся ранее максимумы. В южной половине ЕЧР, где на среднемесячной карте приземного давления располагалась область отрицательных аномалий, наблюдался дефицит солнечного сияния. Отрицательными аномалиями ПСС была также занята вся территория АЧР восточнее 90° в.д., за исключением тихоокеанского побережья, где отмечались положительные аномалии давления и соответственно положительные аномалии ПСС (более 130 %).

В августе территория страны, занятая отрицательными аномалиями ПСС, существенно сократилась и преобладающими стали положительные аномалии. Наиболее обширная область с существенными положительными аномалиями сформировалась на европейской территории страны. Средняя аномалия в Центральном ФО составила 96 часов. На многих станциях Центрального и Приволжского ФО были превышены наблюдавшиеся ранее месячные максимумы ПСС.

Осенью 2018 г. на территории РФ сохранилось преобладание положительных аномалий ПСС (рис. 5), причем в ЕЧР наблюдалось их существенное усиление по сравнению с летним сезоном (в среднем по региону от 108 до 118 %, на отдельных станциях – до 150 % от нормы). При этом осенний сезон в ЕЧР, как и весенний, получил ранг 2 в убывающем ряду сезонных значений ПСС, а ПСС в Северо-Западном, Центральном и Приволжском ФО попала в пять максимальных. Средняя аномалия ПСС для АЧР составила 104 %, а в Чукотском АО и на Сахалине наблюдались аномалии, попавшие в 5 %-й квантиль. В то же время на востоке АЧР несколько усилились по сравнению с летом отрицательные аномалии – на отдельных станциях они составляли менее 70 % от нормы.

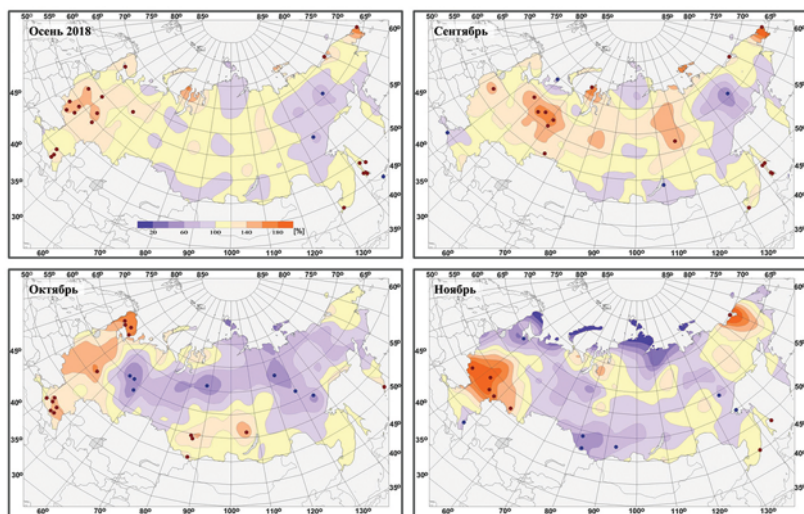


Рис. 5. То же, что на рис. 2, но для осени 2018 г.

В сентябре, по сравнению с августом, территория с дефицитом солнечного сияния ещё более сократилась. Наиболее обширная область отрицательных аномалий ПСС наблюдалась на востоке страны вблизи побережья Охотского моря. В ЕЧР дефицит солнечного сияния отмечался главным образом в Южном ФО. Наиболее существенные положительные аномалии наблюдались в районе Урала, где на среднемесячной карте геопотенциала $H500$ сформировались аномалии до +9 дам. Средняя аномалия в Уральском ФО составила 132 % от нормы. На отдельных станциях Республики Коми, Ханты-Мансийского АО и др. были превышены наблюдавшиеся ранее максимумы ПСС.

В октябре наиболее значительные положительные аномалии ПСС наблюдались в западной половине ЕЧР. Средняя аномалия ПСС в Северо-Кавказском ФО составила 58 часов (140 % от нормы), в Центральном – 43 часа (148 % от нормы). Как на севере ЕЧР (Кольский полуостров), так и на юге (Ставропольский край) на ряде станций были превышены наблюдавшиеся ранее максимумы. В АЧР заметные положительные аномалии отмечались в Ямало-Ненецком АО и в южной половине Сибирского ФО.

Наиболее существенные отрицательные аномалии ПСС наблюдались на востоке ЕЧР (в Коми-Пермяцком округе был обновлён исторический минимум для этого месяца). В АЧР дефицит солнечного сияния отмечался в восточных районах Красноярского края и центре Якутии.

В ноябре на европейской территории страны, где располагалась обширная область больших положительных аномалий давления, положительные аномалии ПСС усилились. Очаг с наибольшими значениями переместился в центральные районы ЕЧР. Средняя аномалия для Центрального ФО составила 171 % от нормы. В северных районах ЕЧР наблюдался дефицит солнечного сияния – в Северо-западном ФО средняя аномалия составила 82 %. В АЧР преобладали отрицательные аномалии ПСС (средняя аномалия 97 %). Очаги наиболее существенных отрицательных аномалий располагались на севере Восточной Сибири, а также в Алтайском крае, где на отдельных станциях дефицит солнечного сияния составил более 50 % от нормы. Очаг положительных аномалий наблюдался на Чукотке.

В декабре (рис. 6) в распределении ПСС на территории РФ произошли существенные изменения. В ЕЧР после продолжительного периода с преобладанием положительных аномалий наблюдался существенный дефицит солнечного сияния, который для этого региона стал экстремальным с 1961 г. На ряде станций суммарная за месяц ПСС была меньше наблюдавшихся ранее минимумов (Липецкая, Пензенская и другие области). В то же время мощный очаг положительных аномалий сформировался в южной половине Западной Сибири. Здесь на некоторых станциях ПСС почти вдвое превысила норму и были обновлены исторические максимумы (Томская, Новосибирская и Кемеровская области, Алтайский край, Республика Хакасия). Очаги положительных аномалий ПСС сформировались также в восточных районах Дальневосточного ФО.

Приведённые на рис. 7 оценки из табл. 2 наглядно показывают, что для территории РФ в целом месяцев с заметным дефицитом солнечного сияния не отмечалось. Наиболее солнечным по сравнению с нормой был сентябрь. На европейской территории

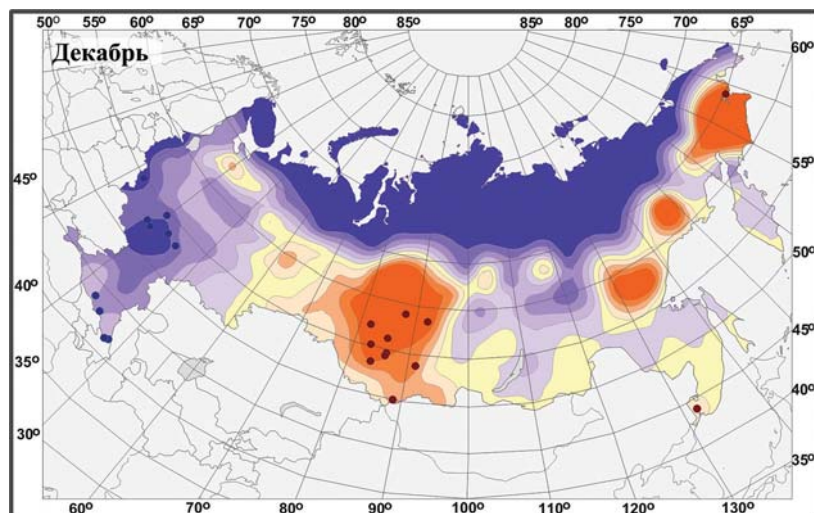


Рис. 6. То же, что на рис. 2, но для декабря 2018 г.

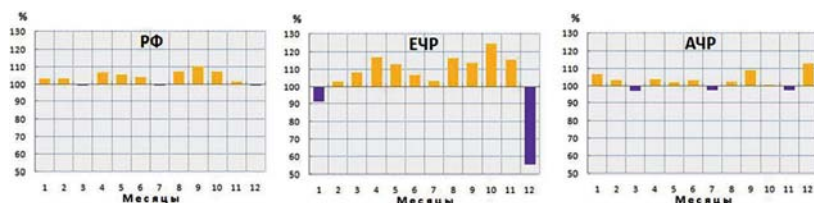


Рис. 7. Относительные аномалии суммарной за месяц продолжительности солнечного сияния, осреднённой по территории РФ, её европейской (ЕЧР) и азиатской (АЧР) частей, 2018 г.

страны положительные аномалии преобладали в течение всего года за исключением января и декабря. Наиболее солнечно в этом регионе было в октябре – средняя аномалия ПСС составила 125 %. В то же время декабрь 2018 г. отличился очень большим дефицитом солнечного сияния (аномалия составила 56 %) и является экстремальным в ряду с 1961 г. (имеет ранг 1 в ряду возрастающих значений ПСС). В АЧР, по сравнению с ЕЧР, и отрицательные, и положительные средние региональные месячные аномалии меньше по величине. Наиболее существенными были положительные аномалии в сентябре и декабре.

Заключение

В 2018 г. в целом для территории России средняя относительная аномалия ПСС составила 105 % и имела ранг 3 в ряду убывающих значений. Преобладание положительных аномалий наблюдалось во все сезоны на территории обеих её частей (ЕЧР и АЧР). Исключение составляет зима 2017/18 г. на европейской территории страны – средняя за сезон относительная аномалия составила здесь 95 %. В то же время осень в ЕЧР была наиболее солнечной по сравнению со всеми другими сезонами для ЕЧР и АЧР (средняя аномалия 118 %). При этом в сентябре наибольшие положительные аномалии отмечались для РФ в целом.

Зимой наибольшие положительные аномалии ПСС наблюдались в регионе «Центр и юг Западной Сибири» – средняя аномалия 128 % (Уральский ФО – 119 %), весной в центре ЕЧР – 114 % (Центральный ФО – 116 %), летом на юге ЕЧР – 110 % (Южный ФО – 111 %), осенью в центре ЕЧР – 124 % (Центральный ФО – 136 %). В результате, в целом за год наибольшие положительные аномалии ПСС отмечались в центре ЕЧР – 111 % (Центральный ФО – 114 %). Наибольший дефицит солнечного сияния в целом за год наблюдался в регионе «Чукотка и север Камчатки» – 96 %.

Рекордными в 2018 г. являются средняя за год положительная аномалия ПСС (110 %) в ЕЧР, а также наблюдавшаяся на этой территории отрицательная аномалия в декабре (56 %).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Annual Bulletin on the Climate in WMO Region VI - Europe and Middle East* - 2016. <https://www.dwd.de/EN/ourservices/ravibulletinjahr/ravibulletinjahr.html>.
2. Клещенко Л.К. Мониторинг продолжительности солнечного сияния на территории России // Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2018. Вып. 182. С. 29–46.
3. Мониторинг климата России. http://climatechange.igce.ru/index.php?option=com_docman&task=cat_view&gid=32&Itemid=75&lang=ru.
4. Климатические условия на территории России. <http://meteo.ru/pogoda-i-klimat/93-klimaticheskie-usloviya/179-klimaticheskie-usloviya-na-territorii-rossii>.
5. Анасова Е.Г., Клещенко Л.К. Описание массива данных суммарной за месяц продолжительности солнечного сияния на станциях России. <http://meteo.ru/data/160-sunshine-duration#описание-массива-данных>.

УДК [551.501+556.043+551.46]:43

НОРМАТИВНАЯ ПРАВОВАЯ БАЗА В ОБЛАСТИ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИИ И ВЛИЯНИЕ ЕЁ ИЗМЕНЕНИЙ НА УСЛОВИЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ФЕДЕРАЛЬНОЙ СЛУЖБЫ ПО ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИИ И МОНИТОРИНГУ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

И. И. Кашина

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

Развитие нормативной правовой базы федерального и ведомственного уровня в области гидрометеорологии является важнейшим условием обеспечения эффективной деятельности в этой сфере [1].

С этой целью в Федеральной службе по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (Росгидромете):

- ведутся актуализированная полнотекстовая база данных правовых актов Росгидромета и указатель законодательных актов в области гидрометеорологии;
- формируется ежегодный ведомственный информационный бюллетень о принятых нормативных правовых актов в области гидрометеорологии;
- готовится аналитическая справка об изменении нормативной правовой базы в области гидрометеорологии и влиянии этих изменений на условия деятельности Росгидромета [2].

В данной статье остановимся на экспертном анализе изменений правовой базы Росгидромета и законодательства Российской Федерации (РФ) в области гидрометеорологии. Такой анализ проводится автором статьи с 2012 года по настоящий момент.

На рис. 1 представлено количество правовых актов Росгидромета и законодательных актов РФ в области гидрометеорологии, принятых с 2011 по 2017 год.



Рис. 1. Количество проанализированных правовых актов за 2011–2017 гг.

Согласно этим данным, Росгидромет принимает в среднем от 700 до более 900 правовых актов в год (исключая правовые акты ограниченного доступа).

Количество проанализированных законодательных актов колеблется от 160 до 60 актов в год.

Динамика распределения документов по направлениям правового регулирования деятельности Росгидромета представлена на рис. 2 и 3.

Часть направлений объединены в раздел «Общие положения», а именно:

1. Государственные программы, концепции, стратегии
2. Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (Росгидромет)
3. Взаимодействие федеральных органов исполнительной власти, межведомственные комиссии
4. Организация научной деятельности
5. Техническое регулирование (стандартизация, метрология, сертификация)



Рис. 2. Распределение законодательных актов РФ по направлениям правового регулирования деятельности Росгидромета



Рис. 3. Распределение нормативных правовых актов Росгидромета по направлениям деятельности

6. Государственная экспертиза, надзор и контроль в области гидрометеорологии

7. Лицензирование отдельных видов деятельности в области гидрометеорологии

8. Правотворческая деятельность

9. Финансовое и материально-техническое обеспечение, хозяйственная деятельность

Как следует из диаграмм, основное количество документов связано с направлениями раздела «Общие положения». При этом законодательные акты РФ по этим направлениям составляют в среднем 50 % от общего количества документов, для Росгидромета – до 80 % и более.

По остальным направлениям законодательные акты РФ распределены относительно равномерно с вариациями по годам от 10 до 30 %.

Правовые акты Росгидромета в основном связаны с направлениями «Мониторинг окружающей среды» – до 8 % и «Гидрометеорологическое и гелиогеофизическое обеспечение органов государственной власти, Вооружённых сил Российской Федерации, а также населения» – до 4 %.

На рис. 4 представлено распределение законодательных актов РФ и правовых актов Росгидромета, принятых в 2017 году по направлениям раздела «Общие положения». Цифры 1–9 на рис. 4 соответствуют разделам 1–9, приведённым выше.

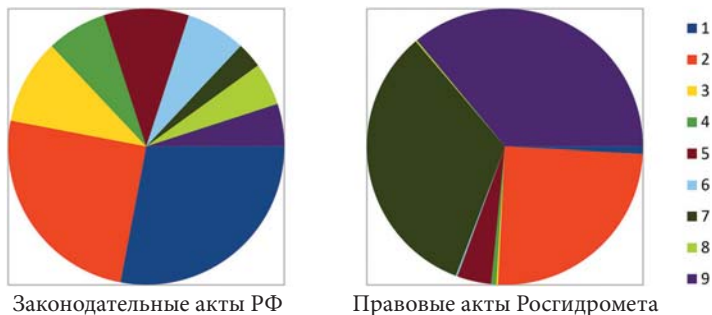


Рис. 4. Распределение законодательных актов РФ и правовых актов Росгидромета, принятых в 2017 году, по направлениям раздела «Общие положения»

Как следует из диаграмм рис. 4, основное количество законодательных актов РФ приходится на направления «Государственные программы, концепции, стратегии» – 28 %, «Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (Росгидромет)» – 25 %, «Взаимодействие федеральных органов исполнительной власти, межведомственные комиссии» – 10 %, «Техническое регулирование (стандартизация, метрология, сертификация)» – 10 %.

Нормативные правовые акты Росгидромета распределены в основном по направлениям «Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (Росгидромет)» – 25 %, «Лицензирование отдельных видов деятельности в области гидрометеорологии» – 33 %, «Финансовое и материально-техническое обеспечение, хозяйственная деятельность» – 36 %.

Рассмотрим на примере 2017 года влияние принятых законодательных и правовых актов на деятельность Росгидромета.

Решением правительства РФ в 2017 году внесены изменения в государственную программу Российской Федерации «Охрана окружающей среды» на 2012–2020 годы» [3, 4]. Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды является участником подпрограммы 3 «Гидрометеорология и мониторинг окружающей среды», подпрограммы 4 «Организация и обеспечение работ и научных исследований в Арктике и Антарктике» и федеральной целевой программы «Охрана озера Байкал и социально-экономическое развитие Байкальской природной территории на 2012–2020 годы», входящих в эту государственную программу.

Утверждён распоряжением правительства РФ план мероприятий по реализации Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации [5]. В Росгидромете создана Рабочая группа по подготовке прогноза технологического развития Росгидромета на период до 2030 года [6]. Определены основные направления деятельности Росгидромета для подготовки этого прогноза:

- Сеть наблюдений за состоянием окружающей среды (система наземных метеорологических и гидрологических наблюдений);
- Система геофизических наблюдений;
- Система космических наблюдений;
- Система аэрологических и метеорологических радиолокационных наблюдений;
- Система океанографических наблюдений;
- Активные воздействия на метеорологические процессы и явления;
- Гидрометеорологические прогнозы и расчёты;
- Климатическое обслуживание;
- Госфонд данных;
- Вычислительная подсистема;
- Телекоммуникационная подсистема и метеобеспечение авиации;
- Подсистема мониторинга выбросов и поглощений парниковых газов;
- Обеспечение работ в Арктике и Антарктике.

Постановлением правительства РФ в типовой регламент внутренней организации федеральных органов исполнительной власти добавлено «...организация и осуществление внутреннего финансового контроля и внутреннего финансового аудита» [7]. В соответствии с этим внесены изменения в Положение об осуществлении внутреннего финансового контроля в Федеральной службе по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды и утверждён порядок организации и осуществления Федеральной службой по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды внутреннего финансового аудита [8, 9].

Утверждены правительством РФ правила предоставления субсидий из федерального бюджета организациям:

- на осуществление расходов в области обеспечения единства измерений [10],
- на создание и ведение федерального информационного фонда технических регламентов и стандартов [11],

- на формирование и ведение федерального информационного фонда стандартов [12].

В системе Росгидромета введено более 30 методических документов по направлениям его деятельности.

Утверждён Росгидрометом перечень актов, содержащих обязательные требования, соблюдение которых оценивается Росгидрометом при проведении мероприятий по контролю:

- при осуществлении государственного надзора за проведением работ по активному воздействию на метеорологические и другие геофизические процессы на территории Российской Федерации;

- при осуществлении лицензионного контроля деятельности в области гидрометеорологии и смежных с ней областях (за исключением указанной деятельности, осуществляемой в ходе инженерных изысканий, выполняемых для подготовки проектной документации, строительства, реконструкции объектов капитального строительства);

- при осуществлении лицензионного контроля работ по активному воздействию на гидрометеорологические и геофизические процессы и явления [13].

Издано около 274 приказов Росгидромета о предоставлении, переоформлении или отказе в лицензии.

Утверждён порядок разработки, согласования, утверждения и учёта положений территориальных органов и уставов организаций Росгидромета, а также изменений и дополнений к ним [14]. Внесены изменения, утверждены или отменены более 32 уставов и положений учреждений Росгидромета.

Осуществлён переход к использованию кода BUFR для передачи результатов радиозондирования с аэрологической сети Росгидромета [15].

Разработана Росгидрометом Концепция совершенствования системы мониторинга загрязнения окружающей среды с учётом конкретизации задач федерального, регионального и локального уровней на 2017–2025 годы [16].

Одной из приоритетных целей, обозначенных в Концепции, является совершенствование государственного регулирования

деятельности в сфере осуществления мониторинга загрязнения окружающей среды, в том числе в части определения требований к формированию и функционированию систем наблюдений, форматам, содержанию и срокам предоставления информации.

Важная задача Росгидромета, заявленная в Концепции, это развитие и модернизация государственной наблюдательной сети, так как решение аналогичных задач для территориальных и локальных систем наблюдений должно реализовываться субъектами Российской Федерации при наличии средств, а хозяйствующими субъектами – по собственным программам в рамках осуществления производственного экологического контроля.

Другой задачей Росгидромета является обеспечение интеграции информационных ресурсов, получаемых государственной наблюдательной сетью, территориальными и локальными системами наблюдений, в Единый государственный фонд данных о состоянии окружающей среды, её загрязнении (ЕГФД), повышение уровня использования результатов мониторинга загрязнения окружающей среды для принятия управленческих решений в области охраны окружающей среды.

В рамках деятельности Росгидромета по защите населения и территорий от воздействия чрезвычайных ситуаций природного характера переработан порядок действий ФГБУ «Авиаметтелеком Росгидромета», ФГБУ «НПО «Тайфун», ФГБУ «Гидрометцентр России», центрального аппарата Росгидромета при получении предупреждений о цунами у российского побережья дальневосточных морей [17].

Определены состав материалов и результаты инженерных изысканий, подлежащие размещению в информационных системах обеспечения градостроительной деятельности, федеральной государственной информационной системе территориального планирования, Государственном фонде материалов и данных инженерных изысканий, Едином государственном фонде данных о состоянии окружающей среды, её загрязнении [18].

Материалы предоставляются в федеральный орган исполнительной власти, осуществляющий функции по управлению государственным имуществом и оказанию государственных услуг

в области гидрометеорологии и смежных с ней областях, а также в области мониторинга состояния и загрязнения окружающей среды, для размещения в Едином государственном фонде данных о состоянии окружающей среды, её загрязнении.

В Едином государственном фонде данных о состоянии окружающей среды, её загрязнении размещаются материалы и результаты инженерных изысканий (в объёме, предусмотренном разрабатываемой исполнителем работ программой инженерных изысканий), полученные в ходе выполнения следующих видов инженерных изысканий:

- инженерно-гидрометеорологические изыскания;
- инженерно-экологические изыскания.

Правительством РФ утверждена Программа Союзного государства «Развитие системы гидрометеорологической безопасности Союзного государства» на 2017–2021 годы [19].

На основе анализа изменений правовой базы в области гидрометеорологии в 2017 году произведён отбор 62 документов федерального уровня (указов и распоряжений Президента РФ, федеральных законов РФ, постановлений и распоряжений Правительства РФ) и 90 документов Росгидромета для включения в ведомственный информационный бюллетень «Нормативные правовые акты Российской Федерации в области гидрометеорологии и смежных с ней областях, изданные в 2017 году».

Ведомственный информационный бюллетень доступен широкому кругу пользователей на сайте ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД» по адресу <http://meteo.ru/npa/2017/bulletin2017.htm>.

Указанные законодательные акты федерального уровня и нормативные правовые документы Росгидромета способствовали решению основных задач, поставленных перед Федеральной службой по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды.

Заключение

ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД» ежегодно проводит анализ законодательных актов Российской Федерации и нормативных правовых документов Росгидромета и их влияния на условия деятельности в области гидрометеорологии.

Материалы анализа находят практическое применение при планировании Росгидрометом мероприятий по разработке новых или отмене действующих нормативных правовых актов, позволяют получить обобщённое представление об изменениях нормативной правовой базы в областях, важных для деятельности Росгидромета, акцентировать внимание участников этой деятельности на наиболее важных документах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Распоряжение* Правительства Российской Федерации от 3.09.2010 г. № 1458-р «Стратегия деятельности в области гидрометеорологии и смежных с ней областях на период до 2030 года (с учётом аспектов изменения климата)» // Собрание законодательства РФ. 2010. № 38. Ст. 4850. С. 10198–10222.
2. *Кашина И.И.* Отдельные аспекты мониторинга Законодательства Российской Федерации и ведомственных правовых актов в области гидрометеорологии // Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2014. № 177. С. 175–184.
3. *Постановление* Правительства РФ от 31.03.2017 № 397 «О внесении изменения в государственную программу Российской Федерации “Охрана окружающей среды” на 2012–2020 годы» // Собрание законодательства РФ. 2017. № 15. Ст. 2228.
4. *Постановление* Правительства РФ от 06.07.2017 № 802 «О внесении изменения в государственную программу Российской Федерации “Охрана окружающей среды” на 2012–2020 годы» // Собрание законодательства РФ. 2017. № 28. Ст. 4171.
5. *Распоряжение* Правительства РФ от 24.06.2017 № 1325-р «Об утверждении плана мероприятий по реализации Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации (вместе с “Планом мероприятий по реализации Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации”) на 2017–2019 годы» // Собрание Законодательства РФ. 2017. № 28. Ст. 4174.
6. *Приказ* Росгидромета от 27.06.2017 № 288 «О подготовке прогноза технологического развития Росгидромета на период до 2030 года».
7. *Постановление* Правительства РФ от 11.02.2017 № 174 «О внесении изменения в типовой регламент внутренней организации федеральных органов исполнительной власти» // Собрание законодательства РФ. 2017. № 9. Ст. 1357.
8. *Приказ* Росгидромета от 16.03.2017 № 97 «О внесении изменения в Положение об осуществлении внутреннего финансового контроля в Федеральной службе по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, утверждённое приказом Росгидромета от 18.12.2015 № 759».
9. *Приказ* Росгидромета от 16.03.2017 № 96 «Об утверждении порядка организации и осуществления Федеральной службой по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды внутреннего финансового аудита».

10. *Постановление* Правительства РФ от 21.03.2017 № 319 «Об утверждении правил предоставления субсидий из федерального бюджета организациям на осуществление расходов в области обеспечения единства измерений» // Собрание законодательства РФ. 2017. № 13. Ст. 1944.

11. *Постановление* Правительства РФ от 20.04.2017 № 478 «Об утверждении правил предоставления субсидий из федерального бюджета организациям на создание и ведение федерального информационного фонда технических регламентов и стандартов» // Собрание законодательства РФ. 2017. № 18. Ст. 2787.

12. *Постановление* Правительства РФ от 20.04.2017 № 479 «Об утверждении правил предоставления субсидий из федерального бюджета организациям на формирование и ведение федерального информационного фонда стандартов» // Собрание законодательства РФ. 2017. № 18. Ст. 2788.

13. *Приказ* Росгидромета от 29.06.2017 № 299 «Об утверждении перечней актов, содержащих обязательные требования, соблюдение которых оценивается Росгидрометом при проведении мероприятий по контролю (надзору)».

14. *Приказ* Росгидромета от 26.06.2017 № 285 «Об утверждении Порядка разработки, согласования, утверждения и учёта положений территориальных органов и уставов организаций Росгидромета, а также изменений и дополнений к ним».

15. *Приказ* Росгидромета от 20.04.2017 № 174 «О переходе к использованию кода BUFR для передачи результатов радиозондирования с аэрологической сети Росгидромета».

16. *Приказ* Росгидромета от 02.02.2017 № 23 «Об утверждении концепции совершенствования системы мониторинга загрязнения окружающей среды с учётом конкретизации задач федерального, регионального и локального уровней на 2017–2025 годы».

17. *Приказ* Росгидромета от 02.06.2017 № 262 «О порядке действий ФГБУ «Авиаметтелеком» Росгидромета, ФГБУ «НПО «Тайфун», ФГБУ «Гидрометцентр России», Центрального аппарата Росгидромета при получении предупреждений о цунами у российского побережья дальневосточных морей.

18. *Постановление* Правительства РФ от 22.04.2017 № 485 «О составе материалов и результатов инженерных изысканий, подлежащих размещению в информационных системах обеспечения градостроительной деятельности, Федеральной государственной информационной системе территориального планирования, Государственном фонде материалов и данных инженерных изысканий, Едином государственном фонде данных о состоянии окружающей среды, её загрязнении, а также о форме и порядке их представления» // Собрание законодательства РФ. 2017. № 18. Ст. 2794.

19. *Постановление* Совета Министров Союзного Государства от 22.02.2017 № 10 «О программе Союзного государства «Развитие системы гидрометеорологической безопасности Союзного государства» на 2017–2021 годы // http://www.rusbeltmeteo.ru/index.php?option=com_content&view=article&id=508:1-r-2017-2021-&catid=15.

УДК 551.507.23:004

СОЗДАНИЕ ИНФОРМАЦИОННОЙ БАЗЫ ДАННЫХ СУДОВЫХ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ «МОРМЕТ» И «МОРМЕТ-2006»

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

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

¹ kem@meteo.ru, ² meb@meteo.ru, ³ ashevchenko@meteo.ru

Введение

В конце 1983 года в Центре океанографических данных (ЦОД) ВНИИГМИ-МЦД открылась лаборатория морской метеорологии (ЛММ).

В течение трёх последующих лет для выполнения научно-исследовательских и хозяйственных работ использовались массивы судовых метеорологических наблюдений, хранящиеся в Центре гидрометеорологических данных (ЦГМД) ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД» в трёх различных форматах, и на конец 1986 года число таких файлов было уже более 400. При необходимости расчёта характеристик определённых морей и регионов Мирового океана существенная часть времени тратилась на формирование файла, содержащего данные по необходимому региону Мирового океана.

Создание архива судовых метеорологических наблюдений «МОРМЕТ»

Для систематизации данных наблюдений в конце 1986 года в ЛММ началась работа по созданию нового массива судовых метеорологических наблюдений, в котором данные были бы сгруппированы по регионам Мирового океана. Архив был создан в 1988 году и имеет название «МОРМЕТ». Архив «МОРМЕТ» был передан в ЦГМД.

В работах Е. М. Кракановской, Н. Н. Калининой, И. Г. Ульянича, К. Б. Юдина, В. Н. Поповой [1–6] дано детальное описание

формата данных архива «МОРМЕТ», подробно рассказано о источниках данных при создании архива, описаны этапы создания архива «МОРМЕТ», а также представлена работа с данными архива «МОРМЕТ».

Основное отличие архива «МОРМЕТ» от предыдущих архивов по судовой метеорологии – это распределение судовых метеорологических наблюдений по 36 географическим районам (регионам). Каждый файл содержал данные одного географического района. Список названий и номеров регионов приведён в табл. 1.

Таблица 1

Список названий и номеров регионов Мирового океана

№	Номер региона	Название региона Мирового океана
1	100	Северный Ледовитый океан (севернее 80° с. ш.)
2	101	Баренцево море
3	102	Белое море
4	103	Карское море, Обский залив
5	104	Море Лаптевых
6	105	Восточно-Сибирское море
7	106	Чукотское море
8	107	Море Бофорта, залив Ларри
9	108	Гренландское море
10	109	Море Баффина, Девисов пролив
11	210	Северная часть Атлантического океана (30° с. ш. – 80° с. ш.)
12	211	Норвежское море
13	212	Северное, Ирландское моря, пролив Ла-Манш
14	213	Балтийское море, пролив Каттегат
15	214	Средиземное море
16	215	Чёрное море, Азовское море
17	216	Гудзонов залив, Гудзонов пролив
18	220	Тропическая часть Атлантического океана (30° ю. ш. – 30° с. ш.)
19	221	Карибское море, Мексиканский залив
20	230	Южная часть Атлантического океана (30° ю. ш. – 60° ю. ш.)
21	231	Пролив Дрейка
22	301	Каспийское море
23	302	Аральское море
24	410	Северная часть Тихого океана (30° с. ш. – 80° с. ш.)

Окончание табл. 1

№	Номер региона	Название региона Мирового океана
25	411	Берингово море
26	412	Охотское море
27	413	Японское море
28	414	Жёлтое море, Восточно-Китайское море
29	420	Тропическая часть Тихого океана (30° ю. ш. – 30° с. ш.)
30	421	Южно-Китайское море
31	422	Моря и проливы Малайского архипелага.
32	430	Южная часть Тихого океана (30° ю. ш. – 60° ю. ш.)
33	510	Красное море, Аравийское море, Персидский, Бенгальский заливы (до 10° с. ш.)
34	520	Тропическая часть Индийского океана (10° с. ш. – 30° ю. ш.)
35	530	Южная часть Индийского океана (30° ю. ш. – 60° ю. ш.)
36	600	Антарктический бассейн (южнее 60° ю. ш.)

Внутри каждого файла-региона данные отсортированы:

- в порядке возрастания номеров десятиградусных квадратов;
- внутри каждого десятиградусного квадрата – по возрастанию номеров одноградусных квадратов;
- внутри каждого одноградусного квадрата информация за весь период наблюдений упорядочена в хронологическом порядке (по возрастанию даты): по годам; для каждого года – по месяцам, для каждого месяца – по дням, для каждого дня – по срокам;
- внутри каждого срока наблюдения информация отсортирована по возрастанию широты и долготы;
- далее – по символам, составляющим радиопозывной судна.

После создания в 1988 году первоначальной версии архива «МОРМЕТ» в лаборатории морской метеорологии производится регулярное его пополнение. В табл. 2 приведено распределение числа наблюдений архива «МОРМЕТ» по регионам Мирового океана за периоды: от начала наблюдений по 1995 год и за период 1996–2005 гг., а в табл. 3 приведено распределение числа наблюдений архива «МОРМЕТ» по океаническим станциям погоды (данные по океаническим станциям погоды выделены в отдельные файлы).

Таблица 2

**Распределение числа наблюдений архива «МОРМЕТ»
по регионам Мирового океана**

Номер региона	По 1995 год	Число наблюдений в порции данных за 1996–2005 годы
100	31 702	16 203
101	1 033 729	117 230
102	83 037	9 377
103	111 654	20 124
104	25 366	3 396
105	26 766	1 984
106	25 817	7 382
107	36 092	21 734
108	196 536	48 165
109	452 163	102 095
210	7 849 479	2 837 336
211	1 563 029	596 096
212	2 181 343	2 018 763
213	930 519	793 882
214	1 464 733	564 051
215	249 969	5 794
216	10 298	10 349
220	4 638 899	1 349 162
221	909 774	736 756
230	614 709	136 627
231	14 952	5 524
301	285 623	нет данных
302	19 858	нет данных
410	5 473 470	2 636 708
411	1 088 687	146 407
412	1 408 342	65 448
413	916 247	101 822
414	294 300	118 962
420	3 225 641	1 412 948
421	844 757	276 428
422	194 894	112 312
430	644 798	202 763
510	698 263	334 491
520	1 302 271	528 575
530	519 912	232 668
600	148 841	43 848
Итого	39 516 470	15 615 410

Т а б л и ц а 3

**Распределение числа наблюдений архива «МОРМЕТ»
по океаническим станциям погоды**

Название станции	Координаты станции	Период наблюдений	Число наблюдений
A	62,0° с. ш. – 33,0° з. д.	1949–1974	64 895
B	56,5° с. ш. – 51,0° з. д.	1949–1974	69 106
C	52,7° с. ш. – 35,5° з. д.	1949–1989	136 762
D	44,0° с. ш. – 41,0° з. д.	1949–1973	68 181
E	35,0° с. ш. – 48,0° з. д.	1949–1973	66 188
I	59,0° с. ш. – 19,0° з. д.	1953–1975	79 979
J	52,5° с. ш. – 20,0° з. д.	1953–1975	63 533
H	37,0° с. ш. – 71,0° з. д.	1949–1977	26 635
K	45,0° с. ш. – 16,0° з. д.	1953–1975	61 817
L	57,0° с. ш. – 20,0° з. д.	1975–1989	113 715
M	66,0° с. ш. – 2,0° в. д.	1953–1988	150 595
R	47,0° с. ш. – 17,0° з. д.	1975–1980	13 178
11	37,5° с. ш. – 3,0° в. д.	1961–1978	29 006
17	49,0° с. ш. – 148,0° з. д.	1949–1969	60 453
22	31,0° с. ш. – 164,0° в. д.	1951–1969	52 280

С момента создания и по настоящее время данные архива «МОРМЕТ» использовались для выполнения научно-исследовательских работ, подготовки режимно-справочных пособий, для обслуживания народного хозяйства данными судовых метеорологических наблюдений.

Данные архива «МОРМЕТ» также являются ресурсом пополнения информационной базы судовых метеорологических наблюдений Единой системы информации об обстановке в Мировом океане (ЕСИМО).

**Создание архива судовых метеорологических наблюдений
«МОРМЕТ-2006»**

В 2004 году изменился формат Международной морской метеорологической ленты (МММЛ). Новая версия формата получила имя МММЛ-3, (МММЛ, версия 3). В состав записи нового формата были включены метеорологические параметры, которые ранее не входили в состав записей предыдущих версий МММЛ.

Международный обмен данными в новом формате стал осуществляться с 1 января 2007 года. В связи с этим в лаборатории морской метеорологии было разработано описание нового архива, который получил название «Судовая метеорология МОРМЕТ-2006».

Преимущество структуры «МОРМЕТ-2006», по сравнению со структурой «МОРМЕТ», заключается в следующем.

1. Широта и долгота наблюдения со знаком (плюс либо минус).

2. Длина поля элемента «позывной судна» расширена до 10 символов.

3. Добавлены такие элементы, как «индикатор температуры смоченного термометра» и «индикатор температуры точки росы».

4. Добавлены новые метеорологические параметры, которые поступают в записях данных международного обмена с 1 января 2007 года, а также в записях наблюдений отечественных судов после оцифровки судовых журналов наблюдений КГМ-15:

- Курс судна; направление, на которое указывает нос судна, относительно истинного севера.
- Истинный курс судна; истинное направление, в котором фактически движется судно, относительно истинного севера.
- Истинная скорость судна; истинная скорость, с которой фактически движется судно.
- Максимальная высота в метрах палубного груза над летней максимальной грузовой ватерлинией.
- Знак отклонения нулевого уровня. Отклонение положительно, когда летняя максимальная грузовая ватерлиния находится выше уровня моря, и отрицательно, когда ниже.
- Отклонение нулевого уровня (летняя максимальная грузовая ватерлиния) от фактического уровня моря.
- Направление наблюдающегося на судне (кажущегося) ветра.
- Скорость наблюдающегося на судне (кажущегося) ветра.

Полное описание структуры архива «МОРМЕТ-2006» и технологии его создания и пополнения приведено в документах [7–9].

Структура записей архива «МОРМЕТ-2006» соответствует требованиям формата Языка описания гидрометеорологических данных (ЯОГМД), принятом в ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД» для архивации гидрометеорологических данных [10].

Длина записи архива «МОРМЕТ-2006» постоянна и равна 126 байтам.

Идентификатор судна и код страны, зафрахтовавшей судно, являются символьными элементами записи наблюдения. Все остальные элементы записи являются целыми двоичными числами длиной один либо два байта.

Значения констант отсутствия элементов записи следующие:

- при отсутствии двухбайтового элемента константой отсутствия является величина, равная -32768;
- при отсутствии однобайтового элемента константой отсутствия является величина, равная -128;
- при отсутствии символьного элемента поле заполняется пробелами.

Каждая запись файла данных идентифицируется призначной частью, содержащей информацию о пространственных и временных характеристиках наблюдения. Семь призначных элементов принимают только числовые значения и являются ключевыми элементами записи, т.е. обеспечивают поиск данных в архиве: номер региона (табл. 1), номер десятиградусного квадрата, номер одноградусного квадрата, год, месяц, число, часы (срок) ВСВ (Всемирное скоординированное время).

Номер десятиградусного квадрата состоит из трёх цифр: первая цифра – октант земного шара, вторая цифра – десятки широты, третья цифра – десятки долготы. Номер одноградусного квадрата состоит из двух цифр: первая цифра – единицы широты, вторая цифра – единицы долготы. Октант принимает значения 0, 1, 2, 3, 5, 6, 7, 8. Координаты наблюдений указываются в десятых долях градусов без десятичной точки, широта наблюдения принимает значения от -900 до +900, со знаком (+ северная, - южная),

долгота наблюдения принимает значения от -1800 до +1799 и со знаком (+ восточная, - западная).

Платформа наблюдения идентифицируется позывными судна. Код страны указывается в соответствии с кодом ВМО [11].

Характеристики контроля качества могут принимать одно из значений:

- 0 – контроль качества по этому элементу не проводился;
- 1 – контроль качества показал, что величина правильна;
- 2 – контроль качества показал, что элемент логически не соответствует другим элементам;
- 3 – контроль качества показал, что величина сомнительна;
- 4 – контроль качества показал, что величина ошибочна;
- 5 – значение элемента изменено в результате контроля;
- 9 – значение элемента отсутствует.

Записи архива «МОРМЕТ-2006» по 2005 год включительно были сформированы путём преобразования данных из архива «МОРМЕТ» в архив «МОРМЕТ-2006».

Пополнение архива «МОРМЕТ-2006», начиная с 2006 года, осуществляется ежегодно, используя три основных источника поступлений данных наблюдений во ВНИИГМИ-МЦД, а именно:

- 1) наблюдения отечественных и зарубежных судов, поступающие в виде телеграмм по Глобальной телекоммуникационной сети;
- 2) наблюдения зарубежных судов, поступающие в процессе международного обмена по проекту ВМО (участие России в проекте Системы морских климатических сборников ВМО);
- 3) наблюдения отечественных судов, полученные после оцифровки судовых журналов наблюдений КГМ-15.

Технология ежегодного пополнения архива «МОРМЕТ-2006» подробно рассмотрена в [8, 9] и включает следующие основные этапы:

- 1. Контроль поступающих наблюдений и преобразование их в формат архива «МОРМЕТ-2006».
- 2. Объединение полученных порций.
- 3. Поиск и удаление дублей.
- 4. Разделение общего файла данных на файлы-регионы;
- 5. Получение справочной информации.

Структура хранения ежегодной порции данных следующая. В каждой директории с именем региона размещены файл данных и файл описания данных. Имя файла данных сформировано с использованием номера региона Мирового океана и года, за который собраны судовые метеорологические данные: reg100_2017, ..., reg600_2017. В файле описания данных находится информация о наборе метеозлементов, представлены значения первых и последних ключевых элементов записи и периоде наблюдений, а также содержится описание формата судовых метеорологических данных в терминах Языка описания гидрометеорологических данных (ЯОГМД).

Контроль данных

В ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД» при создании всех архивов большое внимание уделялось контролю качества данных. Данной проблеме посвящено много изданных документов. Достаточно перечислить работы таких авторов, как Е. Д. Вязилов, И. В. Землянов, М. И. Кабанов, Г. И. Пролиско, Е. Н. Савейко, С. Р. Степаненко, А. А. Воронцов, О. А. Алдухов, И. В. Черных [12–15].

При создании архивов «МОРМЕТ» и «МОРМЕТ-2006» также особое внимание обращалось на качество и контроль данных.

В большинстве своём судовые метеорологические наблюдения проводятся не на стационарных станциях, а на движущихся кораблях либо буюх; более того, не научных, а на попутных судах, добровольно проводящих наблюдения (например, контейнеровозы, рыболовные траулеры и т. д.), причём квалификация наблюдателя штурманского состава таких судов невелика (обнаруживается много ошибок в передаче не только метеопараметров, но даже и координат наблюдения).

Поэтому в силу такой специфики судовых метеорологических наблюдений проводится первоначальный контроль на принадлежность точки наблюдения акватории какого-либо моря или океана с помощью созданного в 1986 году сотрудниками ЛММ специального файла с именем SEA.DAT, хранящего карту береговой линии Мирового океана с точностью до 1 градуса.

Далее проводится логический контроль на допустимые пределы и взаимосвязь метеоэлементов записи каждого судового наблюдения. Контроль проводился по алгоритмам, рекомендованным ВМО [16]. Использовались также дополнительные процедуры контроля, разработанные для архивов по судовой метеорологии, которые подробно описаны в работе Б. А. Бирмана, Ю. А. Краюшкина, Л. Г. Шушаковой [17].

Эти алгоритмы контроля при создании архивов «МОРМЕТ» и «МОРМЕТ-2006» многократно совершенствовались и подробно описаны в работах Е. М. Кракановской, И. Г. Ульянича, В. Н. Поповой, С. М. Сомовой, Е. Б. Маринченко, А. И. Шевченко [18–20].

Алгоритмы и методы контроля при создании архивов «МОРМЕТ» и «МОРМЕТ-2006» следующие.

1. Контроль координат наблюдения с помощью файла SEA.DAT, хранящего карту береговой линии Мирового океана. При этом наблюдение, имеющее ошибочные координаты, исключается из архива.

2. Далее проводится контроль на допустимые пределы и взаимосвязь следующих метеоэлементов записи каждого судового наблюдения.

- Контроль температуры воздуха на предельные климатические значения для каждого месяца и каждого десятиградусного квадрата Мирового океана, хранящиеся в специальном файле «LIMITS».
- Контроль температуры воды на предельные значения для каждого месяца и каждого пятиградусного квадрата Мирового океана, хранящиеся в специальном файле «GOSTA 8_12_MON», созданного сотрудниками лаборатории морской метеорологии на основе данных атласа «Global ocean surface temperature atlas» [21].
- Контроль атмосферного давления.
- Контроль направления и скорости ветра.
- Контроль элементов влажности.
- Контроль ветрового ветра и волнения.
- Контроль элементов облачности.
- Контроль видимости и погоды.

- Контроль элементов зыби первой и второй систем.
- Контроль характеристики и величины барической тенденции.

Заключение

С девяностых годов прошлого века и по сегодняшний день данные архива «МОРМЕТ» регулярно (каждое полугодие) пополняют информационную базу судовых метеорологических наблюдений Единой системы информации об обстановке в Мировом океане (ЕСИМО).

Поскольку записи архива «МОРМЕТ-2006» включают дополнительные метеорологические элементы, по сравнению с записями архива «МОРМЕТ», имеет смысл одновременно формировать в лаборатории морской метеорологии оба архива – и «МОРМЕТ», и «МОРМЕТ-2006».

В табл. 4 приведено распределение числа наблюдений архива «МОРМЕТ-2006» по регионам Мирового океана за 2006–2017 гг.

Т а б л и ц а 4

**Распределение числа наблюдений архива «МОРМЕТ-2006»,
полученных за 2006–2017 гг., по регионам Мирового океана**

Номер региона	2006	2007	2008	2009	2010	2011
100	2 276	7 076	4 864	3 318	2 008	4 154
101	15 248	16 043	16 194	19 442	12 070	9 743
102	862	1 437	653	550	922	625
103	3 488	4 355	2 707	3 628	1 978	1 540
104	404	554	659	682	447	591
105	138	226	410	216	581	1 094
106	653	831	1 236	1 215	1 527	3 176
107	2 869	4 751	7 094	12 287	13 426	13 675
108	8 283	9 118	21 932	22 720	19 329	19 904
109	11 028	10 347	11 702	20 272	22 437	33 969
210	445 906	470 152	876 818	970 195	1 017 446	1 132 394
211	68 046	74 345	144 861	177 781	115 881	126 493
212	235 613	269 386	544 388	687 420	479 607	756 728
213	111 733	127 981	260 503	278 567	56 544	61 646
214	100 331	126 937	113 331	116 801	168 817	183 055
215	687	3 102	2 989	1 740	1 922	2 165

Продолжение табл. 4

Номер региона	2006	2007	2008	2009	2010	2011
216	1 945	748	829	2 197	4 090	9 694
220	200 999	181 839	276 711	280 803	273 440	336 764
221	108 875	120 660	253 935	307 184	340 451	376 616
230	18 771	12 744	21 924	21 379	17 851	21 911
231	1 267	1 813	1 557	2 308	1 998	2 443
410	374 227	408 567	860 776	855 625	858 961	930 673
411	23 417	27 937	47 308	48 773	34 984	29 034
412	5 697	5 552	6 243	6 116	7 110	8 219
413	14 012	15 051	14 597	15 010	17 053	13 041
414	12 809	18 085	17 507	18 678	19 821	18 121
420	17 1910	281 544	238 451	247 896	244 750	290 892
421	37 547	43 666	41 188	42 806	39 434	39 225
422	15 824	38 452	13 010	14 501	13 518	12 964
430	23 962	60 425	35 360	42 602	39 129	41 574
510	57 278	58 661	55 769	50 477	56 512	54 962
520	82 831	108 530	90 570	79 608	84 644	90 241
530	32 475	144 659	45 657	64 713	48 887	50 409
600	6 945	13 295	9 481	9 208	12 026	12 364
Итого	2 198 356	2 668 869	4 041 214	4 426 718	4 029 601	4 690 099

Номер региона	2012	2013	2014	2015	2016	2017
100	5 474	2 758	3 819	5 536	4 191	6 557
101	17 118	8 866	11 313	6 602	8 109	8 992
102	1 007	744	863	472	479	513
103	1 804	2 216	2 234	2 558	2 016	1 727
104	586	448	574	661	474	1 182
105	1 197	1 302	1 288	867	898	636
106	4 867	6 143	4 637	10 019	2 528	1 694
107	37 092	25 942	20 049	17 661	18 373	8 391
108	32 374	19 509	23 172	21 115	24 525	31 401
109	69 441	55 940	54 198	63 509	70 007	40 487
210	1 339 854	1 245 373	1 348 259	1 311 093	1 329 575	1 163 269
211	264 472	145 961	180 291	167 370	159 239	139 686
212	1 030 239	826 754	1 200 205	1 219 484	1 279 157	1 177 665
213	63 071	73 366	71 276	86 055	83 405	136 538

Окончание табл. 4

Номер региона	2012	2013	2014	2015	2016	2017
214	296 720	237 367	204 465	213 435	186 343	165 963
215	2 641	3 282	3 265	1 851	2 258	2374
216	24 204	19 764	16 514	18 045	21 032	11 066
220	338 157	298 232	293 799	309 216	292 040	287 308
221	350 339	330 172	305 775	356 845	377 928	345 312
230	26 631	21 967	18 550	19 843	21 688	23 410
231	2 828	3 474	1 831	2 348	4 096	2 996
410	1 018 462	887 949	884 646	974 801	1 000 935	972 677
411	38 142	22 862	40 233	38 112	43 355	33 417
412	8 181	9 603	5 427	3 813	2 368	2 542
413	13 792	13 432	13 301	11 074	11 390	8 270
414	26 303	22 770	26 737	26 554	26 813	31 261
420	363 899	272 830	255 964	298 558	350 853	361 021
421	51 981	46 642	48 895	49 817	46 028	50 636
422	12 499	12 440	14 528	15 015	14 934	18 757
430	46 546	34 120	35 371	40 103	49 009	56 894
510	57 489	53 699	43 957	62 198	78 146	83 428
520	104 836	91 739	85 413	79 849	90 242	90 575
530	50 945	49 109	48 315	42 504	40 035	38 340
600	12 653	11 806	13 898	10 336	14 765	20 533
Итого	5 715 844	4 858 581	5 283 062	5 487 319	5 657 234	5 325 518

На сегодняшний день общий объём данных и архива «МОРМЕТ», и архива «МОРМЕТ-2006» составляет более ста миллионов наблюдений по всем регионам Мирового океана, и эти судовые метеорологические наблюдения могут использоваться как для выполнения научно-исследовательских работ и подготовки режимно-справочных пособий, так и для обслуживания народного хозяйства.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Архив «Судовые метеорологические наблюдения» (МОРМЕТ): Описание архива.* Исполнитель – Е. М. Кракановская. Обнинск: ВНИИГМИ-МЦД, 1988. 27 с. Инв. № 207.
2. *Создание и пополнение информационной базы банка данных «Морская метеорология» (CONVERT): Комплекс программ.* Обнинск: ВНИИГМИ-МЦД;

Разработчики – Н.Н. Калинина, Е.М. Кракановская, И.Г. Ульянич. Инв. № И1032. Обнинск, 1988.

3. *Доступ к данным морских метеорологических наблюдений массива «МОРМЕТ»*: Пакет программ / ВНИИГМИ-МЦД; Разработчики – Е.М. Кракановская, И.Г. Ульянич. Инв. № М050021120. Обнинск: ВНИИГМИ-МЦД, 1988.

4. *Ульянич И.Г., Юдин К.Б., Кракановская Е.М., Калинина Н.Н.* Новая версия массива судовой метеорологической информации // Труды ВНИИГМИ-МЦД, 1990. Вып. 151. С. 65–73.

5. *Ульянич И.Г., Юдин К.Б., Кракановская Е.М., Калинина Н.Н.* Технология создания, пополнения и использования массива судовой метеорологической информации // Труды ВНИИГМИ-МЦД, 1990. Вып. 151. С. 121–130.

6. *Yudin K.B., Ulyanich I.G., Popova V.N., Krakanovskaya Ye.M., Razuvaev V.* Russian Marine Meteorological Data Set // Proceedings of the International COADS Workshop, Colorado, 13–15 January 1992. Boulder: U. S. Department of Commerce, 1992. P. 73–79.

7. *Сомова С.М., Кракановская Е.М.* Судовая метеорология «МОРМЕТ-2006». Описание архива. Обнинск: ВНИИГМИ-МЦД, 2006.

8. *Сомова С.М., Попова В.Н., Кракановская Е.М.* Технология накопления и ведения информационных ресурсов для регулярного пополнения архива «Судовая метеорология “МОРМЕТ-2006”». Общее описание технологии. Обнинск: ВНИИГМИ-МЦД, 2007.

9. *Сомова С.М., Попова В.Н., Кракановская Е.М.* Технология накопления и ведения информационных ресурсов для регулярного пополнения архива «Судовая метеорология “МОРМЕТ-2006”». Руководство пользователя. Обнинск: ВНИИГМИ-МЦД, 2007.

10. *Веселов В.М.* Язык описания гидрометеорологических данных для IBM PC совместимых ПЭВМ // Труды ВНИИГМИ-МЦД, 1996. Вып. 160. С. 41–54.

11. *Manual of Codes*, WMO No 306, Vol. 1. Secretariat of the World Meteorological Organization. Geneva, Switzerland, 1998.

12. *Вязилов Е.Д., Землянов И.В., Кабанов М.И., Пролиско Г.И., Савейко Е.Н.* Технология контроля порейсового массива батометрических данных // Труды ВНИИГМИ-МЦД, 1990. Вып. 151. С. 105–115.

13. *Степаненко С.Р., Воронцов А.А.* Оценка качества массива суточных значений температуры воздуха // Труды ВНИИГМИ-МЦД, 2010. Вып. 174. С. 162–174.

14. *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.

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

16. *Annex 2 to Recommendation 9/3 (JCOMM-II). Amendments to the Manual on Marine Meteorological Services and Guide to Marine Meteorological Services. Minimum Quality Control Standards MQCS-V (Version 5). Joint WMO/IOC technical Commission for Oceanography and Marine Meteorology (JCOMM). Second session. Halifax, Canada, 19–27 September 2005.*
17. Бирман Б.А., Краюшкин Ю.А., Шушакова Л.Г. Логический контроль данных судовых метеорологических наблюдений // Труды ВНИИГМИ-МЦД. 1984. Вып. 117.
18. Кракановская Е.М., Ульянич И.Г. О контроле качества судовой метеорологической информации // Труды ВНИИГМИ-МЦД. 1990. Вып. 151. С. 116–120.
19. Попова В.Н., Сомова С.М., Кракановская Е.М. О новых процедурах контроля качества судовых метеорологических наблюдений в процессе первичной обработки // Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2014. Вып. 178. С. 97–104.
20. Кракановская Е.М., Маринченко Е.Б., Шевченко А.И. Первоначальный контроль и исправление данных судовых метеорологических наблюдений, поступающих с каналов связи, для формирования архивов долговременного хранения «МОРМЕТ» и «МОРМЕТ-2006» // Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2018. Вып. 183. С. 182–189.
21. Bottomley M., Folland C.K., Hsiung J., Newell R.E., Parker D.E. Global ocean surface temperature atlas «GOSTA». Meteorological Office, Bracknell, UK and the Department of Earth, Atmospheric and Planetary Sciences, Massachusetts Institute of Technology. Cambridge, MA, USA. 1990. 20 p. and 313 plates.

УДК 551.586

ОЦЕНКА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ БИОКЛИМАТИЧЕСКОГО ИНДЕКСА СУРОВОСТИ КЛИМАТИЧЕСКОГО РЕЖИМА НА ТЕРРИТОРИИ РОССИИ

А. Ф. Финаев

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

Введение

Огромная территория России имеет много природно-климатических зон – от равнин до высокогорья, от пустынных и субтропических до полярных. Программы развития экономики предполагают проведение работ на открытом воздухе в различных климатических районах, которые в большой степени зависят от комфортности климата на данной территории. Оценка суровости окружающей среды имеет большое значение для организации режима труда, мер профилактики и медицинского обслуживания персонала, создания средств жизнеобеспечения и защиты, планирования оптимальных сроков проведения работ, оценки изменения производительности труда и т.д. Изучение воздействия климата на здоровье человека проводилось многими исследователями. В Руководстве по специализированному климатологическому обслуживанию экономики [1] представлено около двадцати основных индексов по оценке воздействия климата на человека. Обычно эти индексы использовались в целях курортологии, рекреации и медицины. Многочисленность индексов говорит о том, что нет единого мнения по оценке воздействия климатической среды на человека. В России часто используют индекс суровости по Бодману. Для его расчётов необходимы только два параметра – температура и скорость ветра. Из всего многообразия таких оценок можно выделить Биоклиматический индекс суровости климатического режима (БИСКР), который

ранее назывался Биоклиматический индекс суровости метеорежима (БИСМ) [1–3]. В международной английской интерпретации – BISCR (Bioclimatic Index of Severity of Climatic Regime) [7]. Для расчёта БИСКР используются пять метеорологических параметров – атмосферное давление, температура и влажность воздуха, скорость ветра и солнечная радиация. По мнению автора, использование этих основных параметров атмосферы даёт наиболее оптимальную оценку воздействия погоды и окружающей среды на человека. Данный индекс является мерой комфорта, который отражает воздействие разных климатических условий на организм человека, а принципы, лежащие в его основе, описаны в работе В.Ш. Белкина [4].

Методика

На основании сопоставления реальных результатов расчётов и физиолого-гигиенических сведений о влиянии климата различных регионов на человека была предложена формула, позволяющая осуществить оценку BISCR в разных масштабах времени, пространства и преобладания тех или иных зональных условий (пустыня, высокогорье, зоны с холодным климатом). Этот биоклиматический индекс является интегральным показателем степени биоклиматического дискомфорта при многообразных видах жизнедеятельности.

В основу создания индекса легли эмпирические понятия «комфортности» и «экстремальности» влияния отдельных факторов на организм человека. Индекс меняется от нуля до десяти. Величина «десять» достигается при идеальных условиях, а «ноль» соответствует летальному исходу. Пределы уровней различных метеорологических параметров были установлены эмпирически: 1) комфортная температура – +22 °С; экстремальные температуры – +60 °С и -90 °С (-83,8 °С зарегистрировано на станции Восток в Антарктиде); 2) комфортное атмосферное давление – 1 013 гектопаскалей (hPa), экстремально низкое атмосферное давление – 266 hPa (высота Эвереста); 3) комфортная скорость ветра от штиля до 0,5 м/с, при экстремальном значении в 50 м/с; 4) комфортная относительная влажность 50 % при

экстремальных значениях 0 и 100 % (экстремальные значения влажности воздуха не приводят непосредственно к гибели организма, но ограничивают активность не более чем на 30 %) [7]. Для расчёта BISCR предложена формула следующего вида:

$$BISCR = [Tk(P - 266)(1 - 0,02V)] / (75FkRk), \quad (1)$$

где Tk , Fk , Rk – температурный, влажностный и радиационный коэффициенты соответственно; P – давление воздуха на уровне станции в hPa; V – скорость ветра в м/с. Коэффициенты Tk и Fk учитывают конкретные температуру и влажность. Исходя из того, что комфортной температурой является +22 °C, температурный коэффициент Tk рассчитывается по формуле:

$$\begin{aligned} Tk &= 1 - 0,0089(22 - T) \quad \text{при } T \leq 22 \text{ } ^\circ\text{C}, \\ Tk &= 1 - 0,0263(T - 22) \quad \text{при } T > 22 \text{ } ^\circ\text{C}, \end{aligned} \quad (2)$$

где T – температура в градусах Цельсия; при граничных условиях ($T = -90$ или $T = +60$) $Tk = 0$.

Коэффициент относительной влажности определяется по формуле:

$$\begin{aligned} Fk &= 1 - 0,6(50 - F)/100 \quad \text{при } F \leq 50 \text{ } \%, \\ Fk &= 1 - 0,6(F - 50)/100 \quad \text{при } F > 50 \text{ } \%. \end{aligned} \quad (3)$$

Чисто эмпирически было замечено, что под влиянием солнечного тепла комфортность на высоте в горах улучшается. Поэтому в оригинальной формуле имеется коэффициент солнечной радиации Rk , который начинает влиять с высоты 2 000 метров над уровнем моря (м н.у.м.). Он рассчитывался по следующей формуле:

$$\begin{aligned} Rk &= 1 \quad \text{при } H < 2000 \text{ м н.у.м.}, \\ Rk &= 1 + 0,45(H - 2000)/1000 \quad \text{при } H \geq 2000 \text{ м н.у.м.} \end{aligned} \quad (4)$$

С учётом солнечной радиации при помощи Rk как функции высоты можно не согласиться. Известно, что человек, находящийся в покое, испытывает различные ощущения тепла в зависимости от метеорологического и радиационного режима окружающей среды. Находясь в горах, даже при отрицательной температуре люди чувствуют тепло при ярком солнце, а при более высокой температуре, но в тени, ощущают холод. При низком атмосферном

давлении и низкой влажности значительное влияние оказывает эффективное излучение. В пустыне при солнечном освещении человек испытывает дискомфорт из-за перегрева, а во время отсутствия солнца возникают более комфортные условия.

Поэтому, вместо представленной выше радиационной поправки, была разработана формула для расчёта радиационной поправки к температуре, применяемой для расчёта температурного коэффициента [5]. В этой формуле использовались данные по коротковолновому радиационному балансу B_k . Более доступными являются данные о суммарной радиации (Q) и альбедо (A). Коротковолновый радиационный баланс рассчитывается по формуле:

$$B_k = Q(1 - A). \quad (5)$$

Альбедо одетого по погоде человека составляет 30 % [6]. С учётом этого, формула расчёта радиационной поправки к температуре воздуха выглядит так:

$$T' = 2,345 \cdot 10^{-2} Q - 4,2 \cdot 10^{-4} Q T, \quad (6)$$

где Q – суммарная радиация (kW/m^2), а T – температура воздуха ($^{\circ}C$).

В результате температура для расчёта температурного коэффициента будет: $Tr = T + T'$.

В этом случае радиационная поправка R_k в формуле расчёта BISCR исчезнет, и учёт воздействия солнечной радиации будет выполняться на всех высотах, а не с 2 000 м н.у.м., что важно для оценки влияния солнечного тепла в низкогорье, например в пустынях. Тогда формула расчёта BISCR примет следующий вид:

$$BISCR = [Tk(P - 266)(1 - 0,02V)] / (75Fk), \quad (7)$$

где

$$\begin{aligned} Tk &= 1 - 0,0089(22 - Tr) \quad \text{при } Tr \leq 22^{\circ}C, \\ Tk &= 1 - 0,0263(Tr - 22) \quad \text{при } Tr > 22^{\circ}C. \end{aligned} \quad (8)$$

Сравнение двух вариантов расчёта BISCR показало, что полный учёт фактора воздействия солнечной радиации увеличивает параметр комфортности до 10 %.

Разработанная формула BISCR позволяет определить его величину в любой момент и в любой точке, где имеются

метеорологические данные. В зависимости от используемой информации, BISCR может отражать как случайное, разовое сочетание метеорологических условий, так и характеризовать их за различные периоды времени – час, сутки, месяц, вплоть до многолетних климатических оценок.

Параметры погодных условий и климата оцениваются также в разных временных интервалах и характеризуются в виде осреднённых, экстремальных, вероятностных и других величин. Физически и логически правильный отбор этого материала в зависимости от конкретных задач расчёта BISCR существенным образом влияет на конечный результат.

Биоклиматический дискомфорт влияет на трудовую деятельность человека, так как изменяет количество энергии, затрачиваемое на выполнение конкретной задачи. С ухудшением комфортных условий увеличиваются энергетические затраты, необходимые для выполнения одной и той же работы, поскольку часть энергии тратится на компенсацию дискомфорта. Поэтому можно говорить о снижении производительности труда за счёт изменения комфортного состояния среды при равных прочих условиях. О величине энергетических затрат человека при рабочей нагрузке можно судить по экспериментальным данным М. И. Виноградова [10]. Автор разделил различные виды рабочих нагрузок на пять градаций тяжести труда. Основываясь на полученных результатах BISCR, было рассчитано изменение производительности труда (We) при выполнении работ на открытом воздухе [8]. Оценить соответствие степени комфортности и производительности труда можно по градациям, представленным в табл. 1.

Таблица 1

Градации BISCR и производительность труда [8]

Степень биоклиматического дискомфорта	BISCR	Производительность труда	We (%)
Комфорт	10 – 8	Высокая	100 – 80
Относительный комфорт	7,9 – 7	Средняя	79 – 60
Относительный дискомфорт	6,9 – 6	Пониженная	59 – 40
Компенсируемый дискомфорт	5,9 – 4	Низкая	39 – 20
Не компенсируемый дискомфорт	< 4	Минимальная	< 20

Результаты

Ранее оценка индекса BISCR проводилась в суровых условиях антарктических станций и различных климатических зонах горного Таджикистана [7, 8]. Был разработан метод оценки влияния BISCR на снижение производительности труда в Таджикистане [8].

В настоящей работе представлен оценочный вариант расчёта степени биоклиматического дискомфорта по формуле (7) с учётом радиационной поправки (6), и его влияния на изменение трудового процесса для территории России. С этой целью из научно-прикладного справочника «Климат России-2018, ВНИИГМИ-МЦД» [9] были отобраны данные восьми метеорологических станций, расположенных в различных регионах России (табл. 2).

Таблица 2

Географические атрибуты станций

ID ВМО	Название станции	Высота, м н. у. м.	Широта	Долгота	Примечание
31770	Советская Гавань	21	49° 00'	140° 18'	Восток – Хабаровский край
32389	Ключи	28	56° 19'	160° 50'	Восток – Камчатский край
34927	Краснодар	28	45° 03'	39° 02'	Юг – Краснодарский край
23078	Норильск	60	69° 20'	88° 18'	Север Сибири – Таймыр
25138	Островное	98	68° 07'	164° 10'	Северо-восток – Чукотка
22213	Апатиты	132	67° 33'	33° 21'	Север – Мурманская обл.
30954	Мангут	807	49° 42'	112° 40'	Юг Сибири – Забайкалье
37126	Шаджатмаз	2070	43° 44'	42° 40'	Юг, Кавказ – Горный район

По климатическим данным с учётом температурной поправки на солнечную радиацию, которая менялась от 0 °С до 4,2 °С, был рассчитан среднемесячный Биоклиматический индекс суровости климатического режима (БИСКР) (рис. 1).

Расчёт BISCR и We по среднемесячным климатическим данным показывает сглаженную картину. В зимний период BISCR меняется от компенсируемого дискомфорта на сибирских станциях до относительного комфорта на станциях, расположенных на юге Европейской территории России (ЕТР), при этом

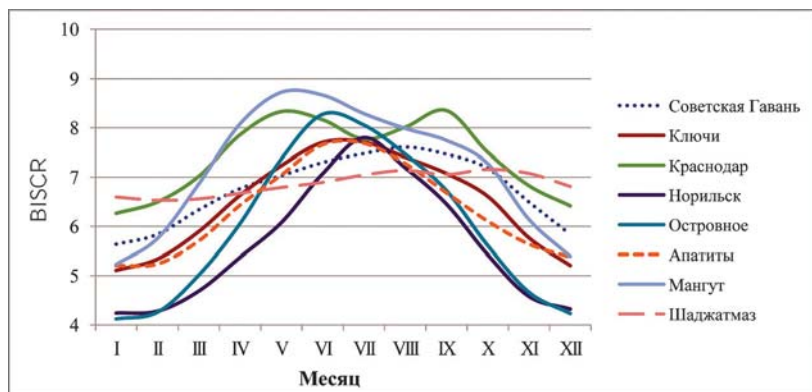


Рис. 1. Среднемесячные значения БИСКР (BICSR), рассчитанные по среднемесячной температуре воздуха

производительность труда – пониженная и средняя. Летом все станции находятся в зоне относительного комфорта и комфорта, и при этом производительность труда – высокая и средняя.

Для оценки изменения месячных значений более показательными являются индексы, рассчитанные по среднемесячным абсолютным экстремальным температурам. Результаты таких расчётов BICSR и производительности труда (We) показывают интервал внутримесячных изменений этих характеристик в зависимости от температуры воздуха. Расчёт производительности труда в течение года помог выявить значительные колебания этой характеристики в зависимости от месяца и географического расположения станции (рис. 2).

В зимний период We пониженная и низкая (30–60 %) на северных и сибирских станциях. Наибольшая производительность труда для этих районов наблюдается в весенне-осенний период. Однако в середине лета при высоких температурах производительность труда может снижаться. На юге ЕТР (Краснодар) летом при высоких температурах We значительно снижается, но при низких температурах достигает максимума. Из всех исследуемых пунктов наиболее стабильными являются характеристики горной станции Шаджатмаз, расположенной на северных склонах Кавказского хребта. Вероятно, это связано с особенностями

окружающего рельефа и местного микроклимата, которые препятствуют большим колебаниям температуры, несмотря на то, что станция находится на высоте 2 070 м н. у. м.

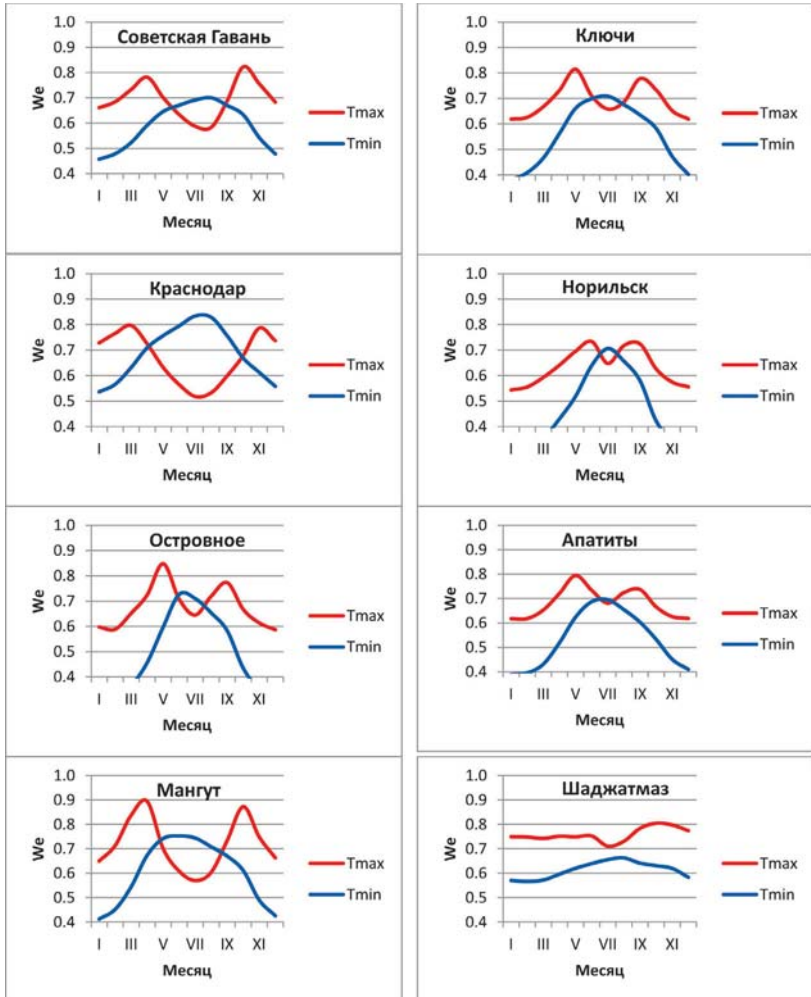


Рис. 2. Годовой ход производительности труда под влиянием климатической нагрузки при среднемесячных абсолютных экстремальных температурах воздуха

Заключение

Проверка на примере данных восьми станций, расположенных в разных географических регионах, показала возможность использования вышеизложенного метода на всей территории России для оценки климатического дискомфорта и его влияния на трудовую деятельность человека. Особенно это актуально в связи с планами освоения полярных районов. Результаты применения представленной методики позволят оптимизировать режим трудовой деятельности персонала, увеличить производительность труда, снизить риск воздействия климатических факторов на здоровье и, возможно, повлияют на планирование развития регионов России.

Обозначения

БИСКР (BISCR)	Биоклиматический индекс суровости климатического режима (Bioclimatic Index of Severity of Climatic Regime)
<i>T</i>	Температура воздуха, °C
<i>Tr</i>	Температура воздуха с температурной поправкой на радиацию, °C
<i>P</i>	Атмосферное давление, hPa
<i>V</i>	Скорость ветра, м/с
<i>F</i>	Относительная влажность воздуха, %
<i>Q</i>	Суммарная радиация, kW/m ²
<i>H</i>	Высота местности над уровнем моря, м
<i>Tk</i>	Коэффициент температуры воздуха
<i>Fk</i>	Коэффициент влажности воздуха
<i>Rk</i>	Коэффициент солнечной радиации
<i>T'</i>	Радиационная поправка к температуре воздуха
<i>Kp</i>	Коэффициент приведения
<i>We</i>	Производительность труда, %

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Руководство по специализированному климатологическому обслуживанию экономики* / Под ред. Н.В. Кобышевой. СПб.: Главная геофизическая обсерватория им. А.И. Воейкова, 2008. 336 с.
2. *Белкин В.Ш., Полторак Г.И.* Некоторые медико-биологические аспекты изучения горных районов Таджикистана // Симпозиум, съезд географического общества в Душанбе. Душанбе: Дониш, 1983. С. 19–21.
3. *Белкин В., Соколов Л., Финаев А.* Оценка биоклимата региона горных территорий. Доклады Всесоюзной конференции по биоклиматологии человека (28–29 апр. 1989 г.) // Труды ГГО. 1989. С. 15–16.
4. *Belkin V.Sh.* Biomedical aspects of the development of mountain regions: casestudy for the GornoBadakhshan autonomic region. Tajikistan // J. Mount. Res. and Dev. 1992. Vol. 12. P. 63.
5. *Финаев А.Ф.* Влияние солнечной радиации на Биоклиматический индекс суровости метеорологического режима (БИСМ) // Изв. Академии наук Республики Таджикистан. Отд. Наук о Земле, 1994. № 2. С. 69–74.
6. *Русин Н.П.* Прикладная актинометрия. Л.: Гидрометеиздат, 1979. 232 с.
7. *Belkin V.Sh., Dyurgerov M.B., Finaev A.F., Soroko S.I.* Bioclimatic Evaluation of the Human Discomfort Level for Several Antarctic Regions // Human Physiology. Pleiades Publishing, Inc. 2016. Vol. 42, N 2. P. 119–127.
8. *Белкин В.Ш., Дюржеров М.Б., Финаев А.Ф., Сороко С.И.* Биоклиматическая оценка уровня дискомфорта среды обитания для человека в различных районах Антарктиды // Физиология человека. 2016. Т. 42, № 2. С. 5–15.
9. *Финаев А.Ф.* Оценка влияния климатических условий на трудовую деятельность человека // Археология и палеоэкология Евразии. Новосибирск: Изд-во Ин-та археологии и этнографии СО РАН, 2004. С. 359–372.
10. *Научно-прикладной справочник «Климат России-2018».* ВНИИГМИ-МЦД. <http://meteo.ru/pogoda-i-klimat/197-nauchno-prikladnoj-spravochnik-klimat-rossii>.
10. *Виноградов М.И.* Физиология трудовых процессов. М.: Медицина, 1966. 367 с.

УДК 551.525:551.578.46

ОТЕПЛЯЮЩЕЕ ДЕЙСТВИЕ СНЕЖНОГО ПОКРОВА НА ТЕМПЕРАТУРУ ПОВЕРХНОСТИ ПОЧВЫ ПОД СНЕГОМ

А. Б. Шерстюков

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

Введение

Термическое состояние почвогрунтов от поверхности до глубин в несколько метров определяется особенностями вертикальных потоков тепла в почве в разные сезоны года и в связи с изменениями климата. Основным источником тепла в почве летом является поглощённая солнечная радиация на поверхности почвы или на её поверхностном покрове (растительность), далее тепло передаётся в нижележащие слои почвы и часть его уходит в атмосферу. При повышении температуры воздуха в результате адвекции тепла воздушными массами или вследствие других процессов, например в результате усиления парникового эффекта, отток тепла в атмосферу несколько ослабляется, и тогда больше тепла передаётся от поверхности почвы к её нижележащим слоям.

Зимой происходит выхолаживание поверхности снега из-за больших значений альбедо снежного покрова и низких значений температуры воздуха. Потоки тепла в холодное время года направлены от нижележащих слоёв почвы к её поверхности и в атмосферу. Слой снега при этом является теплоизолирующим элементом между воздухом и поверхностью почвы или между поверхностью снега и поверхностью почвы. Известно, что отражательные свойства снега влияют на тепловой баланс подстилающей поверхности больше, чем изоляционные. При этом снег является хорошим излучателем и теряет много тепла в виде длинноволновой радиации. Излучательные, отражательные и изоляционные свойства снежного покрова в сочетании приводят

к выхолаживанию его поверхности и образованию приземных радиационных инверсий температуры, при которых самая низкая температура отмечается у поверхности снежного покрова, а с увеличением высоты она растёт [1].

В тёплое время года почва накапливает тепло, а в холодное – отдаёт его в атмосферу. Изменения фазового состояния влаги в почве в переходные сезоны сильно осложняют процессы теплообмена между поверхностью почвы и нижележащими слоями.

В течение снежного периода года снежный покров изменяет свои физико-механические свойства. Причинами таких изменений являются тепловые и механические воздействия. В процессе изменения свойств снега выделяются три стадии: округление отложенных кристаллов снега; собирательная перекристаллизация; нарушение устойчивости форм кристаллов, образованных ранее. Колебания температуры снежного покрова сопровождаются плавлением и повторным смерзанием ледяных кристаллов, образующих снежинки. Наибольшая интенсивность этого процесса наблюдается при температуре, близкой к 0°C . В горах выше снеговой линии происходит фирнизация снега, то есть превращение его в ледяную породу зернистой структуры. В течение длительного снежного сезона наблюдаются процессы оседания снега. С оседанием связано его уплотнение [1]. Любые изменения структуры снежного покрова в течение сезона его залегания и любые региональные особенности климата, рельефа и растительного покрова влияют на теплофизические свойства снежного покрова и, следовательно, на формирование температуры почвы под ним.

Постановка проблемы

На практике очень большие трудности вызывает определение тепловых характеристик снега из-за сложности строения снежного покрова с изменяющимися характеристиками в течение снежного периода. Известны эмпирические зависимости теплопроводности снега от его плотности [2–4]. В [2] показана зависимость коэффициента теплопроводности снега от его температуры. В [5] показано, что неучёт текстурных и структурных

особенностей снежного покрова даёт большой разброс оценок его теплопроводности у разных авторов. Для более точных эмпирических зависимостей необходимы подробные сведения о структуре снежного покрова, изменяющегося по вертикали и в течение сезона залегания для каждого конкретного региона. Поскольку таких данных нет, то в настоящей работе предлагается оценивать теплофизические свойства снежного покрова по разности температур между поверхностью снежного покрова и поверхностью почвы под снегом.

Температуру поверхности снежного покрова измеряют на всех метеорологических станциях России, а для получения температуры поверхности почвы под снегом в настоящей работе предложен соответствующий метод её вычисления на основе данных наблюдений на метеорологических станциях.

В работе ставилась задача количественного описания тепляющего действия снежного покрова на температуру почвогрунтов и пространственных различий этого действия с привлечением стандартных метеорологических наблюдений на станциях за снежным покровом.

Исходные данные и методы анализа

В работе использовался авторский массив суточных значений температуры почвы на глубинах до 320 см по метеорологическим станциям Российской Федерации. В массиве собраны данные о температуре почвы под естественным покровом на глубинах 2, 5, 10, 15, 20, 40, 60, 80, 120, 160, 240, 320 см по 660 станциям России. Подробное описание массива и сами данные можно найти на сайте ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД» по адресу: <http://www.meteo.ru/data/164-soil-temperature>. Описание более ранней версии массива представлено в [6, 7].

Использовался массив суточных данных о температуре почвы под оголённой поверхностью по коленчатым термометрам Савинова. Описание массива и данные можно найти на сайте ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД» по адресу: <http://meteo.ru/data/597-sutochnye-dannye-o-temperature-pochvy-po-kolenchatym-termometram-savinova>.

Использовались данные наблюдений за температурой поверхности почвы в бесснежный период и за температурой поверхности снега в дни со снежным покровом.

При производстве измерений температуры почвы и грунта под естественным покровом применяются вытяжные почвенно-глубинные термометры ТМ10. На метеорологической площадке сохраняется естественная подстилающая поверхность, характерная для окружающей станцию территории. Снежный покров оставляют в естественном состоянии с момента его образования до окончательного таяния [8].

Наблюдения за температурой поверхности почвы производятся в бесснежный период года на оголённом от растительности участке. В зимнее время термометры лежат на снегу [8]. В настоящей работе использовались среднемесячные значения температуры поверхности снежного покрова (T_{ws}) или температуры поверхности почвы летом (T_{s0}). На глубинах 20 и 40 см использовались среднемесячные значения температуры почвы. Среднемесячную температуру почвы на глубинах 20 и 40 см летом обозначим T_{s20} и T_{s40} соответственно, а зимой на тех же глубинах среднемесячную температуру обозначим T_{w20} и T_{w40} . Введем обозначение T_{w0} – среднемесячная температура на поверхности почвы под снежным покровом, H_s – высота снежного покрова.

Для вычисления температуры поверхности почвы под снегом на основе данных наблюдений за температурой нижележащих слоёв необходимы сведения о теплопроводности почвы на станции. Они отсутствуют. Но косвенной оценкой теплопроводности может служить разность температур между поверхностью почвы и на глубине 20 см в почве. Для вычисления такой разности температур есть все необходимые данные наблюдений, но только в бесснежную часть года. Эту информацию можно взять за основу и откорректировать её для зимних условий теплопроводности с учётом перехода почвенной влаги в твёрдую фазу. Алгоритм коррекции построен на основе сравнительного анализа разностей температур почвы в слоях 0–20 и 20–40 см.

В бесснежный период, когда наблюдения за температурой поверхности почвы проводятся и есть возможность для прямых вычислений разности температур в верхнем слое почвы, необходимо выбрать чистые случаи без фазовых переходов и когда заведомо известно, что во всех рассматриваемых слоях почвы 0–20 и 20–40 см были однонаправленные вертикальные потоки тепла. Поэтому оценки летних разностей температур на станции вычислялись по данным самого тёплого месяца в году (по температуре на поверхности почвы) и при условии, если температура была положительной в воздухе, на поверхности почвы и на глубинах 20 и 40 см. При таких условиях верхний слой обязательно теплее нижележащего, а потоки тепла в рассматриваемых слоях направлены сверху вниз, фазовые переходы влаги в почве отсутствуют.

В заснеженный период года имеющиеся данные наблюдений позволяют делать прямые вычисления только для разности температур в слое почвы 20–40 см. Выбирались случаи без фазовых переходов. Зимние разности температур за каждый месяц со снегом вычислялись при условии, если температура была отрицательной в воздухе, на поверхности снега и на глубинах 20 и 40 см. Таким образом, выбирались случаи, когда потоки тепла в почве заведомо направлены снизу вверх. При этих условиях разности температур характеризуют средние многолетние теплофизические свойства почвы с замёрзшей влагой.

На этом этапе были сформированы специальные выборки летних и зимних разностей температур для различных слоёв в почве с учётом отсутствия фазовых переходов влаги в ней.

Зимой на станциях измеряют температуру поверхности снега. Его обогревающее действие на почву можно оценить по разности температур в слое снега, но для этого необходимо вычислить температуру поверхности почвы под снегом, поскольку на метеостанциях она не измеряется.

Прохождение тепла в почве по вертикали зависит от теплофизических свойств почвы в каждом слое, которые складываются из свойств самой почвы и теплопроводности её составных частей – влаги и воздуха.

Разности температур зимой по слоям 0–20 и 20–40 см запишем:

$$G_{w(0-20)} = (T_{w0} - T_{w20}), \quad (1)$$

$$G_{w(20-40)} = (T_{w20} - T_{w40}). \quad (2)$$

Аналогично – летние разности температур в слоях 0–20 см и 20–40 см:

$$G_{s(0-20)} = (T_{s0} - T_{s20}), \quad (3)$$

$$G_{s(20-40)} = (T_{s20} - T_{s40}). \quad (4)$$

В холодный период года почвенная влага находится в твёрдой фазе. Поскольку теплопроводность у льда в несколько раз больше, чем у воды, то теплопроводность у почвы с замёрзшей влагой больше, чем у почвы с влагой в жидкой фазе. Если рассматривать только случаи, когда летом в обоих слоях температура почвы выше нуля, а зимой – только случаи, когда температура почвы в них ниже нуля (отсутствуют фазовые переходы), то зимние разности температур в слое 0–20 см будут отличаться от летних разностей температур в этом же слое пропорционально отличию зимних разностей температур от летних в слое 20–40 см. Для выбранных условий можно записать соотношение

$$\frac{G_{w(0-20)}}{G_{s(0-20)}} = \frac{G_{w(20-40)}}{G_{s(20-40)}}. \quad (5)$$

Соотношение (5) будет справедливо, если в слое 0–20 см содержание влаги в почве от лета к зиме изменяется так же, как в слое почвы 20–40 см. Для средних многолетних значений в рассматриваемых двух тонких соседних слоях почвы такое допущение оправдано, поэтому разность температуры в слое почвы 0–20 см под снегом можно выразить как

$$G_{w(0-20)} = \frac{G_{s(0-20)} \times G_{w(20-40)}}{G_{s(20-40)}}. \quad (6)$$

На основе (1)–(4) перепишем (6) следующим образом:

$$T_{w0} - T_{w20} = \frac{(T_{s0} - T_{s20})(T_{w20} - T_{w40})}{(T_{s20} - T_{s40})}. \quad (7)$$

Из (7) получим искомое выражение для температуры поверхности почвы под снегом:

$$T_{w0} = \frac{(T_{s0} - T_{s20})(T_{w20} - T_{w40})}{(T_{s20} - T_{s40})} + T_{w20}. \quad (8)$$

Формула (8) позволяет вычислять температуру поверхности почвы под снегом и перейти далее к исследованию тепляющего действия снега в формировании температуры почвы зимой. При этом необходимо учесть, что в формуле (8) все значения температур должны быть измерены на одной и той же выбранной метеостанции в одинаковых условиях (под естественным покровом). В данных метеорологических наблюдений этому условию соответствуют все значения, кроме температуры на поверхности почвы в бесснежный период. Эти наблюдения на метеостанциях проводят на участках с удалённым растительным покровом (T_{b0}). Поэтому для получения температуры почвы летом на поверхности почвы под естественным покровом (T_{s0}) вводилась поправка. Для вычисления этой поправки дополнительно привлекались данные коленчатых термометров Савинова, по которым проводят измерения температуры почвы на глубине 20 см под оголённой поверхностью. Разность температур на глубине 20 см под оголённой поверхностью (T_{b20}) и под естественным покровом (T_{s20}) использовалась как поправка для вычисления температуры поверхности почвы летом T_{s0} под естественным покровом:

$$T_{s0} = T_{b0} - (T_{b20} - T_{s20}). \quad (9)$$

В уравнении (9) T_{s0} – вычисленная температура почвы на поверхности под естественным покровом; T_{b0} – температура почвы на оголённой поверхности; T_{b20} – температура почвы под оголённой поверхностью на глубине 20 см, измеренная по коленчатым термометрам Савинова; T_{s20} – температура почвы

под естественным покровом на глубине 20 см, измеренная по вытяжным термометрам.

На основе наблюдений за T_{ws} (температура на поверхности снежного покрова) и вычисленных по формуле (8) значений T_{w0} рассчитывалась разность температур (D) в снежном покрове толщиной H_s :

$$D_{w(0-s)} = T_{w0} - T_{ws}. \quad (10)$$

В исследованиях последствий изменения климата в качестве основного действующего фактора обычно используют температуру воздуха. С учётом этого целесообразно рассмотреть также разность между температурой поверхности почвы под снегом (T_{w0}) и температуры воздуха (T_{wa}):

$$D_{w(0-a)} = T_{w0} - T_{wa}. \quad (11)$$

Результаты

По станциям России были вычислены средние значения $D_{w(0-s)}$ и $D_{w(0-a)}$ за 1984–2013 гг. и построены карты. Разности, представленные на карте (рис. 1), характеризуют величину тепляющего действия снежного покрова на каждой станции.

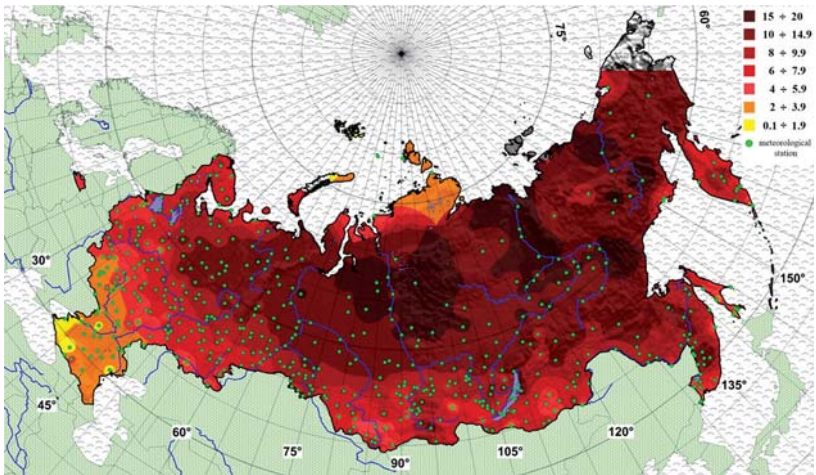


Рис. 1. Пространственное распределение разности температур в снежном покрове: $D_{w(0-s)}$ за 1984–2013 гг. (°C)

На юге Европейской территории России (ЕТР) разности не превышают 5°C и возрастают при движении на север и северо-восток ЕТР с максимальными значениями до 10°C в Республике Коми. На большей части Азиатской территории России (АТР) преобладают значения разности от 10 до 15°C в широтной зоне севернее 50° с. ш. с очагами от 15 до 20°C на севере Красноярского края и в центральной Якутии в обширной долине р. Лена. Результаты показывают, что температура поверхности почвы под снегом может быть выше, чем на поверхности снежного покрова на величину до 15°C .

Разности $D_{w(0-s)}$ определяются высотой покрова и структурными особенностями снега, сложившимися в результате географических и климатических факторов во время его формирования. Для исследования зависимости $D_{w(0-s)}$ от толщины снежного покрова станции были отсортированы по возрастанию толщины снежного покрова. В отсортированном перечне станций выделялись станции с одинаковой высотой снежного покрова и формировались выборки станций с высотой снега 6 см, 7 см и т. д. с шагом 1 см до высоты 46 см (41 выборка). По каждой выборке были получены средние значения и среднеквадратические отклонения разности температур снежного покрова $D_{w(0-s)}$, показанные на рис. 2.

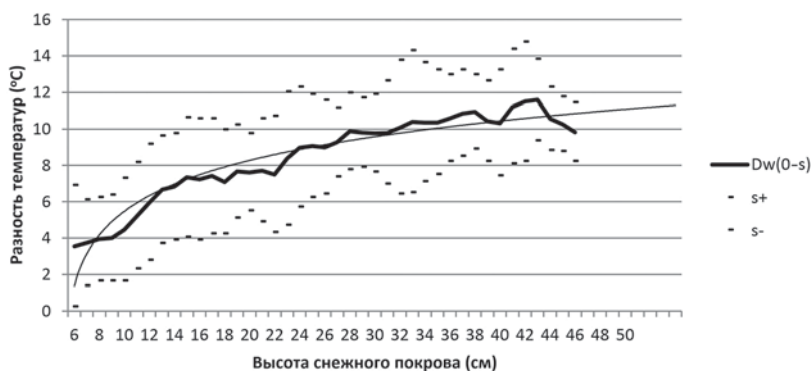


Рис. 2. Разность температур $D_{w(0-s)}$ между поверхностью почвы под снегом и на поверхности снега и интервал её среднеквадратического отклонения (s) при различной высоте снежного покрова

Разность температур $D_{w(0-s)}$ на рис. 2 характеризует обогревающее действие снежного покрова на температуру поверхности почвы под снегом при различной его высоте. При высоте снежного покрова более 5 см обогревающее действие снега статистически достоверно.

Наилучшее описание зависимости $D_{w(0-s)}$ от высоты снежного покрова достигается аппроксимацией натуральным логарифмом. Доля объяснённой вариации уравнением составляет 93 %. При возрастании высоты снежного покрова от 6 до 15 см обогревающее действие снега быстро усиливается и достигает примерно 5–6 °С. При дальнейшем увеличении высоты снежного покрова усиление обогревающего действия снега постепенно замедляется. При высоте снежного покрова более 45 см температура почвы под снегом примерно на 10 °С выше температуры поверхности снега.

Для практического использования предлагается уравнение регрессии разности температур $D_{w(0-s)}$ (между температурой поверхности под снегом и температурой поверхности снега) от высоты снежного покрова:

$$D_{w(0-s)} = 2,5513 \ln(H_s - 5) + 1,3689, \quad (12)$$

(H_s – в см, $D_{w(0-s)}$ – в °С).

Используя уравнение (12), можно вычислять температуру поверхности почвы под снегом T'_{w0} на основе данных наблюдений за температурой поверхности снега T_{ws} и за высотой снежного покрова H_s по следующему уравнению:

$$T'_{w0} = T_{ws} + 2,5513 \ln(H_s - 5) + 1,3689. \quad (13)$$

Уравнение (13) применимо для высот снежного покрова от 6 см и выше. Это уравнение, построенное в среднем для метеорологических станций России, показывает, что для слоя снега 7 см средняя $D_{w(0-s)}$ составляет около 3,1 °С. При высоте снежного покрова 50 см средняя $D_{w(0-s)}$ составляет около 11 °С.

Аналогичным образом, используя уравнение (11), были рассчитаны значения разности температур $D_{w(0-a)}$ между температурой воздуха зимой и температурой поверхности почвы под снегом (рис. 3). Пространственные особенности $D_{w(0-a)}$ почти

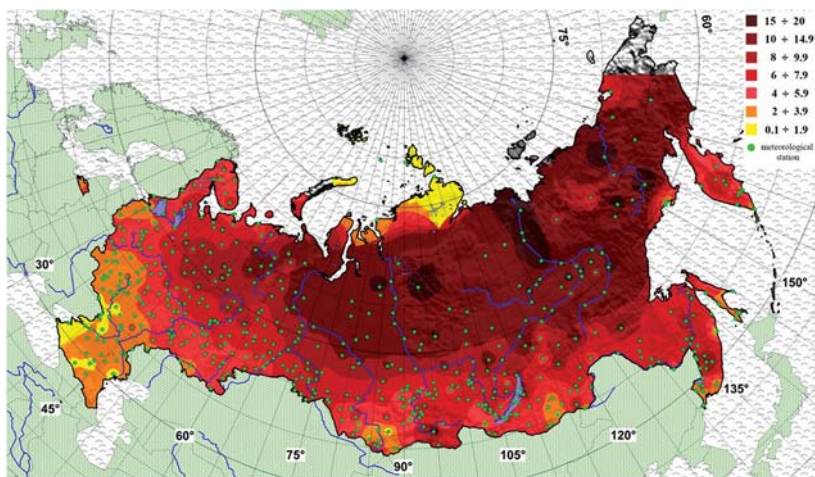


Рис. 3. Пространственное распределение разности между температурой поверхности почвы под снегом и температурой воздуха $D_{w(0-a)}$ за 1984–2013 гг. ($^{\circ}\text{C}$)

полностью повторяют особенности карты рис. 1, но значения $D_{w(0-a)}$ несколько меньше.

Уравнение регрессии разности температур $D_{w(0-a)}$ (между поверхностью почвы под снегом и воздухом) от высоты снежного покрова имеет следующий вид:

$$D_{w(0-a)} = 2,1671 \ln(H_s - 5) + 0,7679. \quad (14)$$

На рис. 4 показано изменение разности температур между поверхностью почвы под снегом и температурой воздуха.

Наилучшее описание зависимости $D_{w(0-a)}$ от высоты снежного покрова достигается аппроксимацией натуральным логарифмом. Доля объяснённой вариации уравнением составляет 93 %. На основе данных наблюдений за температурой воздуха T_{wa} и за высотой снежного покрова можно вычислять температуру поверхности почвы под снегом:

$$T'_{w0} = T_{wa} + 2,1671 \ln(H_s - 5) + 0,7679. \quad (15)$$

Для слоя снега 7 см средняя $D_{w(0-a)}$ составляет около $2,3^{\circ}\text{C}$. При высоте снежного покрова 50 см средняя $D_{w(0-a)}$ между

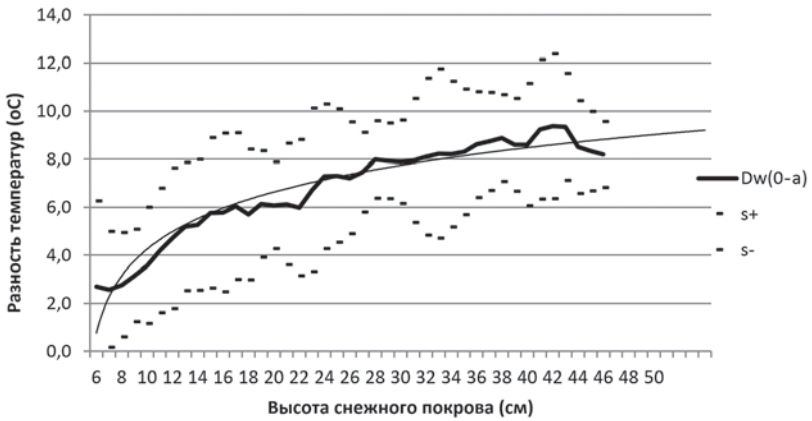


Рис. 4. Разность температур $D_{w(0-a)}$ между поверхностью почвы под снегом и температурой воздуха и интервал её среднеквадратического отклонения (s) при различной высоте снежного покрова

температурой поверхности снега и температурой воздуха достигает $9,0\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Разработанная методика и полученные в работе результаты позволяют оценивать отопляющее влияние снежного покрова на почву, используя данные стандартных измерений на метеостанциях. Оценка точности предложенного метода сводится к оценке аппроксимации натуральным логарифмом, который был применён для описания зависимости D_w .

Заключение

Разработанная методика и полученные в работе результаты позволяют оценивать отопляющее влияние снежного покрова на почву, используя данные стандартных измерений на метеостанциях. Это значительно расширяет возможности применения простых моделей для прогноза состояния многолетнемёрзлых грунтов в условиях изменения климата.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Быков Н.И., Попов Е.С.* Наблюдения за динамикой снежного покрова в ООПТ Алтае-Саянского экорегиона (методическое руководство) / Отв. редактор Т.В. Яшина. Красноярск, 2011. 64 с.
2. *Осокин Н.И., Сосновский А.В.* Экспериментальные исследования коэффициента эффективной теплопроводности снежного покрова на Западном Шпицбергене. Лёд и Снег. М., 2014. № 3 (127). С. 50–58.
3. *Осокин Н.И., Самойлов Р.С., Сосновский А.В. и др.* К оценке влияния изменчивости характеристик снежного покрова на промерзание грунтов // Криосфера Земли. 1999. Т. III, № 1. С. 3–10.
4. *Павлов А.В.* Мониторинг криолитозоны. Новосибирск: Гео, 2008. 229 с.
5. *Котляков В.М., Осокин Н.И., Сосновский А.В.* Изменчивость термического сопротивления снежного покрова и его влияние на промерзание–протаивание грунта. Лёд и Снег. М., 2013. № 1 (121). С. 93–103.
6. *Шерстюков А.Б.* Массив суточных данных о температуре почвогрунтов на глубинах до 320 см по метеорологическим станциям Российской Федерации // Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2012. Вып. 176. С. 233–256.
7. *Шерстюков А.Б.* Статистический контроль массива суточных данных температуры почвогрунтов // Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2012. Вып. 176. С. 224–232.
8. *Наставление* гидрометеорологическим станциям и постам. Вып. 3, ч. 1. Л.: Гидрометеоздат, 1985. 299 с.

УДК 551.586

О формировании комплексного информационного обеспечения климатической деятельности в Российской Федерации. Бедрицкий А.И. Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2019. Вып. 184. С. 5–23.

В статье рассматриваются вопросы обоснования создания интегрированной системы информационного обеспечения климатической деятельности.

Ключевые слова: климатическая деятельность, информационная система, информационное обеспечение, информационные ресурсы, связанные с климатом, ЕСИМО, ЕСИОКД.

Ил. 1. Библиогр. 27.

УДК 551.524.3 (470 + 571)

Климатические характеристики оттепелей на территории России. Коршунова Н.Н., Давлетшин С.Г. Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2019. Вып. 184. С. 24–32.

По ежедневным данным о температуре воздуха на 488 метеорологических станциях России за период от начала наблюдения на станции до 2018 г. проведено исследование пространственного распределения основных характеристик оттепелей: числа дней с оттепелями, продолжительности устойчивого морозного периода, числа дней с переходом температуры воздуха через 0 °С, числа оттепельных периодов и показателя устойчивости морозного периода.

Наблюдающиеся в последние десятилетия изменения климата проявились и в изменении режима оттепелей. На европейской территории граница более позднего наступления устойчиво морозного периода значительно продвинулась на север, что связано с повышением температуры в осенний период. Выявлено увеличение изменчивости продолжительности устойчиво морозного периода и числа дней с оттепелями в Западной Сибири.

Ключевые слова: оттепели, продолжительность устойчивого морозного периода, оттепельные периоды, показатель устойчивости морозного периода.

Ил. 5. Библиогр. 7.

УДК 551.509.54:551.583

Характеристики гололёдно-изморозевых явлений на территории России в условиях современных изменений климата. Аржанова Н.М., Коршунова Н.Н. Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2019. Вып. 184. С. 33–44.

В статье описывается климатология характеристик (вес и диаметр) каждого вида гололёдно-изморозевых отложений. А также проанализированы тенденции изменений этих характеристик. Расчёты выполнены по данным 1 165 метеорологических станций с 1984 по 2018 год. Показано, что кристаллическая изморозь наблюдается практически на всей территории России, в отличие от гололёда, зернистой изморози и отложения мокрого снега. Получено, что на ЕТР преобладают тенденции уменьшения веса кристаллической изморози, однако отмечена и тенденция увеличения веса отложения мокрого снега.

Ключевые слова: гололёд, кристаллическая изморозь, зернистая изморозь, отложение мокрого снега, климатические исследования, тенденции изменений.

Ил. 6. Библиогр. 12.

УДК 551.583

Климатические изменения уровня режима и термических условий российского сектора Балтийского моря за последние десятилетия. Воронцов А.А. Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2019. Вып. 184. С. 45–53.

В статье рассмотрены изменения уровня моря, температур воздуха и воды на основании выполненных расчётов на побережье Балтийского моря за последние десятилетия. Приведены статистические характеристики уровня и термического режима российского сектора Балтики за период 1977–2018 гг. Подтверждён положительный тренд в изменении уровня моря, а также температур воздуха и воды на характерных гидрометеорологических станциях.

Ключевые слова: уровень моря, температура воздуха, температура воды, гидрометстанция, Балтика, термический режим, тренд.

Ил. 2. Табл. 6. Библиогр. 7.

УДК 551.515(470+571)

Оценка частоты появления опасных гидрометеорологических явлений, нанёсших ущерб субъектам Российской Федерации. Шамин С.И., Санина А.Т. Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2019. Вып. 184. С. 54–66.

На основе анализа базы сведений об опасных и неблагоприятных гидрометеорологических явлениях погоды, нанёсших ущерб экономике и населению Российской Федерации, дана оценка частоты появления опасных и неблагоприятных гидрометеорологических явлений по отдельным субъектам Российской Федерации.

Ключевые слова: опасные гидрометеорологические явления, повторяемость опасных гидрометеорологических явлений.

Ил. 3. Табл. 1. Библиогр. 3.

УДК 551.583

Асинхронные дальние связи температуры воздуха в Центральном регионе России с температурой поверхности Мирового океана. Шерстюков Б.Г. Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2019. Вып. 184. С. 67–79.

По данным о среднегодовой температуре воздуха в Москве и среднегодовой температуре поверхности Мирового океана в узлах географической сетки анализировались асинхронные дальние связи в климатической системе.

Обнаружена тесная асинхронная корреляция между температурой воздуха в Москве и температурой поверхности Южного океана на траектории циркулярного течения Западных Ветров со сдвигом на 30 лет (колебания температуры в Москве запаздывают). На основе асинхронного регрессионного соотношения вычислены прогностические оценки среднегодовой температуры воздуха в Москве на период до 2046 года. В ближайшие 30 лет ожидается стабилизация климата в Центральном регионе России.

Ключевые слова: температура в Москве, температура поверхности океана, прогноз изменений климата.

Ил. 3. Библиогр. 13.

УДК 551.583.1

Момент инерции движения Солнца относительно центра масс Солнечной системы и долгопериодные колебания температуры поверхности океана. Шерстюков Б. Г. Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2019. Вып. 184. С. 80–93.

По астрономическим данным вычислен ряд погодичных значений суммарного момента движения Солнца вокруг его общего центра масс с планетами-гигантами. Выполнен асинхронный корреляционный анализ температуры поверхности Мирового океана в узлах сетки с моментом инерции движения Солнца. Показано, что изменение момента инерции сопровождается неслучайными изменениями температуры поверхности океана в районах основных океанических течений. При этом запаздывание реакции температуры составляет 16–17 лет в западных частях океанов и 35–37 лет – в восточных частях океанов.

Ключевые слова: диссимметрия солнечной системы, температура поверхности океана, изменения климата, океанические течения.

Ил. 4. Табл. 1. Библиогр. 18.

УДК 551.465.7

Экстремальные внетропические циклоны Северной Атлантики и крупномасштабная циркуляция в верхней тропосфере. Вязилова Н. А., Вязилов А. Е. Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2019. Вып. 184. С. 94–101.

Представлены результаты исследования взаимосвязи циклонической активности в районах Исландского минимума и Балтийского моря с характеристиками крупномасштабной циркуляции в верхних слоях тропосферы в зимнюю половину года за период исследования с 1948 по 2012 год. Результаты анализа подтверждают наличие положительной взаимосвязи между средним зональным переносом и дивергенцией скорости ветра на поверхности 200 гПа в районах исследования, с одной стороны, и количеством экстремально глубоких циклонов, а также их интегральной интенсивностью – с другой. И, наоборот, наличие отрицательной взаимосвязи – с количеством умеренных циклонов.

Ключевые слова: внетропические циклоны, экстремальные циклоны.

Ил. 3. Библиогр. 8.

УДК 551.576.1:551.58

Повторяемость восстановленных облачных слоёв над разными широтными зонами земного шара по данным радиозондирования за 1964–2018 гг. Черных И.В., Алдухов О.А. Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2019. Вып. 184. С. 102–117.

Представлены новые знания о вертикальной макроструктуре облачных слоёв в слое 0–10 км над полярными, средними и низкими широтами земного шара. Получены долгопериодные оценки повторяемости облачных слоёв с учётом количества облачности для месяцев, сезонов и за год в целом. Приведены результаты анализа её внутригодовой изменчивости. Расчёты выполнены с использованием СЕ-метода определения границ и количества облачности по радиозондовым профилям температуры и влажности и глобальных данных радиозондирования за период 1964–2018 годов.

Ключевые слова: облачные слои, количество облаков, повторяемость, внутригодовые изменения, данные радиозондирования, широтные зоны.

Ил. 3. Табл. 2. Библиогр. 24.

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

Современные изменения гидрологического режима рек в горах Северного Кавказа и Алтая. Гниломедов Е.В. Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2019. Вып. 184. С. 118–129.

В статье рассмотрены современные изменения снежных запасов, количества осадков и, как следствие, гидрологического режима рек в бассейнах горных рек Северного Кавказа и Алтая. В целях определения главных факторов, влияющих на изменение стока рек Северного Кавказа и Алтая, был проведён сравнительный анализ некоторых характеристик расхода воды с запасами воды в снежном покрове и количеством осадков. Посчитаны коэффициенты корреляции между стоком воды в фазу половодья и значениями количества осадков и запасов воды в снеге перед началом половодья.

Ключевые слова: сток воды, максимальный расход воды, половодье, паводок, межень, бассейн реки, водосбор, запас воды в снеге, снегомерный маршрут, количество осадков, корреляция.

Ил. 6. Табл. 7. Библиогр. 8.

УДК 551.521.11(470 + 571)

Продолжительность солнечного сияния на территории России в 2018 году.
К л е щ е н к о Л. К. Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2019. Вып. 184. С. 130–143.

Рассматривается географическое распределение годовых, сезонных и месячных относительных аномалий продолжительности солнечного сияния на территории РФ в 2018 году. Приводятся средние аномалии для физико-географических регионов и федеральных округов РФ.

Согласно полученным оценкам, на территории России в 2018 г. наблюдалось преобладание положительных аномалий продолжительности солнечного сияния. 2018 год получил ранг 3 в ряду убывающих значений (с 1961 г.) для территории России в целом и ранг 1 – для её европейской территории. Наиболее солнечным сезоном в европейской части страны была осень, тогда как декабрь 2018 г. для этой территории явился рекордным по дефициту солнечного сияния.

Ключевые слова: мониторинг климата, продолжительность солнечного сияния, сезонные и месячные аномалии, географическое распределение, региональные средние.

Ил. 7. Табл. 2. Библиогр. 5.

УДК [551.501 + 556.043 + 551.46]:43

Нормативная правовая база в области гидрометеорологии и влияние её изменений на условия деятельности Федеральной службы по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды. К а ш и н а И. И. Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2019. Вып. 184. С. 144–154.

Методическое сопровождение нормативной правовой деятельности Федеральной службы по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (Росгидромет) включает в качестве одной из задач анализ законодательных актов Российской Федерации и нормативных правовых документов Росгидромета и их влияния на условия деятельности Росгидромета. Такой анализ проводится ежегодно и находит практическое применение при подготовке перечней проектов нормативных правовых актов, в разработке (переработке) которых участвует Росгидромет, учитывается при разработке ведомственных правовых актов и актуализации и упорядочения базы правовых документов Росгидромета. В статье рассмотрены изменения правовой базы в области гидрометеорологии на примере 2017 года.

Ключевые слова: правовая база в области гидрометеорологии, нормативные правовые документы Росгидромета, законодательные акты Российской Федерации.

Ил. 4. Библиогр. 19.

УДК 551.507.23:004

Создание информационной базы данных судовых метеорологических наблюдений «МОРМЕТ» И «МОРМЕТ-2006». Кракановская Е.М., Маринченко Е.Б., Шевченко А.И. Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2019. Вып. 184. С. 155–169.

Приведено описание структуры поквadratных массивов данных судовой метеорологической информации «МОРМЕТ» и «МОРМЕТ-2006». Даны характеристики распределения данных наблюдений в пространстве (по регионам Мирового океана) и по времени (по годам).

Ключевые слова: судовые метеорологические наблюдения, контроль судовых метеорологических наблюдений, технология пополнения базы данных, источники данных судовых метеорологических наблюдений.

Табл. 4. Библиогр. 21.

УДК 551.586

Оценка использования Биоклиматического индекса суровости климатического режима на территории России. Финаев А.Ф. Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2019. Вып. 184. С. 170–179.

Экстремальность природной среды в различных регионах Земли определяется в первую очередь комплексом метеорологических факторов. Наиболее суровый климат существует в полярных, пустынных и высокогорных регионах. В данной статье представлены результаты оценочных расчётов использования Биоклиматического индекса суровости климатического режима (BISCR) и влияния климатической нагрузки на производительность труда для восьми пунктов, расположенных в разных природных зонах России. Уточнены параметры расчётной формулы с учётом воздействия солнечной радиации. Полученные результаты можно применять на практике для оптимизации трудового процесса при освоении регионов с суровым климатом (Арктики, Сибири, гор и пустынь).

Ключевые слова: климат, биоклимат, метеорология, климатическое воздействие, экстремальность среды, адаптация человека, биоклиматические индексы, производительность труда.

Ил. 2. Табл. 2. Библиогр. 10.

УДК 551.525:551.578.46

Отепляющее действие снежного покрова на температуру поверхности почвы под снегом. Шерстюков А.Б. Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2019. Вып. 184. С. 180–192.

Предлагается метод расчёта температуры поверхности почвы под снегом по данным о высоте снежного покрова и наблюдений за температурой на его поверхности или за температурой воздуха, измеряемых на метеорологических станциях. Получены количественные оценки отепляющего действия снежного покрова на температуру почвогрунтов, и показаны пространственные различия этого воздействия.

Результаты, полученные в работе, значительно расширяют возможности применения простых моделей для прогноза состояния многолетнемёрзлых грунтов в условиях изменения климата.

Ключевые слова: теплопроводность, снежный покров, температура почвы, многолетнемёрзлые грунты, количественные оценки, моделирование.

Ил. 4. Библиогр. 8.

UDC 551.586

Creating the integrated information support of climate-related activity in the Russian Federation. Bedritsky A.I. Proceedings of RIHMI-WDC. 2019. N 184. P. 5–23.

The paper considers creation of Integrated System for Information Support of Climate Activity (ISISCA)

Keywords: climate activity, information system, information support, climate-related information resources, ESIMO, ISISCA.

Fig. 1. Ref. 27.

UDC 551.524.3 (470 + 571)

Climate characteristics of thaw periods over the Russian territory. Korshunova N.N., Davletshin S.G. Proceedings of RIHMI-WDC. 2019. N 184. P. 24–32.

A spatial distribution of major characteristics of thaw periods was studied from daily air temperature data obtained at 488 Russian meteorological stations for the period from initiation of observations up to 2018. Major thaw characteristics are as follows: number of thaw days, duration of persistent frosts, number of days with air temperature transition through 0 °C, number of thaw periods, and frost stability index.

Climate change in the recent decades also manifests itself in the change of thaw regime. Over European Russia, the later advent of persistent frosts was recorded much farther in the north, which is due to the autumn air temperature rise. It was found that in Western Siberia, the duration of persistent frosts became more variable and the number of thaw days increased.

Keywords: thaw, duration of a steady frost period, «thaw» periods, indicator of stability of the frosty period.

Fig. 5. Ref. 7.

UDC 551.509.54:551.583

Characteristics of glaze-ice and rime phenomena over the Russian territory under current climate change. Arzhanova N.M., Korshunova N.N. Proceedings of RIHMI-WDC. 2019. N 184. P. 33–44.

The paper describes climatology of characteristics of each type of glaze-ice and rime deposition (weight and diameter). Tendencies of changes in these characteristics are analyzed. Calculations are made using data from 1 165 meteorological stations for the period 1984–2018. It is shown that unlike glaze ice, granular rime and wet snow deposition, crystal rime is observed almost all over the Russian area. It is found that over European Russia, the weight of crystal rime tends to decrease, while the weight of wet snow deposition tends to increase.

Keywords: glaze ice, crystal rime, granular rime, wet snow deposition, tendencies of changes.

Fig. 6. Ref. 12.

UDC 551.583

Climatic changes of the sea level regime and thermal conditions of the Russian sector of the Baltic Sea in recent decades. Vorontsov A.A. Proceedings of RIHMI-WDC. 2019. N 184. P. 45–53.

The article discusses changes in sea level, air and water temperatures on the Baltic coast over the past decades on the basis of the calculations performed. The statistical characteristics of the level and thermal regime of the Russian sector of the Baltic for the period 1977–2018 are given. A positive trend of sea level, air and water temperatures was confirmed according to selected hydrometeorological stations.

Keywords: sea level, air temperature, water temperature, hydrometeorological station, Baltic, thermal regime, trend.

Fig. 2. Tab. 6. Ref. 7.

UDC 551.515(470+571)

Hydrometeorological hazards frequency estimated for constituent territories of the Russian Federation. Shamin S.I., Sanina A.T. Proceedings of RIHMI-WDC. 2019. N 184. P. 54–66.

The frequency of hazardous and unfavourable hydrometeorological events that did damage to the economy and population of the Russian Federation is estimated from analyzing the database of hazardous and unfavourable hydrometeorological events. The estimate is given for individual constituent territories of the Russian Federation.

Keywords: hydrometeorological hazards, frequency of hydrometeorological hazards.

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

UDC 551.583

Asynchronous long-range relations of air temperature in the Central region of Russia with the surface temperature of the World Ocean. Sherstyukov B.G. Proceedings of the RIHMI-WDC. 2019. N 184. P. 67–79.

According to the grid-point data on the average annual air temperature in Moscow and the average annual surface temperature of the World Ocean, asynchronous long-distance relations in the climate system were analyzed.

An asynchronous correlation was found between the air temperature in Moscow and the surface temperature of the Southern Ocean on the circumpolar flow path of the Western winds with a shift of 30 years (temperature fluctuations in Moscow delay). Based on asynchronous regression ratio, prognostic estimates of the average annual air temperature in Moscow for the period up to 2046 are calculated. Climate stabilization in Central Russia is expected in the next 30 years.

Keywords: temperature in Moscow, ocean surface temperature, climate change forecast.

Fig. 3. Ref. 13.

UDC 551.583.1

The moment of inertia of the Sun's movement relative to the center of the Solar System mass and long-term fluctuations in the temperature of the ocean surface. Sherstyukov B. G. Proceedings of the RIHMI-WDC. 2019. N 184. P. 80–93.

According to astronomical data, a series of values of the total angular momentum of the Sun around its common mass center with giant planets has been calculated. Asynchronous correlation of the surface temperature in the World Ocean at grid points with the moment of inertia of the Sun movement was analyzed.

It is shown that the change in the moment of inertia is accompanied by non-random changes in the ocean surface temperature in the areas of the main ocean currents. At the same time, the temperature response delay is 16–17 years in the western oceans and 35–37 years in the eastern oceans.

Keywords: solar system dissymmetry, ocean surface temperature, climate change, ocean currents.

Fig. 4. Tab. 1. Ref. 18.

UDC 551.465.7

Extreme extratropical cyclones in the North Atlantic and large-scale upper tropospheric circulation. Vyazilova N.A., Vyazilov A.E. Proceedings of RIHMI-WDC. 2019. N 184. P. 94–101.

The aim of this work is to study the relationships between cyclone activity in the Baltic Sea and Island minimum regions and large-scale upper tropospheric circulation in winter based on NCEP/NCAR reanalysis data for 1948–2012. The results of the regression analysis confirm positive correlation between mean zonal transport and wind speed divergence at 200 hPa on the one side and the number of extreme cyclones and their integral intensity on the other. On the contrary, the negative correlation was observed between upper-air variables and moderate cyclones.

Keywords: extratropical extreme cyclones, upper tropospheric circulation.

Fig. 3. Ref. 8.

UDC 551.576.1:551.58

Frequency of reconstructed cloud layers over different latitudinal zones of the Globe from upper air data for 1964–2018. Chernykh I.V., Aldukhov O.A. Proceedings of RIHMI-WDC. 2019. N 184. P. 102–117.

New knowledge about a vertical macrostructure of cloud layers in the layer 0–10 km over polar, middle and low latitudes of the Globe is presented. Long-period estimates of cloud layer frequency are obtained with regard to a cloud amount for months, seasons and year as a whole. The analysis results of its within-year variability are presented. Calculations are made with CE-method of determining the cloud layer boundaries and amount from temperature and humidity radiosonde profiles and global upper air data for the period 1964–2018.

Keywords: cloud layers, cloud amount, frequency, within-year variability, upper air data, latitudinal zones.

Fig. 3. Tab. 2. Ref. 24.

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

Modern changes in the hydrological regime of rivers in the North Caucasus and Altai mountains. Gnilyomedov E.V. Proceedings of RIHMI-WDC. 2019. N 184. P. 118–129.

The article considers current changes in snow stocks, precipitation amount and, as a result, hydrological regime of rivers in the basins of mountain rivers in the North Caucasus and Altai. In order to determine the main factors influencing on the change in river flows in the North Caucasus and Altai, a comparative analysis was conducted of some characteristics of water discharge with water equivalents of snow cover and rainfall. Coefficients of correlation are calculated between water flow in the flood phase and precipitation amounts and water equivalents of snow before the flood starts.

Keywords: water flow, maximum water flow, flood, low water period, river basin, water storage in the snow, snow metering route, rainfall, correlation.

Fig. 6. Tab. 7. Ref. 8.

UDC 551.521.11 (470 + 571)

Sunshine duration over the territory of Russia in 2018. K l e s h c h e n k o L . K .
Proceedings of RIHMI-WDC. 2019. N 184. P. 130–143.

Geographical distributions of annual, seasonal and monthly relative anomalies of sunshine duration over the Russian territory in 2018 are considered. Average anomalies for physical-geographical regions and Federal districts of the Russian Federation are presented.

According to the estimates obtained, positive anomalies of sunshine duration were prevailing in 2018 over the territory of Russia. Since 1961, the year 2018 has ranked third in the series of decreasing values for the territory of Russia as a whole and has ranked first for its European territory. Autumn was the most sunny season in the European part of the country, while December 2018 for this territory showed a record deficit of sunshine.

Keywords: climate monitoring, sunshine duration, seasonal and month anomalies, geographical distribution, regional means.

Fig. 7. Tab. 2. Ref. 5.

UDC [551.501 + 556.043 + 551.46]:43

Normative legal base in the field of hydrometeorology and the impact of its changes on the conditions of the Federal Service for Hydrometeorology and Environmental Monitoring. K a s h i n a I . I . Proceedings of RIHMI-WDC. 2019. N 184. P. 144–154.

Methodological support of regulatory legal activities of the Federal Service for Hydrometeorology and Environmental Monitoring (Roshydromet) includes, as one of the tasks, the analysis of legislative acts of the Russian Federation and regulatory legal documents of Roshydromet and their impact on the operating conditions of Roshydromet. This analysis is conducted annually and finds practical application in preparing lists of draft normative legal acts, with Roshydromet engaged in their development/revision. The analysis is taken into account in the development of departmental legal acts and updating and organizing the database of Roshydromet legal documents. The article describes the changes in the legal framework in hydrometeorology by the example of 2017.

Keywords: legal framework in the field of Hydrometeorology, departmental legal acts, legislative acts of the Russian Federation.

Fig. 4. Ref. 19.

UDC 551.507.23:004

Creation of databases of MORMET and MORMET-2006 ship meteorological observations. Krakanovskaia E.M., Marinchenko E.B., Shevchenko A.I. Proceedings of RIHMI-WDC. 2019. N 184. P. 155–169.

The article describes a structure of data arrays of ship meteorological information «MORMET» and «MORMET-2006». The technology of database replenishment is described. The distribution of observational data in space (by regions of the World Ocean) and time (by years) is characterized.

Keywords: ship meteorological observations, control of ship meteorological observations, database replenishment technology, sources of ship meteorological observational data.

Tab. 4. Ref. 21.

UDC 551.586

Estimating the use of Bioclimatic Index of Severity of Climatic Regime on the territory of Russia. Finaev A.F. Proceedings of RIHMI-WDC. 2019. N 184. P. 170–179.

The extreme nature of the environment in different regions of the world is determined by a set of meteorological factors. The most severe climate is observed in polar, desert and alpine regions. This article presents the results of estimated calculation of BISCRA application and the impact of climate loads on labor productivity for eight locations in various environmental zones of Russia. Parameters of formula used for calculation were specified taking into account solar radiation effects. The results obtained can be applied in practice for labor optimization in developing regions with severe climate (Arctic, Siberia, mountains and deserts).

Keywords: climate, bioclimate, meteorology, climate impact, extreme environment, human adaptation, bioclimatic indices, labor productivity.

Fig. 2. Tab. 2. Ref. 10.

UDC 551.525:551.578.46

Warming influence of snow cover on the temperature of the soil surface under snow. Sherstyukov A.B. Proceedings of the RIHMI-WDC. 2019. N 184. P. 180–192.

This paper proposes a method for calculating the temperature of the soil surface under snow cover using data on snow cover depth and observations of temperature on its surface or air temperature measured at meteorological stations. Quantitative assessments of warming effect of snow cover on soil temperature are presented. Spatial differences of that effect are also described.

The results increase significantly the possibility of using simple models in forecasting the state of permafrost under climate change.

Keywords: thermal conductivity, snow cover, soil temperature, permafrost, quantitative assessment modeling.

Fig. 4. Ref. 8.

Сборник научных трудов

Труды ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД». Выпуск 184

Подписано к печати 01.07.2019 г. Формат 60×84/16.

Печать офсетная. Печ. л. 12,09. Тираж 300 экз. Заказ № 13.

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