

Федеральная служба  
по гидрометеорологии  
и мониторингу  
окружающей среды



**ТРУДЫ  
ГЛАВНОЙ ГЕОФИЗИЧЕСКОЙ  
ОБСЕРВАТОРИИ  
им. А.И. ВОЕЙКОВА**

**563**  
выпуск

ISSN 0376-1274

*Уважаемые читатели!*

*Подписаться на научно-технический журнал «Труды Главной геофизической обсерватории им. А. И. Воейкова» вы можете по каталогу «Роспечать» во всех отделениях связи.*

*Подписной индекс – 18617.*

Федеральная служба  
по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды

ТРУДЫ  
ГЛАВНОЙ ГЕОФИЗИЧЕСКОЙ ОБСЕРВАТОРИИ  
им. А. И. Воейкова

Выпуск  
563

*Под редакцией*  
*д-ра физ.-мат. наук В. М. Катцова,*  
*д-ра физ.-мат. наук В. П. Мелешко*

Санкт-Петербург  
2011

---

Адрес: 194021 Санкт-Петербург, ул. Карбышева, 7

Телефон: (812) 297 43 90

ФАКС: (812) 297 86 61

e-mail: [director@main.mgo.rssi.ru](mailto:director@main.mgo.rssi.ru)

web site: <http://www.voeikovmgo.ru>

*Редакционная коллегия*

д-р физ.-мат. наук В. М. Катцов, д-р физ.-мат. наук Е. Л. Генихович,  
канд. физ.-мат. наук А. С. Зайцев, д-р физ.-мат. наук, профессор И. Л. Кароль,  
д-р геогр. наук, профессор Н. В. Кобышева, д-р физ.-мат. наук В. П. Мелешко,  
д-р геогр. наук А. В. Мещерская, д-р физ.-мат. наук, профессор О. М. Покровский,  
канд. физ.-мат. наук С. С. Чичерин, канд. геогр. наук Е. Л. Махоткина (секретарь  
редколлегии)

Содержатся результаты теоретических и экспериментальных исследований по современным проблемам изменения климата и прогноза погоды, атмосферной диффузии и мониторинга состояния атмосферы, климатологии, дистанционного зондирования атмосферы.

Сборник рассчитан на широкий круг научных работников и инженеров, интересующихся результатами современных исследований в области метеорологии и их практическим использованием.

Рекомендуется аспирантам и студентам старших курсов соответствующих специальностей.

*В соответствии с решением Президиума высшей аттестационной комиссии Министерства образования и науки РФ журнал включен в перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата и доктора наук*

Proceedings of Voeikov Main Geophysical Observatory

*Editorial board*

Dr. V. M. Kattsov, Dr. E. L. Genihovich, Dr. A. S. Zaitsev, Dr. I. L. Karol,  
Dr. N. V. Kobysheva, Dr. V. P. Meleshko, Dr. A. V. Mescherskaya,  
Dr. O. M. Pokrovsky, Dr. C. C. Chicherin, Dr. E. L. Makhotkina (editorial board  
secretary)

The publication deals with the results of theoretical and experimental studies on the present-day problems of changes in climate and weather forecast, atmospheric diffusion and atmospheric air condition monitoring, climatology, remote sounding of the atmosphere.

The publication is meant for a wide circle of specialists interested in the results of meteorological science development and their practical application.

It is recommended for post-graduates and students in their third or fourth year of respective speciality.

## СОДЕРЖАНИЕ

<i>В. М. Катцов, Б. Н. Порфирьев.</i> Оценка макроэкономических последствий изменений климата на территории Российской Федерации на период до 2030 г. и дальнейшую перспективу (резюме доклада).....	7
<i>Е. М. Акентьева, Н. В. Кобышева.</i> Стратегии адаптации к изменению климата в технической сфере для России.....	60
<i>И. А. Корнева, И. О. Попов, С. М. Семенов.</i> Современные изменения температуры земной поверхности и потока поглощенной радиации в регионе Гренландии .....	77
<i>А. В. Мещерская, В. М. Мирвис, М. П. Голод.</i> Засуха 2010 г. на фоне многолетнего изменения засушливости в основных зерносеющих районах европейской части России .....	94
<i>В. В. Стадник, О. В. Трофимова.</i> Прямая солнечная радиация, поступающая на наклонные поверхности .....	122
<i>И. В. Грищенко.</i> Особенности оценки ущерба и рисков, связанных с опасными явлениями погоды, на территории Архангельской области и Ненецкого автономного округа .....	137
<i>И. Б. Попов.</i> Особенности вариаций электрической проводимости воздуха вблизи Санкт-Петербурга.....	149
<i>А. А. Образцова, Н. Н. Парамонова, В. И. Привалов.</i> Исследование суточной изменчивости концентрации атмосферного водорода в окрестностях Санкт-Петербурга и оценка его эмиссии с городской территории.....	166
<i>В. М. Шаймарданов.</i> Развитие архивной системы данных о состоянии окружающей природной среды на базе современных технических средств.....	179
<i>В. М. Шаймарданов.</i> Обеспечение сохранности данных, накопленных на бумажных носителях, и организация обслуживания .....	191
<i>И. В. Морозова.</i> Алгоритм критического контроля средних за месяц суточных значений радиационного баланса земной поверхности .....	197
<i>Р. А. Круглов, А. В. Дробинская.</i> Анализ методических погрешностей и результаты сравнительных измерений высоты облаков на аэродроме с помощью светолокаторов и лазерных приборов .....	206
<i>Ю. Б. Ржонсницкая.</i> Моделирование рассеяния излучения неоднородной аэрозольной частицей .....	214

<i>А. В. Снегуров.</i> Экспериментальная оценка параметров электромагнитного излучения грозových разрядов в сверхдлинноволновом диапазоне.....	223
<i>В. Ю. Окоренков.</i> Прогнозирование основных показателей метрологической надежности гидрометеорологических средств измерений.....	235
<i>О. П. Шарикова, Е. В. Ковачева.</i> Анализ качества работы лабораторий мониторинга загрязнения атмосферы сети Росгидромета.....	253
Итоги научно-производственной деятельности ГГО в 2010 г. ....	260
Александр Иванович Решетников.....	279
Аркадий Матвеевич Шаламянский.....	281
Владимир Дмитриевич Николаев.....	283
Рафаил Исаакович Оникул.....	285
Академик М. А. Рыкачев.....	287
Лев Семенович Гандин.....	292
Михаил Ефимович Швец.....	294
К 180-летию начала регулярных геофизических наблюдений в Барнауле.....	297

## CONTENTS

Assessment of macroeconomic impacts of climate change over the territory of Russian Federation until 2030 and beyond (summary) .....	7
<i>E. M. Akentyeva, N.V. Kobysheva.</i> Climate change adaptation strategy in the Technical Sphere for Russian Federation .....	60
<i>I. A. Korneva, I. O. Popov, S. M. Semenov.</i> Recent changes in temperature of earth's surface and absorbed radiation flux in greenland region .....	77
<i>A. V. Meshcherskaya, V. M. Mirvis, M. P. Golod.</i> The drought of summer 2010 against the background of long-term changes in the aridity over bread-basket region in the European territory of Russia .	94
<i>V. V. Stadnik, O. V. Trofimova.</i> Direct solar radiation incoming to tilted surfaces.....	122
<i>I. V. Grishenko.</i> Specifics of damage and risk assessment related to hazardous weather in the territory of Arkhangelsk Region and Nenets Autonomous District .....	137
<i>I. B. Popov.</i> Features of air electrical conductivity variations near St. Petersburg .....	149
<i>A. A. Obraztsova, N. N. Paramonova, V. I. Privalov.</i> Study of diurnal cycle of atmospheric hydrogen concentration in the vicinity of Saint Petersburg and estimate of the hydrogen emission from urban area .....	166
<i>V. M. Shaimardanov.</i> Development of the archival data system for the state of environment based on state-of-the-art hardware .....	179
<i>V. M. Shaimardanov.</i> Protection of data stored in hard copy and their maintenance management. ....	191
<i>I. V. Morozova.</i> The algorithm of quality control of the monthly mean daily values of radiation balance of Earth surface .....	197
<i>R. A. Kruglov, A. V. Drobinskaya.</i> The analysis of methodical errors and results of comparative measurements of height of clouds in air-drome by means of light locators and laser devices.....	206
<i>Y. B. Rzhonsnitskaya.</i> Simulating of light scattering by inhomogeneous aerosol particle.....	214

<i>A. V. Snegurov.</i> Experimental evaluation of the parameters of electromagnetic radiation of lightning discharges in the VLF range.....	223
<i>V. Yu. Okorenkov.</i> Prediction of the main indicators of the metrological reliability of meteorological measuring instruments .....	235
<i>O. P. Sharikova, E. V. Kovachyova.</i> Analysis of quality of work of a network laboratories of air pollution monitoring.....	253
Results of a scientific-production activity of MGO in 2010.....	260
Aleksandr Ivanovich Reshetnikov .....	279
Arkady Mordukhovich Shalamyansky .....	281
Vladimir Dmitrievich Nikolaev .....	283
Raphael Isaakovich Onikul .....	285
Mikhail Aleksandrovich Rykachev.....	287
Lev Semonovich Gandin.....	292
Mikhail Efimovich Shvets .....	294
By the 180-anniversary of the beginning of regular geophysical observations in Barnaul.....	297

**ОЦЕНКА МАКРОЭКОНОМИЧЕСКИХ  
ПОСЛЕДСТВИЙ ИЗМЕНЕНИЙ КЛИМАТА  
НА ТЕРРИТОРИИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
НА ПЕРИОД ДО 2030 г. И ДАЛЬНЕЙШУЮ ПЕРСПЕКТИВУ  
(резюме доклада<sup>1</sup>)**

*В. М. Катцов<sup>1</sup>, Б. Н. Порфирьев<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> Главная геофизическая обсерватория им. А. И. Воейкова  
194021 г. Санкт-Петербург, ул. Карбышева, д. 7  
E-mail: director@main.mgo.rssi.ru

<sup>2</sup> Институт народнохозяйственного прогнозирования РАН  
117418 Москва, Нахимовский пер., д. 47  
E-mail: office@ecfor.ru

Поступила в редакцию 14.03.2011

Повышение температуры в среднем по территории России за последние 100 лет в полтора-два раза превысило темпы глобаль-

---

<sup>1</sup> Доклад под редакцией В. М. Катцова и Б. Н. Порфирьева является совместным вкладом ученых и специалистов научно-исследовательских учреждений Росгидромета (Главной геофизической обсерватории им. А. И. Воейкова (головной исполнитель), Арктического и антарктического научно-исследовательского института, Всероссийского научно-исследовательского института гидрометеорологической информации — Мирового центра данных, Всероссийского научно-исследовательского института сельскохозяйственной метеорологии, Гидрометцентра России, Государственного гидрологического института) и РАН (Института народнохозяйственного прогнозирования РАН и Института леса им. В. Н. Сукачева СО РАН) в научное обоснование национальной стратегии Российской Федерации в отношении изменения климата. Авторы доклада: В. М. Катцов, Н. В. Кобышева, В. П. Мелешко, Б. Н. Порфирьев, Б. А. Ревич, О. Д. Сиротенко, В. В. Стадник, Е. И. Хлебникова, С. С. Чичерин, А. Л. Шалыгин. В докладе были использованы материалы по отдельным аспектам рассматриваемой темы, предоставленные Е. М. Акентьевой, Г. В. Алексеевым, О. А. Анисимовым, А. Е. Асариным, О. Н. Булыгиной, Е. А. Вагановым, В. А. Говорковой, А. Н. Жиркевичем, Д. Б. Киктевым, В. В. Оганесяном, В. Н. Павловой, Т. В. Павловой, И. А. Салль, В. И. Харуком, И. М. Школьником.

ного потепления.<sup>2</sup> При этом по сравнению со столетним трендом в последние десятилетия скорость потепления возросла в несколько раз, увеличились годовые суммы осадков. Увеличиваются годовая сток большинства крупнейших рек России, а также повторяемость и мощность наводнений. В Арктике в последнее тридцатилетие наблюдается быстрое сокращение площади морского льда на фоне значительной межгодовой изменчивости. В целом, несмотря на маскирующий эффект естественной изменчивости и недостаточную в ряде регионов обеспеченность данными, наблюдаемая картина изменений климата на территории России согласуется с глобальным потеплением, факт которого на сегодняшний день не вызывает сомнений.

Согласно результатам расчетов с помощью современных физико-математических моделей, в течение XXI века средняя температура приземного воздуха на территории России будет продолжать повышаться. Наибольшего потепления следует ожидать в Сибири и в северных регионах России, а также в Арктике. В регионах, где уже существует достаточное или избыточное увлажнение, будет происходить увеличение водных ресурсов; напротив, там, где водообеспеченность в настоящее время недостаточна, ожидается дальнейшее их уменьшение. На европейской части России ожидаются преимущественное сокращение снежного покрова и увеличение зимнего стока рек, тогда как на севере и востоке азиатской части России, где преобладают твердые осадки, — рост накопленной за зиму массы снега и его ускоренное таяние весной, что увеличит риск наводнений. Ожидается дальнейшая деградация многолетней мерзлоты, сопровождающаяся увеличением мощности сезонно-талого слоя и смещением к северу границы, разделяющей области сезонного протаивания и сезонного промерзания грунтов. Сокращение ледяного покрова Северного Ледовитого океана будет происходить в течение всего XXI века, причем преимущественно

---

<sup>2</sup> Здесь и ниже цитируются выводы оценочного доклада Росгидромета Об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации (2008) / Под ред. А. И. Бедрицкого и др. Т. 1 (<http://www.voeikovmgo.ru/ru/otsenochnyiy-doklad-izmenenie-klimata-na-territorii-rossiyskoy-federatsii.html>).

за счет сокращения площади многолетних льдов. Расчеты позволяют также ожидать во многих регионах изменений к худшему в статистике различных видов экстремальных и опасных явлений, в том числе интенсивности волн тепла, пожароопасности в лесах, засух, экстремальных осадков и т. п.

Перечисленные изменения климата все в большей степени будут влиять на условия хозяйствования и жизнедеятельности на всей территории России. Особое внимание обращают на себя негативные последствия экстремальных и опасных природных явлений, подавляющее большинство которых относится к погодноклиматическому типу чрезвычайных ситуаций. По нашей оценке, в конце 1990-х — начале 2000-х годов причиняемый ими ущерб составлял в среднем в год не менее 0,5 % ВВП и при этом темпы его увеличения вдвое превышали темпы роста ВВП. Однако с точки зрения макроэкономических последствий значительно большее значение имеют изменения окружающей среды и природных условий функционирования хозяйственного комплекса вследствие глобальных и региональных климатических изменений, которые существенным образом, хотя и по-разному, влияют на динамику и структуру экономического роста, развитие базовых отраслей экономики и регионов страны.

Указанные изменения обуславливают потребность в изменении сложившихся традиций хозяйствования, которые, в свою очередь, требуют перемен в образе жизни и экономическом поведении населения, способах ведения хозяйства на всех уровнях. На микроэкономическом уровне эти перемены предполагают изменения в деятельности домохозяйств, а также изменения производственных технологий и форм организации и управления предприятиями, обеспечивающие их адаптацию к новым климатическим условиям. На мезо- и макроэкономическом уровнях возникает необходимость корректировки средне- и долгосрочных программ отраслевого и регионального развития, а также экономической политики в региональном и федеральном масштабах исходя из специфики последствий изменений климата для экономики конкретных территорий.

Изменения климата влекут за собой двоякого рода последствия для экономики страны. *Прямые последствия* включают ре-

альные и ожидаемые изменения условий хозяйствования, которые обусловлены уязвимостью экономики в целом, ее отдельных производств и комплексов, домохозяйств к климатическим флуктуациям и которые на макроэкономическом уровне проявляются в изменении динамики, структуры и технологического уклада развития экономики. При этом имеются в виду изменения условий хозяйствования, как ухудшающие, так и благоприятствующие развитию конкретных производств и территорий. *Косвенные последствия* связаны уже не с изменениями условий хозяйствования, а с реакцией экономической системы на эти изменения. Указанная реакция реализуется через снижение или смягчение хозяйственного воздействия на климатообразующие факторы (снижение техногенных выбросов парниковых газов, более эффективные формы землепользования и др.) либо путем адаптации основных элементов экономической системы (домохозяйств, производств и комплексов) к изменившимся обстоятельствам с использованием новых технологий строительства и оборудования хозяйственных объектов и сооружений, новых технологий и форм организации в аграрном, лесном, водохозяйственном и других комплексах.

Оценка *прямых последствий* изменений климата для экономики России на период до 2030 г. исходит из инерционного сценария ее развития. Его выбор обусловлен двумя причинами: во-первых, самой методологией такой оценки, которая предполагает рассмотрение эффекта воздействия изменений климата на сложившиеся условия хозяйствования без их последующих изменений в результате возможных корректив экономической политики (это уже является предметом анализа косвенных последствий изменений климата для экономики); во-вторых, особенностями ситуации в самой российской экономике.<sup>3</sup>

---

<sup>3</sup> За последние 20 лет динамика ВВП характеризовалась стремительным падением, впечатляющим взлетом, затем торможением, но в целом за период 1990—2010 гг. экономический рост носил восстановительный характер. Изменения в структуре и технологическом укладе хозяйственного комплекса выразились в значительном увеличении вклада сферы услуг в ВВП и некотором улучшении ее технической оснащенности, в

Инерционному сценарию соответствует тенденция преимущественного сохранения до 2030 г. присущего существующей структуре и технологическому укладу экономики характера (типа) уязвимости хозяйственного комплекса к изменениям климата со свойственной ему противоречивостью последствий указанных изменений для экономики. Останутся актуальными и, вероятно, усугубятся проблемы развития производственной (включая энергетическую) и социальной инфраструктуры, а также транспорта в северных регионах страны, обусловленные деградацией вечной мерзлоты, и проблемы сдерживания темпов роста производства в наиболее погодочувствительных секторах экономики (сельское, лесное и водное хозяйство, транспорт, туристско-рекреационный комплекс), которые дают примерно треть производства ВВП. Причиняемый им ущерб при существующих тенденциях измене-

---

то время как для реального сектора экономики (за исключением строительства) была характерна прямо противоположная тенденция. Принятые правительством программы, ориентированные на переход экономики России на инновационный путь развития, продвигаются с огромным трудом: по официальной оценке, стратегия социально-экономического развития страны в 2000—2010 гг. реализована не более чем на 2/5.

Серьезные дополнительные сложности на пути ускорения и улучшения качества экономического роста создал экономический кризис. Последствия торможения экономического роста, включая динамику инвестиций, в России оказались наиболее тяжелыми среди стран «большой двадцатки». В связи с эти закономерно, что имеющиеся прогнозы социально-экономического развития страны на период до 2030 г. предусматривают более высокую вероятность реализации инерционного сценария по сравнению с инновационным. См.: Долгосрочный прогноз развития экономики России на 2007—2030 гг. (по вариантам) (2007) // *Проблемы прогнозирования*, 2007, № 6, с. 3—6; *Основные параметры прогноза социально-экономического развития Российской Федерации на период до 2020—2030 годов*. Приложение к Концепции долгосрочного социально-экономического развития Российской Федерации (2008). — М., Минэкономразвития РФ, с. 37.

В прогнозе ученых РАН сценарий, альтернативный инерционному, именуется инвестиционным. В прогнозе Минэкономразвития РФ наиболее вероятной разновидностью инерционного сценария считается энерго-сырьевой сценарий.

ния регионального климата, включая экстремальные и опасные природные явления, может достигать в среднем в год 1—2 % ВВП.<sup>4</sup> При этом на отдельных, причем достаточно обширных территориях этот показатель может быть существенно выше — 4—5 % регионального ВВП.

Анализ ситуации, сложившейся к началу 2011 г., выявляет признаки появления климатических барьеров, тормозящих экономический рост, которые примерно к 2030 г. могут сформироваться уже в полной мере.<sup>5</sup> В то же время, некоторые последствия изменений климата открывают «окна возможностей» для развития экономики, например, в связи с обусловленной потеплением климата и потенциально благоприятной для значительной части территории России тенденцией сокращения отопительного сезона и соответственно потребностей и затрат на топливо и отопление (сопровождаемого, однако, ростом затрат на кондиционирование). Кроме того, выгоды изменений климата связаны с тенденцией увеличения продолжительности вегетационного периода, расширения зоны земледелия и, следовательно, роста сельскохозяйственного производства и укрепления продовольственной безопасности страны, увеличения периода навигации и соответственно возможностей развития водного транспорта и т. д.

Представляется, что совокупный эффект перечисленных тенденций в отношении прямых последствий изменений климата

---

<sup>4</sup> Оценки носят приближенный характер и приводятся как ориентир, а не точный показатель. Они выполнены на основе метода аналогий, использующего соответствующие данные и расчеты по развитым странам и мировой экономике в целом. В частности, по данным доклада Н. Стерна, глобальный ущерб экономике от выбросов парниковых газов может достигать 1 % мирового ВВП. По более свежим (декабрь 2010 г.) оценкам ЮНЕП и консалтинговой компании *Trucost*, эта величина составляет 4,5 трлн долл., или 7,5 % мирового ВВП (см. [www.greenbiz.com/print/39352](http://www.greenbiz.com/print/39352)). По нашему мнению, реальная цифра примерно вчетверо меньше и составляет порядка 1,9—2,1 % мирового ВВП.

<sup>5</sup> «Основные параметры прогноза социально-экономического развития Российской Федерации на период до 2020—2030 годов». Приложение к Концепции долгосрочного прогноза социально-экономического развития Российской Федерации (2008). — М.: Минэкономразвития.

для экономики страны в период до 2030 г. будет характеризоваться некоторым превышением издержек (включая, прежде всего, ущерб, причиняемый опасными природными явлениями) над упомянутыми выгодами. Вместе с тем, это обстоятельство мало отразится на макроэкономических индикаторах развития экономики России в целом в указанный период, хотя в отдельных регионах страны эффект торможения может быть ощутимым.

Оценка прямых последствий изменений климата для экономики России за пределами 2030 г. весьма проблематична. Сложность заключается не только в прогнозе изменений климата, неопределенность результатов которого постоянно подчеркивается ведущими отечественными и зарубежными специалистами. Оценка перспектив экономического развития страны и непосредственно связанной с нею степени уязвимости хозяйственной системы к указанным изменениям за пределами 20-летнего горизонта прогнозирования выглядит еще менее надежной. Прежде всего, это связано с сохраняющимся противоречием во внутренней политике между принятыми официальными установками на модернизацию экономики и ее переход на инновационный путь развития, с одной стороны, и реальной структурой консолидированного (федерального и регионального) государственного бюджета, а также расходов корпоративного сектора и домохозяйств, с другой стороны.

Преодоление отмеченного принципиального противоречия в пределах ближайшего десятилетия позволило бы осуществить диверсификацию и модернизацию всей экономики после 2030 г. Помимо социально-экономических выгод, это обеспечило бы лучшие возможности для сокращения техногенных выбросов парниковых газов и связанных с ними дополнительных рисков климатических изменений и кроме того, возможности для адаптации хозяйственного комплекса и населения России к изменениям климата как с точки зрения смягчения их негативных последствий, так и использования создаваемых ими благоприятных возможностей для развития экономики. В этом случае упомянутый ранее баланс издержек и выгод для экономического роста оказался бы положительным.

В любом случае преодоление вышеупомянутого противоречия относится уже к сфере поведения самой экономической системы,

в частности ее реакции на изменения климата и обусловленные ими перемены в условиях хозяйствования, т. е. к области *косвенных последствий* изменений климата для экономики. До сих пор отечественная экономическая политика слабо учитывала фактор изменений климата, воспринимая, и то ограниченно, лишь сигналы, связанные с опасными гидрометеорологическими явлениями и причиняемым ими ущербом. Значительное (более трети) сокращение объема техногенных выбросов парниковых газов, достигнутое за последних два десятка лет, никак не было сопряжено с указанным фактором, но стало побочным результатом тяжелого экономического кризиса и глубокого промышленного спада в 1990-е годы и — в существенно меньшей мере — нынешней рецессии. Некоторое снижение энергоемкости производства, достигнутое за то же двадцатилетие, и заявленный руководством России прогрессивный курс на дальнейшее ее сокращение к 2020 г. на 40 % в определяющей мере обусловлены причинами экономического (повышение эффективности и конкурентоспособности хозяйства), а не экологического и климатического (снижение уровня техногенных выбросов загрязняющих веществ и парниковых газов) свойства.

Однако в период до 2030 г., причем, скорее всего, уже к 2020 г., ситуация может существенно измениться, прежде всего, под влиянием набирающих обороты процессы глобализации и модернизации мировой экономики, в которых фактор климатических изменений — как реальная причина или, что не менее существенно, как убедительный предлог и катализатор качественных перемен в экономике, а также инструмент ограничений контрагентов и стимул для поощрения собственных производителей в конкурентной борьбе за ускоренный переход к новому технологическому укладу — будет играть все более заметную роль.

Этот климатически обусловленный вызов потребует от России уже в ближайшие годы значительно ускорить процесс модернизации хозяйственного комплекса. Решение этой задачи неизбежно связано с поисками наиболее эффективных экономических ниш, придя в которые, инвестиции в краткосрочном плане дадут наиболее быструю отдачу и наибольший мультипликативный эффект для производства и сохранения занятости, а в долгосроч-

ном плане выведут на те рубежи модернизации, которые обеспечат в дальнейшем устойчивый рост и новый облик экономики России, характеризуемый не гипертрофированной зависимостью от нефтегазовых «инъекций», но содержанием в себе как минимум ростков нового технологического уклада, которые постепенно охватят весь хозяйственный комплекс.

Государственная политика, учитывающая перечисленные выше задачи, а также особенности самого феномена изменений климата и последствий этих изменений, должна носить долгосрочный, стратегический и по-настоящему комплексный характер. Основы этой политики заложены в Климатической доктрине Российской Федерации, утвержденной Президентом РФ 17 декабря 2009 г.

Принципиальной чертой указанной политики на всех уровнях управления является *приоритет государства*, которое несет главную ответственность и финансовое бремя издержек на снижение климатических угроз безопасности и устойчивому развитию. К принципам данной политики также следует отнести ее *интегрированность* (органичную встройку) в стратегии национальной безопасности и устойчивого социально-экономического развития. Другими ее принципами являются *комплексность*, предполагающая не альтернативность, а сбалансированность и взаимодополняемость мер по снижению техногенного воздействия на климат и мер по адаптации экономики к указанным изменениям, а также *экономическая эффективность* этих мер, подразумевающая получение максимально возможных (с учетом наилучших технологических решений) эффектов от снижения техногенного воздействия на климат и адаптации при заданных ограничениях на ресурсы и время реализации.

Согласно принципу интегрированности климатической политики, развитие, ориентированное на повышение качества жизни (в широком смысле слова) и уровня защищенности личности, общества и государства, является источником средств и технологий для стабилизации и последующего снижения техногенного воздействия на климатическую систему и адаптации населения и хозяйственного комплекса к изменениям климата и снижения уровня угроз безо-

пасности, обусловленных такими изменениями.<sup>6</sup> В свою очередь, указанные угрозы должны учитываться и рассматриваться совместно с другими вызовами и угрозами, и только на этой, сравнительной основе должно определяться реальное место проблемы изменений климата и их последствий в ряду приоритетов международной безопасности и устойчивого развития экономики и общества.

В отношении приоритетов самой климатической политики, в контексте вышеупомянутого принципа комплексности главенствующая роль должна принадлежать *адаптации населения и хозяйственного комплекса к изменениям климата* по двум причинам. Прежде всего, при любом сценарии снижение выбросов парниковых газов способно в лучшем случае ограничить масштабы антропогенных изменений климата и их последствий, но не устранить их полностью. Поэтому для снижения этого остаточного риска необходимо ориентироваться, прежде всего, на снижение уязвимости к разрушительным климатическим воздействиям, используя механизмы адаптации экономики, систем обеспечения безопасности и общества в целом к ожидаемым и текущим изменениям климата и их последствиям. Кроме того, выгоды от мер адаптации получают непосредственно субъекты их реализации (предприятия, территории), поэтому мотивационный потенциал этих мер изначально (без дополнительных усилий со стороны государства) заметно превосходит таковой в отношении мер снижения техногенного воздействия на климатическую систему.

Происходящие в настоящее время изменения некоторых наиболее важных характеристик регионального климата, качественно совпадающие с теоретическими оценками, и обусловленные ими последствия дают основания для вывода о тенденции *увеличения разрыва между фактической и потребной адаптацион-*

---

<sup>6</sup> Исследователи из Института мировых ресурсов (США) довольно точно охарактеризовали такой подход как «защита климата через обеспечение приоритета развитию». См.: Baumert, K., Bradley, R., Dubash, N., Moreira, J. R., Mwakasonda, S., Wei Shiuen, N., Horta Nogueira, L. A., Parente, V., Pershing, J., Schipper, L. and Winkler, H. (2005). *Growing in the Greenhouse: Protecting the Climate by Putting Development First*. — Washington DC: World Resources Institute.

ной способностью<sup>7</sup> или снижения эффективности адаптации российской экономики и общества в целом к упомянутым изменениям. Задержки в принятии и исполнении государственных решений в условиях учащения (увеличения повторяемости) опасных природных явлений, в первую очередь погодноклиматического характера, на которые приходится большая часть чрезвычайных ситуаций, уже в недалеком будущем означают существенное увеличение затрат на адаптацию и, главное, возрастание риска масштабных людских потерь.

Поэтому эффективная адаптация населения и экономики к изменениям климата и их последствиям должна ставить во главу угла стратегию экономического развития, обеспечивающую успешное сочетание увеличения производства продукции и услуг с сокращением уязвимости населения и хозяйственных объектов. В основе стратегии лежат диверсификация экономики и стимулирование экономического роста, инвестиции в здравоохранение и образование, повышение устойчивости к природным бедствиям и совершенствование управления в кризисных ситуациях, развитие сетей социальной защиты.<sup>8</sup> Что касается собственно адаптации к изменениям климата, разработка и реализация соответствующих программ и программных мероприятий должна иметь как внутривластную, так и внешнеполитическую (включая внутриэкономическую и внешнеэкономическую) составляющие, обеспечивающие решение задач устойчивого развития и национальной безопасности, принимая во внимание прямые и косвенные последствия изменений климата.

Во внутривластной программе и программные меры адаптации должны осуществляться с учетом не только производственной, но и территориальной специфики. Для обеспечения устойчивого развития российских регионов с учетом фактора изменений климата необходим переход к стратегическому типу плани-

---

<sup>7</sup> В англоязычной литературе в таких случаях используется термин «deficit of adaptation», однако соответствующая русская калька «дефицит адаптации» нам представляется неудачной.

<sup>8</sup> См.: *Stern Review on the Economics of Climate Change* (2006). — Cambridge (UK): Cambridge University Press, p. 430.

рования, сочетающего долгосрочную перспективу с системным подходом к разработке и реализации экономических программ и отдельных проектов и «встраивающих» указанный фактор в планы развития территорий и производственных комплексов регионов. Такая увязка призвана обеспечить снижение негативных последствий и максимальное использование благоприятных возможностей, которые открываются благодаря климатическим изменениям как непосредственно, так и опосредованно (через внедрение энергоэффективных и энергосберегающих технологий). Кроме того, она должна способствовать укреплению региональной безопасности (например, путем развития систем мониторинга и раннего оповещения об опасных явлениях, программ адресной работы с коренными народами и другими особо уязвимыми группами населения и т. д.) и национальной безопасности России в целом.

Упомянутые стратегии развития российских регионов необходимо гармонизировать с общенациональным планом действий, разрабатываемым в настоящее время в рамках реализации Климатической доктрины Российской Федерации и во исполнение решений Совета Безопасности при Президенте Российской Федерации от 17 марта 2010 г. Необходимо определить территории, производственные комплексы и группы населения страны, особо уязвимые к климатическим изменениям, а кроме того, разработать программные меры по смягчению последствий и адаптации к наблюдаемым и прогнозируемым изменениям климата, включая создание финансовых и институциональных механизмов, а также технологий снижения климатических рисков, развитие исследований в области климатологии и анализа и оценки эффективности различных мер адаптации.

Большинство предлагаемых краткосрочных мер не требует значительных вложений средств и может быть интегрировано в уже существующие или разрабатываемые региональные стратегии социально-экономического развития. Для реализации дальнейших шагов потребуются более существенные инвестиции, а также вовлечение большего числа сторон на федеральном, региональном и местном уровнях. В то же время, предусматриваемые стратегией долгосрочного развития страны модернизация экономики и переход на инновационный путь развития, вероятно, позволят снизить

затраты и сократить сроки осуществления этих задач в будущем. Этому же будет способствовать использование опыта других стран, в которых многие подходы в области смягчения последствий изменения климата и адаптации прошли успешную апробацию, а также опыта и потенциала международных организаций, таких как ПРООН, ЮНЕП, ОЭСР, Всемирный банк и др.

В данном контексте следует подчеркнуть особую значимость науки в разработке государственной политики и роль научно-технических разработок и технологических решений в области адаптации населения, хозяйственных систем и системы обеспечения национальной безопасности России к изменениям климата. Важнейшей составляющей адаптационного потенциала является состояние климатической науки, центральная задачей которой — оценка будущих изменений климата, выработка на его основе соответствующих рекомендаций и участие в разработке адаптационных мер. Положение дел в России с этим аспектом наращивания адаптационного потенциала нуждается в безотлагательном и решительном улучшении.

В области адаптации *населения*, прежде всего в аспекте здравоохранения, ожидаемая интенсификация волн тепла, особенно в крупных населенных пунктах, требует внесения корректив в районную планировку, конструкцию и оборудование зданий. В том числе необходимы дополнительное озеленение городов, развитие кондиционирования жилых и общественных зданий, включая лечебные и социальные учреждения, внедрение системы предупреждения населения о жаре. При этом необходимо учитывать возрастание риска косвенного воздействия — через повышение концентраций загрязняющих веществ в воздухе, что порождает необходимость использования энергосберегающих технологий, экологически чистого транспорта и т. п. Для эффективного выполнения перечисленных мер необходимо заинтересованное участие населения, которое должно своевременно и в полном объеме получать информацию от муниципальных (региональных) властей и органов здравоохранения.

Адаптационные меры в отношении ожидаемого в связи с потеплением климата увеличения риска инфекционных заболеваний включают усиление эпидемиологического надзора, внедре-

ние системы ранней диагностики, своевременную вакцинацию, проведение противомаларийных и других мероприятий. Влияние повышенных температур на состояние возбудителей кишечных инфекционных заболеваний и паразитозов, нарушение работы водопроводно-канализационных сооружений обуславливает необходимость ужесточения санитарно-эпидемиологического надзора, расширения санитарно-просветительской работы, а также усиления контроля работы водопроводно-канализационных сооружений и установок, внедрения систем локальной очистки питьевой воды. Опасные погодно-климатические явления требуют ускоренного развития системы оповещения населения, создания мобильных бригад оказания скорой медицинской помощи и ряда других мер оперативного реагирования.

Специальные адаптационные меры должны быть разработаны и реализованы в отношении коренных народов ряда регионов Российской Федерации, в частности Крайнего Севера, здоровью и устойчивому развитию которых ожидаемые изменения климата угрожают в наибольшей степени.

Необходимо безотлагательно заняться разработкой «климатического» компонента миграционной политики Российской Федерации, начиная от надлежащей оценки и завершая выработкой механизмов регулирования потоков так называемых экологических беженцев, включая «климатических беженцев». Разрабатываемые и принятые практикой меры должны касаться граждан не только Российской Федерации, но и других стран, в которых эффективность адаптации к изменениям климата оказывается низкой, что вынуждает жителей покинуть родные места.

Разработка и осуществление адаптационных мер в *энергетическом секторе* экономики, охватывающем генерацию, передачу энергии и транспортировку энергоносителей, должны обеспечивать энергетическую безопасность и энергетическую эффективность экономики, экономическую эффективность и экологическую безопасность энергетики. Ключевые меры адаптации этого сектора к изменениям климата в существенной мере совпадают с мерами, обеспечивающими снижение выбросов парниковых газов. К ним относятся, прежде всего, энергосбережение, а также диверсификация и децентрализация энергетики с максимально

полным использованием возможностей источников энергии, альтернативных угля и нефти. При этом, если для снижения выбросов парниковых газов принципиальное значение имеет сама технология производства энергии указанными источниками, предусматривающая минимальные или нулевые эмиссии этих газов, то в адаптации к изменениям климата приоритет принадлежит привносимым использованием альтернативных источников энергии эффектам диверсификации и децентрализации.

К альтернативным источникам энергии в России относятся АЭС и возобновляемые источники энергии (ВИЭ) — гелиоэнергетики, ветроэнергетики и малой гидроэнергетики, а также биотоплива и тепловых насосов. Что касается природного газа, который обеспечивает основную часть (около половины) потребления электроэнергии России и является экологически более чистым по сравнению с нефтью и углем источником энергии, на обозримую перспективу (до 2030 г.) реалистичной представляется стратегия сохранения позиций этого источника энергии одновременно с мерами энергосбережения и энергоэффективности — улучшением КПД соответствующих установок и увеличением в них доли когенерации тепла и электричества.

Сохранение в ближайшие десятилетия стабильного лидерства в топливно-энергетическом балансе России ископаемых углеводородов, прежде всего газа, не умаляет значимости и перспективности активного использования возможностей ВИЭ, которые должны постепенно замещать мощности на углеводородном топливе в районах децентрализованного энергоснабжения (т. е. на 2/3 территории страны). Такое замещение в сочетании с наращиванием мощностей за счет ВИЭ вполне реально, учитывая особенности размещения указанных источников энергии по территории Российской Федерации, позволяющие практически каждому ее субъекту комплексно использовать два-три вида ВИЭ. Это может существенно повысить обеспеченность электрической и тепловой энергией удаленных потребителей, повысить уровень энергетической, а вместе с ним экономической и в целом национальной безопасности. Разработка и издание совместными усилиями Росгидромета и Минэнерго России новых Правил устрой-

ства электроустановок позволит использовать открывающиеся в этом направлении возможности в еще большей мере.

В отношении главного сегмента ТЭК — энергетических установок, работающих на ископаемом топливе, а также систем его транспортировки — основными мерами адаптации, помимо упомянутых выше, являются развитие технологических и инфраструктурных инноваций, повышающих устойчивость сооружений к неблагоприятным погодноклиматическим воздействиям, а также развертывание масштабной и эффективной системы страхования, снижающей риски ущерба от такого рода воздействий и реализующей потенциал, заложенный в действующем законодательстве.<sup>9</sup> В частности, в районах таяния вечной мерзлоты необходимо укрепление труб на буровых установках, которые должны иметь в своем составе грозозащитное оборудование; монтаж труб, доставляемых транспортом для опускания в скважины, учитывая низкие температуры, следует выполнять немедленно, и это должно быть предусмотрено заранее. Кроме того, необходимо автономное снабжение энергией компрессорных станций, например, за счет ветроэнергетических установок.

В целях адаптации к изменениям климата *гидроэнергетики* совместными усилиями Росгидромета и Минэнерго России необходимо произвести уточнение гидроэнергетического потенциала малых и средних рек, учитывая, что в условиях России малая гидроэнергетика является наиболее перспективным и экономически эффективным ВИЭ. Для реализации ее возможностей в полной мере необходимо преодолеть ряд барьеров, в том числе: неполную информированность потенциальных пользователей о преимуществах применения небольших гидроэнергетических

---

<sup>9</sup> См.: Федеральный закон Российской Федерации от 21 июля 1997 г. № 116-ФЗ «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» (с последующими изменениями); Федеральный закон Российской Федерации от 21.07.97 № 117-ФЗ «О безопасности гидротехнических сооружений» (с последующими изменениями); Федеральный закон Российской Федерации от 27 июля 2010 г. № 225-ФЗ «Об обязательном страховании гражданской ответственности владельца опасного объекта за причинение вреда в результате аварии на опасном объекте».

объектов; недостаточную изученность гидрологического режима и объемов стока малых водотоков; низкое качество действующих методик, рекомендаций и СНиП, что является причиной серьезных ошибок в расчетах; несовершенство методик оценки и прогнозирования возможного воздействия на окружающую среду и хозяйственную деятельность; слабую производственную и ремонтную базу предприятий, производящих гидроэнергетическое оборудование для малых ГЭС. Для повышения надежности их работы необходимы также дополнительные исследования их функционирования в условиях глубокого промерзания русла рек. Массовое строительство объектов малой гидроэнергетики возможно лишь в случае серийного производства оборудования, отказа от индивидуального проектирования и качественно нового подхода к надежности и стоимости оборудования — по сравнению со старыми объектами, выведенными из эксплуатации.

В целях адаптации гидроэнергетики в целом к происходящим и ожидаемым в перспективе климатическим изменениям необходимо совместными усилиями научно-исследовательских учреждений Росгидромета, РАН и Министерства энергетики дать объективную количественную оценку влияния на выработку энергии ГЭС произошедших изменений водного режима рек. Кроме того, необходимо разработать новые правила эксплуатации водохозяйственных и гидроэнергетических систем, принимая во внимание фактически наблюдающиеся и ожидаемые изменения климата. Ныне действующие правила эксплуатации водохозяйственных и энергетических систем разработаны без учета произошедших и ожидаемых изменений внутригодового распределения стока рек. В результате не только не используется полностью возможность для увеличения выработки энергии, но и создаются чрезвычайные ситуации. В современных условиях для рационального управления работами водохранилищ необходима разработка новых правил эксплуатации гидроузлов и их каскадов с учетом происходящих изменений гидрометеорологического режима на водосборах.

Для адаптации *сельскохозяйственного производства* к климатическим изменениям в целях снижения рисков и обеспечения продовольственной безопасности России необходимо продвижение

(расширение) зоны земледелия в северном направлении, в достаточно увлажненные зоны. В Нечерноземье и на Дальнем Востоке это должно сочетаться с активным применением мелиоративных мероприятий, органических и минеральных удобрений, средств защиты растений по нормам, принятым для аналогичных почвенно-климатических условий в странах ЕС. В регионах с ожидаемым ростом засушливости климата первоочередными мерами по стабилизации сельскохозяйственного производства являются: внедрение берегающих влагу технологий, включая сохранение или расширение площадей под паром, увеличение доли озимых зерновых культур, расширение посевов засухоустойчивых культур — кукурузы, сорго и проса, а также селекция и интродукция новых сортов других культур, устойчивых к засухе. Для использования дополнительных тепловых ресурсов рекомендуется расширение посевов вторых пожнивных культур в благоприятные по увлажнению годы.

В связи с ожидаемыми положительными для сельского хозяйства тенденциями изменения агроклиматических условий в ряде регионов меры адаптивного характера должны быть направлены на расширение площадей, занятых озимыми зерновыми, более урожайными, чем яровые культуры. Требуется пересмотр видового и сортового состава возделываемых сельскохозяйственных культур с целью отбора видов (сортов), более позднеспелых и более продуктивных, для использования дополнительных тепловых ресурсов, обусловленных потеплением климата. Для таких регионов рекомендуется существенное расширение посевов теплолюбивых сельскохозяйственных культур, таких как кукуруза и сахарная свекла, которые в настоящее время импортируются в значительных объемах (в частности, свекла — в виде сырья для производства сахара и самого сахара). Помимо выгод от адаптации в виде снижения рисков производства, это должно привести к ликвидации существующей зависимости от импорта этих товарных позиций, укреплению самообеспеченности и продовольственной безопасности страны. То же относится и к перспективам расширения посевов масличных культур, включая подсолнечник, сою и, особенно, рапс озимый.

Регионы Поволжья, Северного Кавказа и Урала, поставляющие наибольшее количество продовольственного экспортного зерна, должны иметь возможность расширения посевных площадей в целях компенсации недоборов зерна, связанных с увеличением повторяемости засух в указанных регионах. Эти площади должны освобождаться в результате переноса производства соответствующих объемов фуражного зерна за пределы зоны рискованного земледелия. Требуется разработка и принятие системы мер для уменьшения межгодовой изменчивости валовых сборов зерна в засушливых регионах, включая использование севооборотов различных зерновых культур. С точки зрения устойчивости производства эффективно сочетание озимых и яровых культур, проса (особенно, с яровой пшеницей и овсом), озимой ржи с яровой пшеницей, выращивание которых целесообразно осуществлять в географически удаленных друг от друга регионах.

Должны быть предусмотрены возможности создания значительных страховых запасов зерна (порядка 20 млн тонн). На такое увеличение урожая за счет благоприятных агрометеорологических условий должны ориентироваться резервные мощности зернохранилищ, а также обеспеченность хозяйств уборочной техникой. Требуется расширение экономически рентабельного орошаемого земледелия, особенно для Поволжского и Северо-Кавказского районов, с учетом того что потепление климата повышает его эффективность. Расширение массивов поливных земель и в условиях потепления — радикальный путь интенсификации и стабилизации сельскохозяйственного производства. На территории Северо-Кавказского и Поволжского (на Нижней Волге) регионов должна быть создана расширяющаяся по мере потепления климата зона высокоинтенсивного субтропического земледелия, аналогом которой является современное сельское хозяйство Узбекистана и Азербайджана (производство хлопка, субтропических фруктов, винограда и т. д.).

Еще более необходимой, чем в сфере энергетики, мерой адаптации сельского хозяйства и АПК в целом к изменениям климата является развитие агрострахования, и в первую очередь субсидируемого государством страхования урожая от множественных рисков, которым пока охвачено менее четверти посевов. Эту долю

нужно существенно увеличить во избежание повторения последствий засухи 2010 г. Кроме того, представляется необходимым введение обязательного страхования, что не исключает использования одновременно и его добровольных форм. В частности, может быть использована модель страхования, предусматривающая использование обязательного страхования применительно к гибели посевов, добровольного — в отношении пострадавших посевов (по аналогии с режимами ОСАГО и КАСКО в автостраховании), контуры которой заложены в проекте Федерального закона Российской Федерации об агростраховании с государственной поддержкой. Важным шагом во исполнение указанного закона могла бы стать организация мощной государственной агростраховой компании, которая могла бы удерживать (сама покрывать) риски и обеспечивать их перераспределение (перестрахование) в роли «страховщика последней инстанции». Для этого данная госкомпания должна располагать значительными финансовыми ресурсами, в частности большим уставным капиталом, и развитой региональной сетью, сопоставимой с нынешним Росгосстрахом. Это, в свою очередь, предполагает жесткий контроль целевого характера и прозрачности использования средств.<sup>10</sup>

Среди мероприятий по адаптации *лесного хозяйства* к изменениям климата основными являются: повышение продуктивности биомассы лесных насаждений, расширение объемов природного обновления, улучшение качества посадочного материала, ведение лесного семеноводства на селекционно-генетической основе, усиление мероприятий по борьбе с вредителями и болезнями, предупреждение лесных пожаров и борьба с ними. При этом следует уделить особое внимание качественному улучшению оснащения служб охраны лесов и их готовности к эффективному реагированию на случай масштабного пожара или эпифитотии. С учетом уроков лета 2010 г. закономерно, что на ближайшие годы федеральным правительством на переоснащение только противопожарной службы лесоохраны будет выделено 43 млрд рублей.

---

<sup>10</sup> См.: Порфирьев Б., Юлдашев Р. (2010). Становление системы агрострахования в России: ключевые проблемы и наметки решений // *Российский экономический журнал*. № 6. С. 35—43.

Однако главным направлением адаптации должно стать предупреждение и снижение рисков возникновения масштабных эпифитотий и, особенно, лесных пожаров. Для этого должен использоваться комплексный подход к лесам, рассматривающий их не только как источник сырья или рекреационных услуг, но и как важнейшую подсистему биосферы, обеспечивающей, помимо прочего, устойчивый кругооборот воды в природе. Он, в свою очередь, является одним из факторов формирования регионального климата, способствующего снижению риска и последствий засух. Такой подход к использованию и охране лесов как важнейших и уязвимых экосистем, жизненно важных для сохранения благоприятных условий и зачастую просто выживания человека в условиях изменений климата, эффективен не только с точки зрения адаптации к этим изменениям, но и в экономическом отношении. Круглогодичное комплексное управление лесами как динамичными экосистемами дешевле, чем привлечение огромного количества воздушных и наземных противопожарных средств и большого числа людей для борьбы с крупными пожарами, когда они уже возникли. То же относится и к масштабным эпифитотиям (хотя их социально-экономические последствия существенно меньше, чем последствия лесных пожаров). Поэтому функции лесоохраны, включая противопожарные функции, должны быть сосредоточены в одних руках на федеральном уровне, что лишний раз доказали уроки чрезвычайной ситуации лета 2010 г.

Меры по адаптации *водного хозяйства* имеют выраженные региональные особенности. При перспективном планировании развития водохозяйственного комплекса бассейна реки Дона необходимо учитывать неблагоприятный сценарий развития. Решение проблемы в южной части бассейна Дона, сохранение и увеличение рыбохозяйственного и рекреационного значения Азова видится в завершении строительства канала Волга—Дон, законсервированного в начале 1990-х годов. Это представляется логичным, учитывая прогнозируемое увеличение годового стока Волги. Для смягчения проблем обеспечения водой населения и развивающейся экономики в верховьях Иртыша и Оби необходимо рассмотреть возможности дополнительного регулирования стока и заключения международных договоров с Китаем и Ка-

захстаном по совместному использованию водных ресурсов Иртыша. Уже в ближайшее время необходимо предусмотреть разработку практических мероприятий по дополнительному водообеспечению населения и экономики Москвы и Московской области. В отношении борьбы с наводнениями в Санкт-Петербурге необходимо в возможно сжатые сроки достроить и ввести в действие комплекс по защите города от наводнений.

Для кардинального улучшения борьбы с катастрофическими наводнениями необходимы: совершенствование нормативно-правовой базы, определяющей четкую ответственность федеральных органов и местной администрации за последствия катастрофических наводнений; создание современной системы страхования от наводнений. Кроме того, необходимы создание бассейновых систем прогнозирования и предупреждения и защиты от наводнений (на реках Сибири, Северного Кавказа и в Приморья); реорганизация существующей системы гидрометеорологических наблюдений, техническое перевооружение сети Росгидромета; упорядочение землепользования в зоне риска наводнений на основе надежной оценки зон затопления, уязвимости и риска.

Особая актуальность принятия мер по адаптации *строительной индустрии* к изменениям климата обусловлена тем, что именно в этой отрасли создаются объекты, рассчитанные на длительный период эксплуатации (жилые и общественные здания, магистральные газо- и нефтепроводы, дороги и др.). При проектировании новых зданий и сооружений в условиях меняющегося климата необходимо не только в полной мере учитывать обновленные характеристики климата, но и пересмотреть некоторые принципы строительного проектирования. В частности, следует отказаться от принципов минимизации капитальных затрат и второстепенности критерия энергоэффективности, а также от принятия волевых решений относительно нормирования атмосферных нагрузок. Главенствующими должны стать обеспечение энергоэффективности — достижение оптимального микроклимата внутри зданий и сооружений, а также необходимой надежности и долговечности конструкций при минимальном расходе энергии на отопление и вентиляцию зданий — и обеспечение безопасности объектов в течение всего расчетного периода экс-

плуатации (на основе анализа рисков с учетом особенностей климатических изменений).

В климатических условиях России основной мерой энергосбережения, которая должна быть реализована, является уменьшение потребления энергии на отопление (что актуально и для решения проблемы уменьшения выбросов парниковых газов). В связи с этим представляется недопустимым снижение требований к тепловой защите зданий под предлогом тенденции повышения зимних температур. Решение проблемы энергоэффективности зданий предполагает также внедрение современных систем отопления с автоматическим регулированием подачи тепла. С целью обеспечения долговечности зданий при строительстве новых объектов целесообразно предусмотреть использование материалов, рассчитанных на большее число циклов замораживания и оттаивания, повышенную коррозионную устойчивость различных элементов, а также конструктивные решения, направленные на уменьшение возможности промачивания стен (соответствующие стыки панельных зданий, ориентация здания, козырьки над входами и др.).

При оценке рисков, связанных с ветровыми нагрузками, следует принимать во внимание ожидаемое увеличение вклада штормовых скоростей. В случае применения навесных фасадных систем, предназначенных для утепления и облицовки внешних ограждающих конструкций, необходимо также дополнительно учитывать усиление эффектов, обусловленных совместным воздействием ветровых нагрузок, температурных деформаций и коррозионного разрушения (в связи с повышением экстремальных температур и увеличением количества осадков) и вводить более жесткие требования по нормированию ветровых нагрузок.

В условиях увеличения вероятности экстремально высоких снеговых нагрузок при проектировании ответственных сооружений (например, большепролетных зданий социального назначения) целесообразно устанавливать нормативные снеговые нагрузки на основе принятия достаточно высокой вероятности их непревышения в течение всего расчетного периода эксплуатации (т.е. с учетом ожидаемого изменения климата). Для минимизации рисков аварий, связанных с высокими гололедными и гололедно-ветровыми нагрузками, актуально проведение региональ-

ных исследований на основе существующих данных наблюдений с целью перехода от схематического районирования территории России к получению детализированной картины пространственных вариаций нагрузок в различных регионах.

Институциональной основой перечисленных выше и других мер адаптации строительной индустрии к изменениям климата являются нормативные и регламентирующие документы (СНиП и др.), которые должны быть приведены в соответствие с действующими международными нормами. Необходимо обновление нормативных параметров с учетом данных наблюдений за последние десятилетия. Представляется целесообразным расширение перечня рассматриваемых показателей в целях более полного учета особенностей происходящих климатических изменений (например, введение вероятностных характеристик продолжительности периодов с экстремальными значениями метеорологических величин).

Необходимо безотлагательно внести коррективы в нормативные документы СНиП, ГОСТ, а также технические регламенты с целью адаптации к изменениям климата в сфере *жилищно-коммунального хозяйства*. В частности, требует срочного пересмотра глава СНиП «Строительная климатология», в которой должны быть изменены нормативные квантили продолжительности и температуры отопительного периода. Наиболее важным техническим адаптационным мероприятием является создание современных сетей теплоснабжения, а также систем кондиционирования, обеспечивающих не только экономию энергии, но и комфортные условия проживания и использующих оборудование с преимущественно автоматизированной регулировкой подачи тепла и воздуха.

Основные меры адаптации *транспортного комплекса* к изменениям климата заключаются в следующем. Для сухопутного транспорта это мониторинг, прогнозирование и раннее оповещение об изменениях гололедных отложений на дорогах, учет влияния деградации вечной мерзлоты на устойчивость работы любых, в том числе железнодорожных, транспортных магистралей и принятие технических решений по снижению риска данного влияния. Кроме того, это учет воздействия изменения колебаний температурно-влажностных, ветровых и других погодно-

климатических характеристик на физическое состояние дорог, транспортных средств, на здоровье и самочувствие людей, управляющих транспортными средствами, и принятие организационных, технических и медицинских мер по снижению риска указанного воздействия. В частности, важной адаптационной мерой является обеспечение комфортных условий (в том числе, развитие систем кондиционирования) для пассажиров общественного транспорта, включая железнодорожный и автотранспорт, а также метрополитен. Для воздушного транспорта основные меры адаптации предполагают внесение изменений в проектирование взлетно-посадочных полос и вертолетных площадок, инженерные решения для закрепления грунтов и т. п. Для водного транспорта — в связи с увеличением навигационного периода речного флота и соответственно увеличением грузооборота и сокращением сроков работы ледокольного флота — основные адаптационные меры — это возобновление дноуглубительных работ на перекатах судоходных рек в объемах, которые выполнялись в начале 1990-х годов, а также укрепление береговой линии и портов. В то же время, для морского транспорта в связи с открывающимися перспективами эксплуатации Северного морского пути и, в целом, возрастания активности в Северном Ледовитом океане в условиях теплеющей Арктики необходимым являются поддержание и развитие ледокольного флота России (включая большие ледоколы). Это должно обеспечить круглогодичный доступ судов в Северный Ледовитый океан в интересах науки и национальной безопасности в Арктике. (То же относится и к обеспечению научных исследований и присутствия России в полярных регионах Южного полушария.) Кроме того, необходимо развитие инфраструктуры, обеспечивающей работу транспорта, а также научную деятельность полярных экспедиций и функционирование сил обеспечения национальной безопасности России в Северном Ледовитом океане — строительство портов, развитие сухопутных и воздушных транспортных магистралей и т. д.

В сфере *науки и научно-технических разработок*, обеспечивающих адаптацию экономики к изменениям климата, ключевая роль принадлежит критически важным системам и технологиям снижения риска природных катастроф. Прежде всего, необходи-

мо развивать системы раннего оповещения, средства и методы инженерной и санитарной защиты населения и территорий от природных опасностей, а также системы и технологии защиты населения и хозяйственных объектов от опасных природных явлений и процессов, в частности экстремальных перепадов температур, экстремальных осадков и т. п.

Поскольку макроэкономические последствия изменений климата на территории России имеют ярко выраженные особенности, перечисленные выше меры адаптации производств и производственных комплексов к указанным изменениям должны отражать *региональную и местную специфику*. Применительно к основным регионам России содержание адаптационных мер раскрыто в табл. 1 приложения.

Особенности разработки и реализации мер адаптации экономики и общества к изменениям климата характерны и для *министерств и ведомств*, деятельность и сферы ответственности любого из которых указанные изменения и их последствия затрагивают прямо и/или косвенно. Для федеральных министерств и ведомств в сферах экономики и обеспечения национальной безопасности, функционирование которых непосредственно связано с использованием климатических ресурсов и в существенной мере зависит от погодно-климатических условий (сельское, лесное и водное хозяйство, строительство, транспорт, туризм, а также оборона страны), всесторонний учет влияния климатического фактора должен стать императивом разработки и реализации программ развития. Аналогичное требование правомерно и в отношении администраций регионов страны и стратегий регионального развития.

Федеральные министерства и ведомства, сферы деятельности которых относительно менее чувствительны к прямым эффектам климатических изменений (например, промышленность), тем не менее, также должны адаптировать свои программы развития к последствиям этих изменений, в том числе в целях использования возможностей, связанных с климатическим фактором (например, увеличения производства оборудования для энергосбережения, кондиционирования воздуха и т. п.). В табл. 2 приложения представлены примеры климатически обусловленных

проблем, которые входят в сферу компетенции российских министерств и ведомств и требуют как самостоятельного решения, так и во взаимодействии с другими ведомствами, включая Росгидромет, который выступает координатором межведомственной интеграции по проблемам климата. Не претендуя на полноту, эти примеры являются одновременно наглядной иллюстрацией и отправной точкой для комплексного анализа, который должен лечь в основу разработки мер адаптации в виде отраслевых и региональных программ и планов действий в связи с изменениями климата — в рамках реализации Климатической доктрины Российской Федерации.<sup>11</sup>

Программы и меры адаптации должны предусматривать *развитие институтов и нормативно-правовой базы адаптации* населения, хозяйственных систем и системы обеспечения национальной безопасности к меняющимся климатическим условиям, и прежде всего комплекс мер правового обеспечения соответствующих организационно-управленческих и технических мероприятий, правового и организационно-экономического регулирования, а также страховой защиты населения и хозяйственных объектов от экстремальных и опасных природных явлений и бедствий. В связи с этим надлежит ускорить разработку и принятие нормативных актов и процедур, обеспечивающих: развитие национальной системы страхования с учетом задачи смягчения ущерба от последствий климатических изменений, включая обязательное страхование посевов, а также домов и строений от природных пожаров, наводнений и других опасных явлений; закрепление требования об обязательном включении комплекса мер адаптации экономики и населения к климатическим изменениям в программы долгосрочного развития страны.

Программы и меры адаптации к изменениям климата также должны предусматривать комплекс *организационно-управленческих и научно-технических мер*. Их основу составляет под-

---

<sup>11</sup> 25 апреля 2011 г., когда подготовка настоящего Доклада была уже завершена, распоряжением Правительства Российской Федерации (№ 730-р) был утвержден Комплексный план реализации Климатической доктрины Российской Федерации на период до 2020 года ([government.ru/media/2011/4/29/40950/file/730R\\_pril.doc](http://government.ru/media/2011/4/29/40950/file/730R_pril.doc)).

держание должного уровня готовности и эффективности, а также инновационное развитие систем, методов и технологий прогнозирования и снижения риска природных катастроф, включая интегральную оценку рисков действующих важных объектов инфраструктуры, чувствительных к погодно-климатическим изменениям, а также системы раннего оповещения; кроме того, систем, средств и методов инженерной и медико-санитарной защиты населения от экстремальных и опасных природных явлений, включая средства поддержки устойчивости организма к неблагоприятным внешним воздействиям и системы оказания экстренной медицинской и иной помощи при наступлении таких явлений, а также систем, средств и методов инженерной защиты хозяйственных объектов (в первую очередь, особо важных и опасных) от экстремальных и опасных природных явлений и процессов.

Другой аспект национальной политики в области климата — *смягчение воздействия на климатическую систему через снижение техногенных выбросов парниковых газов* — также неразрывно связан с инновационным вектором развития России. Ярким примером является необходимость радикального снижения энергоемкости ВВП как одной из приоритетных задач реализации Климатической доктрины Российской Федерации, сопряженной с главным вектором инновационного развития национальной экономики. Следует принять во внимание, что технологии, которые помогают решать проблему последствий изменения климата, — включая энергоэффективные, энергосберегающие технологии, а также широкий набор адаптационных инноваций — оказываются именно теми инструментами, которые позволяют добиться наибольшего мультипликативного эффекта. Именно поэтому в долгосрочных стратегиях развития и в антикризисных программах развитых государств и крупных зарубежных стран с переходной экономикой значительное место занимают модернизация энергетической и транспортной инфраструктуры, развитие экологически чистой энергетики и связанные с этим НИОКР, а также некоторые другие составляющие «зеленой» экономики.

Создание действенных экономических и правовых механизмов стимулирования энергоэффективности входят в число наиболее

важных последствий принятия Климатической доктрины и наиболее сложных задач ее реализации. Наиболее эффективный подход к реализации Климатической доктрины — разработка и введение в действие пакета нормативных правовых актов и иных нормативных документов различного уровня, которые создали бы эффективные механизмы принуждения к энергоэффективности всех субъектов экономики — от крупных корпораций до домашних хозяйств. Комплекс мер по снижению техногенного воздействия на климат также должен включать научно-технические программы и мероприятия, в том числе по развитию инновационных технологий.

Следует обеспечить приоритет семи группам вышеупомянутых критически важных технологий, в том числе: системам, методам и технологиям мониторинга и прогнозирования состояния атмосферы и гидросферы; технологиям атомной, водородной энергетики, новых и возобновляемых источников энергии, а также производства топлива и энергии из органического сырья; технологиям и системам энергосбережения, распределения и потребления тепла и электроэнергии; технологиям и системам транспортировки, включая энергоэффективные двигатели и движители для транспортных систем. Особое внимание нужно уделить системам и технологиям, использование которых способно обеспечить одновременно ресурсо- (энерго-) сбережение, снижение выбросов загрязняющих веществ и парниковых газов и экономию средств. Сектор ЖКХ представляет первостепенный интерес, поскольку на него приходится почти половина потребления электроэнергии, а сроки и норма окупаемости инвестиций особенно благоприятны. Другие перспективные секторы включают энергетику, промышленность, строительство, транспорт.

Осуществление перечисленных выше основных направлений реализации Климатической доктрины Российской Федерации требует от всех федеральных органов власти мер по качественно-му повышению роли (включая рост престижа и увеличение финансирования) *науки и образования*. Наука является главным инструментом получения новых знаний о климате, причинах его изменений, благодаря которым можно снизить неопределенности, связанные с оценкой будущих изменений климата и серьезно затрудняющие выбор эффективной экономической политики.

Речь идет о науках о Земле, прежде всего климатологии<sup>12</sup>, инженерных и технических науках — источнике конструкторских решений, обеспечивающих надлежащий уровень адаптации, и практических технологий снижения выбросов парниковых газов и обеспечения энергоэффективности экономики. Речь также идет об экономической науке, которая должна обеспечить корректные учет и оценку всех аспектов экономического развития, включая климатические и другие экологические риски.

Конкретной формой поддержки российской климатической науки могло бы стать принятие Правительством России в рамках пакета

---

<sup>12</sup> Что касается российской климатической (метеорологической) науки, нелицеприятная, но объективная оценка сложившейся ситуации дана в решении VI Всероссийского метеорологического съезда (Съезд состоялся в 2009 г., спустя почти четыре десятилетия после предыдущего, V Всесоюзного метеорологического съезда, организованного еще в СССР в 1971 г.): «В последние десятилетия XX века, по мере перехода мировой метеорологической науки в «высокотехнологическую» фазу, наша страна проигрывала в соревновании компьютерных технологий. Смена государственной системы и экономического уклада в начале 1990-х годов привела к общему кризису отечественной науки, который не преодолен до сих пор. Российская наука потеряла целое поколение исследователей. Начиная с 1990-х годов российская метеорологическая наука жила в основном достижениями предшествующих десятилетий. К началу XXI века Россия утратила лидирующие позиции в мировой метеорологической науке. На мировом или близком к мировому уровню остаются лишь отдельные направления. Научное сообщество малочисленно и разобщено. Понизился уровень научной экспертизы. Процветает дилетантизм. Как следствие авторитет науки в обществе и у руководства страны невысок, что снижает возможности науки с должной эффективностью влиять на развитие страны и тем самым усугубляет экономические и другие проблемы российского общества» (см.: [www.meteorf.ru/rgm1.aspx?RgmFolderID=085d97bb-4efc-4a88-8748-2c99cd288627](http://www.meteorf.ru/rgm1.aspx?RgmFolderID=085d97bb-4efc-4a88-8748-2c99cd288627)). Угроза дилетантизма, угроза дезориентации руководства России в отношении проблемы изменения климата до настоящего времени остается весьма актуальной. Не случайно в Климатической доктрине особое внимание уделяется научному обеспечению политики Российской Федерации в области климата, включая обеспечение соответствия национальных климатических исследований мировому уровню.

мер по реализации Климатической доктрины России<sup>13</sup> специальной программы по осуществлению Комплексного плана научных исследований погоды и климата до 2020 г. Этот план был разработан Росгидрометом и РАН при участии других заинтересованных ведомств в 2010 г. Указанная государственная поддержка позволила бы обеспечить разработку и осуществление ряда программ.

Во-первых, это программы скоординированных на национальном уровне исследований (в виде национальной программы с целевым финансированием) с учетом интеграции этих исследований в международные программы. Во-вторых, это программы подготовки квалифицированных научных кадров и их закрепления в научной сфере (в России). В-третьих, это программы обеспечения актуальных исследований современными информационными технологиями и вычислительными средствами, которые, наряду с подготовкой кадров, входят в число приоритетов Стратегии деятельности в области гидрометеорологии и смежных с ней областях до 2030 г. (с учетом аспектов изменения климата). Кроме того, необходимо обеспечить развитие механизмов экспертизы научных проектов и их результатов, соответствия отечественных исследований мировому уровню.

Во *внешнеэкономическом плане* программы и программные меры адаптации России к изменениям климата должны учитывать, что уже сейчас и тем более в ближайшем будущем мировая политика, в том числе экономическая, все больше будет использовать фактор климатических изменений как предлог и реальный механизм сдерживания контрагентов и поощрения собственных производителей в конкурентной борьбе. Поэтому России необходимо учитывать внешнеэкономические риски, связанные с введением «углеродных» барьеров, предлагаемых ЕС и США<sup>14</sup>

---

<sup>13</sup> Предусмотрен решением Совета безопасности при Президенте Российской Федерации от 17.03.2010.

<sup>14</sup> В мае 2010 г. сенаторы Д. Керри и Д. Либерман представили новый проект закона США по энергетике (American Power Act), который содержит формулировки, разрешающие так называемые пограничные меры, также известные как углеродные тарифы. Они направлены на регулирование импорта товаров из стран, которые не установили жесткие требования к выбросам парниковых газов.

для ограничения доступа на их рынки продукции и услуг со значительным потенциалом углеродсодержащих выбросов или произведенных на основе энергоемких технологий, к которым относится значительная часть российского экспорта. Сюда же относится и ограничение, установленное директивой 2008/101/ЕС Европейского Парламента с 1 января 2012 г. в отношении авиакомпаний и предусматривающее обязательное наличие у таких компаний разрешений на выбросы парниковых газов. Российские авиакомпании, выполняющие авиарейсы в страны ЕС, должны будут оплачивать 15 % совокупных выбросов парниковых газов (85 % предоставляются бесплатно), что при цене 10 евро за тонну CO<sub>2</sub>-экв. означает ежегодные платежи в размере около 2 млн евро. Аналогичные меры прорабатываются и по морским перевозкам. Фактически речь идет об игнорировании норм ВТО, согласно которым, подобная торговая защита является формой недобросовестной конкуренции, а также Рамочной конвенции по изменению климата, прямо запрещающей такую практику.

Согласно любым сценариям развития энергосбережения, энергоэффективности и возобновляемой энергетики за рубежом, поставки российских энергоносителей будут иметь стратегическое значение для потребителей, прежде всего в ЕС и Китае, по крайней мере, в течение ближайших 10—15 лет. В связи с этим России следует проявлять особую осторожность и апеллировать к указанным международным нормам, подчеркивая свою роль надежного мирового поставщика энергоресурсов. В то же время, необходимо учитывать особенности России — холодный климат и значительные размеры территории, объективно требующие производства, транспортировки и потребления значительных и повышенных (по сравнению с другими странами) объемов топливно-энергетических ресурсов для коммунальных и производственных нужд. Последний аргумент особенно важен в отражении настойчивых попыток государств «большой семерки» и ряда других стран ОЭСР подтолкнуть Россию к отказу от государственных субсидий ТЭК.

Перечисленные особенности, наряду с другими специфическими российскими факторами — обеспеченностью страны собственными энергоресурсами и усугубляющимся дефицитом трудовых ресурсов, необходимо учитывать и при формировании

национальной «зеленой» экономики, в первую очередь экологически чистой энергетики. Для большинства развитых и переходных экономик, являющихся нетто-импортерами энергоресурсов и одновременно испытывающих избыток трудовых ресурсов (который особенно ощущается в период кризиса), развитие указанного сектора экономики как способа импортозамещения и смягчения безработицы является, очевидно, даже более важным, чем экономия ресурсов и снижение нежелательных выбросов в окружающую среду, включая выбросы парниковых газов. В отличие от этих стран, в силу отмеченной специфики России трудо- и импортозамещающие функции «зеленой» экономики имеют второстепенное значение для развития и конкурентоспособности ее хозяйственного комплекса на ближайшие годы и среднесрочную перспективу (до 2020 г.).

Сказанное никоим образом не ставит под сомнение значимость энергетики на возобновляемых источниках для России. Ее развитие необходимо и целесообразно с точки зрения рационального использования местных ресурсов (например, геотермальных, ветра или лесной биомассы), улучшения качества окружающей среды и здоровья населения, а в более отдаленной перспективе и с экономической точки зрения для замещения дорожающих углеводородов. Аргументируется лишь приоритет энергосбережения и энергоэффективности в модернизации отечественного хозяйственного комплекса, предопределяемый значимостью ресурсосберегающего и экологических факторов «зеленого» роста экономики и снижения техногенных рисков климатических изменений в России. Также нет речи о том, чтобы ставить под сомнение необходимость сотрудничества России с мировым сообществом, включая страны ЕС и США, в области проблемы изменений климата. Такая кооперация нужна и эффективна, в том числе при создании Глобальной рамочной основы климатического обслуживания<sup>15</sup> (ГРОКО), предусмотренной решениями

---

<sup>15</sup> «Работаем сообща над созданием Глобальной рамочной основы для климатического обслуживания». Отчет Третьей Всемирной климатической конференции (2009). — ВМО, № 1048. 84 с. ([http://www.wmo.int/pages/gfcs/index\\_ru.html](http://www.wmo.int/pages/gfcs/index_ru.html)).

Третьей Всемирной климатической конференции (Женева, 2009 г.)<sup>16</sup>. Главными задачами ГРОКО определены: совершенствование системы мониторинга и прогнозирования экстремальных погодно-климатических явлений (включая волны тепла и холода, наводнения, засухи, ливни, сели и оползни, лесные и торфяные пожары и т. п.); создание и развитие центров климатического обслуживания; обеспечение междисциплинарного подхода, интеграция фундаментальной и прикладной науки.

Формирование ГРОКО потребует значительных усилий России и других стран, но обещает заметно повысить эффективность обслуживания различных потребителей климатической информации, в том числе по вопросам адаптации экономики к изменениям климата. При этом обслуживание не должно ограничиваться передачей потребителю данных о температуре, осадках и других погодно-климатических характеристиках, но предусматривать разработку и внедрение рекомендаций по использованию указанной информации, учитывающих специфику каждого потребителя, деятельность которого в той или иной степени подвержена климатическим рискам. Формирование российского сегмента ГРОКО подразумевает сотрудничество Росгидромета с другими федеральными ведомствами (а также с РАН, РАСХН, РАМН) в области разработки практических руководящих материалов по подготовке и использованию климатической продукции в различных секторах и регионах.

---

<sup>16</sup> Две предыдущие ВКК, несомненно, были чрезвычайно успешны. Однако судить об этом стало возможно годы спустя, когда ВПИК, Глобальная система наблюдений за климатом (ГСНК), МГЭИК, «порожденные» этими конференциями, продемонстрировали очень высокие результаты.

## ПРИЛОЖЕНИЕ

Таблица 1

**Ожидаемые последствия изменений климата в 2011—2030 гг.  
и возможные меры адаптации к ним регионов Российской Федерации**

Регион	Ожидаемые изменения климата	Ожидаемые последствия изменений климата	Возможные адаптационные мероприятия
Северо-Запад	Значительное повышение средней температуры (зимой 1,7—2,0 °С; летом 0,9—1,0 °С). Увеличение среднего количества осадков (зимой 5—7 %; летом 1—6 %). Возрастают изменчивость температуры, включая интенсификацию волн тепла. Увеличение повторяемости оттепелей зимой и заморозков весной	Сокращение отопительного периода на 2—3 дня; в отдельные годы с вероятностью 0,1—0,2 возможно превышение характерных для конца XX века значений продолжительности отопительного периода. Уменьшение долговечности зданий, в особенности блочных и панельных. Вследствие увеличения изменчивости температуры воздуха и повторяемости оттепелей зимой ухудшение качества теплоснабжения. Возрастают затраты на дополнительное кондиционирование в летний период. Рост рисков опасного гололедообразования и аварий	Реконструкция блочных и панельных зданий; пересмотр нормативов по теплоснабжению зданий; обновление нормативов по отоплению. Создание систем раннего предупреждения об аномалиях тепла и холода. Мониторинг обледенения ЛЭП и автомобильных дорог. Мероприятия по охране лесов, в том числе повышение продуктивности биомассы лесных насаждений, обновление леса путем создания благоприятных условий для естественного роста молодых деревьев (рубки ухода, рубки обновления, регулирование численности животных и т. д.), улучшение качества посадочного материала, ведение лесного семеноводства на селекционно-генетической основе, усиление мероприятий по борьбе с вредителями и

Продолжение табл. 1

Регион	Ожидаемые изменения климата	Ожидаемые последствия изменений климата	Возможные адаптационные мероприятия
		<p>на ЛЭП (разрыв проводов и разрушение опор) и гололедяцы на дорогах. Возрастают пожароопасности в лесах летом. Улучшение условий для развития некоторых ВИЭ, в частности малых ГЭС, в результате роста стока. В северной части увеличение повторяемости и высоты заторных наводнений. На юго-западе уменьшение повторяемости весенних наводнений, вызванных снеготаянием. Увеличение повторяемости и высоты нагонных наводнений в устьях рек, прежде всего в устьевой части Невы.</p> <p>Улучшение условий для животноводства в результате увеличения кормовой базы и сокращения периода стойлового содержания скота. Повышение продуктивности</p>	<p>болезнями, предупреждение и развитие систем раннего предупреждения о лесных пожарах. Пересмотр регулирования работы ГЭС и сложившихся сроков ремонта (в связи с увеличением зимнего стока). Завершение строительства и введение в действие комплекса мер по защите Санкт-Петербурга от наводнений. На побережье Финского залива, Ладожского озера и на ряде островов создание ВЭС и отдельных крупных (мегаваттных) ВЭУ.</p> <p>Ускоренная адаптивная интенсификация сельского хозяйства; обеспечение уровня применения органических и минеральных удобрений, мелiorантов и средств защиты растений по нормам, принятым для аналогичных почвенно-климатических условий в странах Европейского Союза</p>

<p>Центр</p>	<p>Повышение средней температуры (зимой 1,0—1,6 °С; летом 1,0—1,1 °С). При незначительном увеличении количества осадков зимой тенденция к уменьшению количества осадков летом. Увеличение повторяемости и интенсивности волн тепла</p>	<p>сенокосов и пастбищ, и в том числе за счет увеличения продолжительности безморозного периода. Увеличение продуктивности земледелия, расширение возможностей для развития высокоинтенсивного сельского хозяйства западно-европейского типа в результате повышения теплообеспеченности и удлинения вегетационного периода</p>	<p>Разработка систем раннего предупреждения о смерчах, ураганах, волнах тепла и холода, профилактические мероприятия для людей пожилого возраста и детей. Совершенствование систем управления водными ресурсами, включая разработку практических мероприятий по дополнению водоемам водообеспечению населения и экономики Москвы и Московской области. Мероприятия по охране лесов, в том числе повышение продуктивности биомассы лесных насаждений, расширение объемов природного обновления, улучшение качества посадочного материала, ведение лесного семеноводства на селекционно-генети-</p>
--------------	--	--	---

Продолжение табл. 1

Регион	Ожидаемые изменения климата	Ожидаемые последствия изменений климата	Возможные адаптационные мероприятия
		<p>проводах. Возрастают пожары в лесах и на торфяниках. Уменьшение повторяемости весенних наводнений, вызванных снеготаянием. Дефицит воды для промышленных предприятий и хозяйственных нужд в отдельных районах.</p> <p>Риск снижения урожайности, прежде всего яровых зерновых культур, в результате уменьшения влагозапаса почв в вегетационный период. Наряду с этим улучшение условий увлажнения в осенний период и заметное уменьшение повторяемости лет с вымерзанием озимых культур, что смягчает отрицательные последствия увеличения засушливости климата</p>	<p>ческой основе, усиление мероприятий по борьбе с вредителями и болезнями, предупреждение и развитие систем раннего предупреждения о лесных пожарах. Расширение применения влагосберегающих технологий, увеличение доли озимых зерновых культур, расширение посевов засухоустойчивых теплолюбивых культур — кукурузы, сорго и проса, подсолнечника.</p> <p>Для использования дополнительных тепловых ресурсов — расширение посевов вторых пожнивных культур в благоприятные по увлажнению годы</p>

<p>Минимальное для территории Российской Федерации повышение средней температуры воздуха, более сильное летом (до 1,3 °С). Возрастание продолжительности и интенсивности жаркой погоды. Небольшое уменьшение количества осадков летом при одномерном увеличении интенсивности ливневых осадков. Возрастающие сушливости</p>	<p>Улучшение условий для развития отдельных видов ВИЭ (например, гелиоэнергетики). Ухудшение условий для функционирования АЭС и ТЭС из-за повышения температуры прудов-охладителей. Нехватка воды в отдельных районах. Незначительное снижение притока (на 5—15 %) к Цимлянскому и Красноярскому водохранилищам. Увеличение частоты и размеров наводнений, вызванных интенсивными дождями.</p>	<p>Развитие систем промышленного и бытового кондиционирования. Развитие ВИЭ. Мероприятия по охране лесов, в том числе повышение продуктивности биомассы лесных насаждений, обновление леса путем создания благоприятных условий для естественного роста молодых деревьев (рубки ухода, рубки обновления, регулирование численности животных и т. д.), улучшение качества посадочного материала, ведение лесного семеноводства на селекционно-генетической основе, усиление мероприятий по борьбе с вредителями и болезнями, предупреждение и развитие систем раннего предупреждения о лесных пожарах. Развитие рекреационных зон.</p>
	<p>Уменьшение риска гибели и повреждения озимых в результате вымерзания и осенних засух. Ухудшение самочувствия населения, учащение инфарктов и инсультов</p>	<p>Совершенствование систем управления водными ресурсами. Увеличение посевных площадей озимых зерновых культур, прежде всего за счет сокращения значительных площадей, занятых ранними яровыми зерновыми культурами. Использование зерновыми температурами в конце февраля, марте и апреле для сверх ранних посевов яровых зерновых культур, а также подсолнечника с целью более полного</p>

Продолжение табл. 1

Регион	Ожидаемые изменения климата	Ожидаемые последствия изменений климата	Возможные адаптационные мероприятия
Поволжье	Умеренное потепление (зимой 0,9—1,3 °С; летом 1,0—1,2 °С). Повышение летних экстремальных температур. Небольшое	Сокращение отопительного периода на 2—3 дня. Умеренное возрастание рисков, связанных с гололедными и снеговыми нагрузками (автотранспорт, ЛЭП). Улучшение условий для развития отдель-	использования ресурсов почвенной влаги для повышения урожайности. Расширение массивов поливных земель (возможное только за счет волжской воды). Расширение посевных площадей засухоустойчивых теплолюбивых культур (просо, сорго и др.). Увеличение доли озимых культур, в том числе за счет замены яровых форм озимыми (для ячменя, рапса и др. культур). Создание расширяющейся по мере потепления климата зоны высокоинтенсивного субтропического земледелия, аналогом которого является современное сельское хозяйство Узбекистана и Азербайджана (производство хлопка, субтропических фруктов, винограда и т. д.)  Развитие гелиоэнергетики. Мероприятия по охране лесов, в том числе повышение продуктивности биомассы лесных насаждений, обновление леса путем создания благоприятных условий для естественного роста молодых деревьев (рубки ухода, рубки обновления, регулирование численно-

<p>увеличение среднего количества осадков</p>	<p>ных ВИЭ, прежде всего геотермоэнергетики. Повышение удельной водопроизводительности. Благоприятное для выработки гидроэнергии повышение притока к водохранилищам крупных ГЭС. Рост теплообеспеченности сельскохозяйственных культур при возращании поворачиваемости засух. Улучшение условий зимовки сельскохозяйственных культур</p>	<p>сти животных и т. д.), улучшение качества посадочного материала, ведение лесного семеноводства на селекционно-генетической основе, усиление мероприятий по борьбе с вредителями и болезнями, предупреждение и развитие систем раннего предупреждения о лесных пожарах. Пересмотр правил регулирования Волго-Камского каскада ГЭС в связи с ростом зимнего стока. Совершенствование систем управления водными ресурсами, развитие программ рекреационного районирования. В сельском хозяйстве расширение посевов засухоустойчивых культур, а также озимых зерновых за счет сокращения посевов менее урожайного ярового ячменя и других ранних яровых. Расширение производства сильной и твердой яровой пшеницы. Пересмотр видового и сортового состава возделываемых сельскохозяйственных культур с целью отбора видов (сортов), более позднеспелых и более продуктивных, для использования дополнительных тепловых ресурсов, обусловленных потеплением; расширение посевов теплолюбивых культур: кукурузы, сахарной свеклы, подсолнечника, сои и рапса озимого. Расширение</p>
---	--	---

Продолжение табл. 1

Регион	Ожидаемые изменения климата	Ожидаемые последствия изменений климата	Возможные адаптационные мероприятия
Урал	<p>Ожидаемое значительное потепление, более сильное на севере зимой и на юге летом (зимой 1,5—1,6 °С; летом 0,9—1,1 °С). Небольшое увеличение среднего количества осадков. Небольшое увеличение засушливости на юге</p>	<p>-</p> <p>Сокращение отопительного периода на 4—5 дней. В северной части округа возможно таяние вечной мерзлоты; в южной части — увеличение повторяемости наводнений, вызванных интенсивным снеготаянием, возрастание повторяемости засух и жарких периодов, опасных для здоровья; ухудшение условий для работы АЭС и ТЭС из-за повышения максимальных температур и нагревания прудов-охладителей; улучшение условий для развития теплоэнергетики. Возрастание пожарной опасности в лесах. Повышение риска аварий за счет ветровых нагрузок на ЛЭП. В связи с</p>	<p>спектра возделываемых на юге региона теплолюбивых культур за счет хлопчатника, нута и др. для повышения урожайности при потеплении климата</p> <p>В северной части — повышение надежности и обеспечение безопасной эксплуатации нефте- и газопроводов (урало-сибирского и юго-западного), в дальнейшем всего трубопроводного транспорта. В южных районах — увеличение теплоизоляции ограждающих конструкций и расширение использования бытового и промышленного кондиционирования в связи с повышением температуры летом. Совершенствование управления водными ресурсами. Развитие теплоэнергетики. Мероприятия по охране лесов, в том числе повышение продуктивности биомассы лесных насаждений, обновление леса путем создания благоприятных условий для естественного роста молодых деревьев (рубки ухода, рубки обновления, регулирование численности животных и т. д.), улучшение качества посадочного материала, ведение</p>

<p>появлением и ростом повторяемости заморозков и оттепелей увеличение повторяемости гололеда на дорогах. Улучшение условий производства зерна яровых культур</p>	<p>лесного семеноводства на селекционно-генетической основе, усиление мероприятий по борьбе с вредителями и болезнями, предупреждения и развития систем раннего предупреждения о лесных пожарах. В сельском хозяйстве — посевы засухоустойчивых культур, расширение площадей, занятых озимыми зерновыми, более урожайными, чем яровые культуры. Пересмотр видového и сортового состава возделываемых сельскохозяйственных культур с целью отбора видов (сортов), более позднеспелых и более продуктивных, для использования дополнительных тепловых ресурсов, обусловленных потеплением; расширение посевов теплолюбивых культур: кукурузы, сахарной свеклы, масличных культур, подсолнечника, и сои. Расширение производства сильной и твердой яровой пшеницы на юге региона</p>
<p>Сибирь</p> <p>Значительное потепление зимой в северной части (1,7—1,9 °С), умеренное — в центральной и южной частях не только зимой (1,1—1,3 °С),</p>	<p>Развитие систем мониторинга безопасного функционирования линейных сооружений трубопроводов и железнодорожных магистралей. При проектировании новых трубопроводов — придание им дополнительной прочности. Разработка систем раннего предупреждения о наводнениях, лавинах, селях, оползнях. В целях развития речного</p>



	<p>включая животноводство, повышение его продуктивности за счет широкого внедрения позднеспелых культур, сортов и гибридов. Укрепление кормовой базы животноводства за счет многоукосных трав и пожнивных посевов</p>	<p>ния весной. Развитие зон рекреации и курортов в Забайкалье. Повышение продуктивности зернового хозяйства за счет более эффективного использования почвенно-климатических ресурсов. В Восточной Сибири — использование дополнительных тепловых ресурсов и внедрение влагосберегающих технологий. На юге Западной Сибири — расширение площадей, занятых озимыми зерновыми, более урожайными, чем яровые культуры. Пересмотр видового и сортового состава возделываемых сельскохозяйственных культур с целью отбора видов (сортов), более позднеспелых и более продуктивных, для использования дополнительных тепловых ресурсов, обусловленных потеплением; расширение посевов теплолюбивых культур: кукурузы, сахарной свеклы, и масличных культур. Преемущественное развитие в аридной зоне на юге Сибири пастбищного животноводства, эффективность которого повышается по мере потепления климата</p>
<p>Дальний Восток</p>	<p>Потепление зимой, особенно значительно в северной половине в северной</p>	<p>Сокращение средней продолжительности отопительного периода повсеместно на 4—5</p> <p>Развитие ветроэнергетики в восточной части и геотермальной в южной, особенно в Приморье. Мероприятия по охране лесов,</p>

Продолжение табл. 1

Регион	Ожидаемые изменения климата	Ожидаемые последствия изменений климата	Возможные адаптационные мероприятия
	<p>части (1,5—1,7 °С), умеренное лето (0,7—1,0 °С). Увеличение среднего количества осадков зимой (6—10 %) и небольшое лето (до 4 %)</p>	<p>дней на фоне больших межгодовых колебаний. Таяние вечной мерзлоты в южной части. Увеличение водных ресурсов и повышение водообеспеченности. Резкое увеличение потребности и повышение вторяемости и повышение максимальных уровней наводнений (прежде всего, заторных) на реках западной части (бассейны Лены, Колымы, Яны). В северо-восточной части возрастание масштабов и повторяемости наводнений, вызванных весенне-летним половодьем с наложением на него дождей паводков. Увеличение повторяемости наводнений, вызванных муссонными дождями и тайфунами, в юго-восточной части. Улучшение условий для речного судоходства.</p> <p>Рост теплообеспеченности</p>	<p>в том числе повышение продуктивности биомассы лесных насаждений, обновление леса путем создания благоприятных условий для естественного роста молодых деревьев (рубки ухода, рубки обновления, регулирование численности животных и т. д.), улучшение качества посадочного материала, ведение лесного семеноводства на селекционно-генетической основе, усиление мероприятий по борьбе с вредителями и болезнями, предупреждение и развитие систем раннего предупреждения о лесных пожарах. Развитие рекреации и курортно-санаторных учреждений. Упрочнение линейных сооружений. В планах регионального развития — учет роста частоты и повышения максимальных уровней наводнений.</p> <p>Ускоренная адаптация сельского хозяйства с целью повышения степени самообеспеченности региона зерном, мясом и молоком. Расширение производства сои и риса для более полного использования растущих тепловых ресурсов в Примор-</p>

<p>Арктика</p>	<p>сельскохозяйственных культур, а также увеличение продуктивности вегетационного периода</p>	<p>ском крае. Увеличение площадей озимых культур благодаря снижению риска вымерзания. В результате повышения температуры холодного периода обеспечение уровня применения органических и минеральных удобрений, мелиорантов и средств защиты растений по нормам, принятым для аналогичных почвенно-климатических условий в странах ЕС</p>
<p>Наиболее значительное по сравнению с остальной территорией России и другими регионами Земли потепление на фоне интенсивных межгодовых и внутрисезонных естественных колебаний, вносящих значительную неопределенность в количественные оценки будущих изменений климата. Усиление циклической активности</p>	<p>В связи с сильным потеплением увеличение климатических ресурсов региона. Повышение средней температуры отопительного периода. Увеличение ветровых нагрузок на буровые установки в прибрежных районах и в шельфовой зоне. Формирование условий для развития Северного морского пути и облегчение доступа к ископаемым шельфовой зоны (при сохранении Арктики в числе регионов Земли с наиболее суровыми климатическими условиями). Обусловленное деградацией вечной мерзлоты разрушение естественных</p>	<p>Радикальное усиление интенсивности и комплексного характера научных исследований Арктики, включая вопросы охраны природы и снижения рисков здоровью и жизненному укладу коренных народов. Реализация научно обоснованной с учетом ожидаемых изменений климата стратегии освоения Арктики как одного из национальных приоритетов России</p>

Окончание табл. 1

Регион	Ожидаемые изменения климата	Ожидаемые последствия изменений климата	Возможные адаптационные мероприятия
	<p>Наиболее значительное увеличение количества осадков. Существенное сокращение площади ледяного покрова океана; интенсивное сокращение доли многолетнего льда</p>	<p>ледовых причалов, естественных ледовых холодильников, являющихся хранилищами рыбы. Интенсификация разрушения арктических берегов (кроме побережья Кольского полуострова). Рост риска вешних паводков, особенно в устьях Лены и Енисея. Угрозы здоровью коренного населения, в том числе из-за изменений жизненного цикла, структуры питания и занятости</p>	

*Примечания:* 1. Оценка изменений климата дана на основе расчетов по ансамблю из 16 глобальных моделей общей циркуляции атмосферы и океана (МОЦАО) нового поколения для сценариев В1, А1В и А2 выбросов парниковых газов и аэрозоля (оценочный доклад Росгидромета Об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. Т. 1. «Изменения климата» (2008) // Под ред. А. И. Бедрицкого и др. — М., Росгидромет). Изменения климата рассматриваются в среднем по ансамблю для периода 2011—2030 гг., по отношению к базовому климатическому периоду 1980—1999 гг. Достоверность оценок будущих изменений для разных климатических характеристик неодинакова: наиболее надежны оценки изменений средней температуры воздуха, затем — количества осадков.

2. ВИЭ — возобновляемые источники энергии, ВЭС — ветроэнергетические станции, БЭУ — ветроэнергетические установки.

Таблица 2

**Примеры возможных климатически обусловленных проблем,  
входящих в сферу ответственности федеральных ведомств  
Российской Федерации<sup>17</sup>**

Федеральное ведомство	Примеры ведомственных интересов, связанных с изменениями климата
<b>Министерство внутренних дел Российской Федерации</b>	Миграционные процессы, связанные с изменениями климата и соответствующими воздействиями на экономику, социальную сферу, комфортность проживания, здоровье населения, в различных регионах Российской Федерации и за рубежом
<b>Министерство Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий</b>	Изменения характера, повторяемости, масштабов климатически обусловленных стихийных бедствий. Климатически обусловленные аварии и катастрофы, связанные с эксплуатацией технических систем, производственной, транспортной и другой инфраструктуры
<b>Министерство иностранных дел Российской Федерации</b>	Мониторинг климатической политики зарубежных стран. Международные соглашения по проблемам окружающей среды и климата. Климатически обусловленные изменения геополитической ситуации. В частности, соблюдение национальных интересов Российской Федерации при разграничении морских пространств и дна морей в Арктике с другими арктическими государствами
<b>Министерство обороны Российской Федерации, Федеральная служба безопасности Российской Федерации,</b>	Оборона границ Российской Федерации в связи с климатическими изменениями в различных регионах страны и мира, а также с климатически обусловленными изменениями геополитической обстановки, и в частности обеспечение защиты суверенитета и международных прав Российской Федерации на арктическом и южном региональных направлениях

<sup>17</sup> Катцов В. М., Мелешко В. П., Чичерин С. С. (2007). Изменение климата и национальная безопасность Российской Федерации // *Право и безопасность*. № 1—2. С. 29—37 (с дополнениями авторов).

Федеральное ведомство	Примеры ведомственных интересов, связанных с изменениями климата
<b>Федеральное агентство по обустройству государственной границы Российской Федерации</b>	Изменение условий функционирования объектов военной и гражданской инфраструктуры (производственной, транспортной и др.)
<b>Министерство здравоохранения и социального развития Российской Федерации</b>	Климатически обусловленные угрозы здоровью, благополучию и занятости населения Российской Федерации
<b>Министерство образования и науки Российской Федерации</b>	Подготовка экспертов в областях, связанных с климатической проблематикой (в том числе научных кадров) в интересах Российской Федерации. Повышение образовательного уровня учащихся средней и высшей школы в области проблем изменения климата и его последствий, адаптации к изменению климата, формирование соответствующих поведенческих стереотипов
<b>Министерство природных ресурсов и экологии Российской Федерации</b>	Климатические воздействия на природные ресурсы Российской Федерации. Облегчение доступа к новым ресурсам (в том числе в Арктике) и связанные с ним проблемы загрязнения окружающей среды. Выработка нормативных требований в отношении ресурсо- и энергосбережения. Выработка политики в отношении климатически уязвимых компонентов биоты на территории Российской Федерации
<b>Министерство промышленности и торговли Российской Федерации</b>	Широкий круг вопросов влияния климатических изменений на различные виды промышленности. Учет климатического фактора в стратегиях развития промышленности и торговли, например освоение Северного морского пути и связанная с ним потребность в обновлении национального флота судов ледокольного класса, включая атомный ледокольный флот. Климатически обусловленные изменения правил технического регулирования

Федеральное ведомство	Примеры ведомственных интересов, связанных с изменениями климата
<b>Министерство энергетики Российской Федерации</b>	Проблемы энергосбережения, альтернативные углеводородам виды топлива. Переход на «чистые» технологии. Прямые воздействия климатических изменений на ТЭК, например продолжительность отопительного периода. Мониторинг эмиссий парниковых газов
<b>Министерство регионального развития Российской Федерации</b>	Стратегии устойчивого развития регионов. Влияние изменений климата на региональную экономику, включая инвестиционные проекты. Воздействия изменений климата (например, таяния мерзлоты) на экономическую инфраструктуру, в том числе на ЖКХ. Обновление СНиПов. Климатически обусловленные угрозы здоровью и занятости населения регионов, исконной среде обитания и традиционному образу жизни коренных малочисленных народов и этнических общностей
<b>Министерство сельского хозяйства Российской Федерации</b>	Продовольственная безопасность. Изменения урожайности различных культур в новых климатических условиях. Изменения пригодности земель для использования в сельском хозяйстве. Новые инфекции и паразиты. Вытеснение одних биологических видов другими
<b>Министерство транспорта Российской Федерации</b>	Климатические воздействия на транспортную инфраструктуру ( в том числе таяния мерзлоты на авто- и железные дороги). Изменения береговой черты в результате подъема уровня океана. Воздействия климатических изменений на морские и речные порты и судоходство: наводнения, изменение штормовой активности в арктических морях
<b>Министерство связи и массовых коммуникаций Российской Федерации</b>	Участие в технологическом обеспечении климатических исследований и мониторинга климата и парниковых газов, проводимых в Российской Федерации

Федеральное ведомство	Примеры ведомственных интересов, связанных с изменениями климата
<b>Министерство спорта, туризма и молодежной политики</b>	Новые возможности для туристического бизнеса в результате смягчения климата высоких широт (например, круизы к Северному полюсу)
<b>Министерство экономического развития Российской Федерации</b>	Экономическое обоснование принятия политических и экономических решений, связанных с проблемой изменения климата, например оценка экономических рисков, прогноз и учет экономических выгод и потерь Российской Федерации при заключении международных соглашений, подобных Киотскому. Учет фактора изменения климата при формировании федеральных целевых программ, в инвестиционной политике
<b>Министерство финансов Российской Федерации</b>	Приоритетные программы, объемы и схемы финансирования (субсидии, льготное кредитование, гранты и др.), сроки и контроль за реализацией программ, меры по привлечению частного и зарубежного капитала, программы страхования. Формирование кредитно-денежной и налоговой политики, стимулирующей ресурсо- и энергосбережение
<b>Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды</b>	Организация и осуществление исследований климата и последствий его изменений — глобальных и на территории Российской Федерации, организация мониторинга климата и содержания парниковых газов в Российской Федерации. Подготовка Национальных оценочных докладов о климатических воздействиях на территории Российской Федерации и других информационно-аналитических материалов в обеспечение процесса принятия решений. Обслуживание потребителей климатической информации, включая научно-методическое сопровождение ее использования предприятиями, ведомствами и органами государственной власти. Подготовка рекомендаций по формированию и

Федеральное ведомство	Примеры ведомственных интересов, связанных с изменениями климата
<b>Федеральная служба по экологическому, технологическому и атомному надзору</b>	<p>осуществлению климатической политики РФ. Организация межведомственной интеграции и координации работ в области климата</p> <p>Экологические последствия климатических изменений: например, загрязнение Арктики в результате интенсификации хозяйственной деятельности. Контроль и надзор в сфере безопасности технических объектов в условиях климатических изменений, в том числе в связи с изменениями в ТЭК при переходе на альтернативные углеводородам виды топлива, включая возможные изменения в секторе атомной энергетики</p>
<b>Федеральное агентство по атомной энергии</b>	Учет и оценка влияния фактора климатических изменений в развитии сектора атомной энергетики и увеличение его вклада в ТЭК Российской Федерации, прежде всего, с точки зрения повышения уровня безопасности. Обновление и эксплуатация атомного ледокольного флота
<b>Федеральное космическое агентство</b>	Участие в решении приоритетных научных задач космической отрасли. Мониторинг климата и формирующих его факторов
<b>Федеральное агентство лесного хозяйства</b>	Использование, охрана и защита лесов в условиях меняющегося климата. Роль лесов в глобальном углеродном цикле
<b>Федеральное агентство по рыболовству</b>	Изменения промысловых районов в морях и океанах

## **СТРАТЕГИИ АДАПТАЦИИ К ИЗМЕНЕНИЮ КЛИМАТА В ТЕХНИЧЕСКОЙ СФЕРЕ ДЛЯ РОССИИ**

*Е. М. Акентьева, Н. В. Кобышева*

Главная геофизическая обсерватория им. А. И. Воейкова  
194021 г. Санкт-Петербург, ул. Карбышева, д. 7  
E-mail: kobyshnv@main.mgo.rssi.ru

Поступила в редакцию 21.01.2011  
Поступила после доработки 25.03.2011

### **Введение**

Изменение климата, проявляющееся, в частности, в увеличении повторяемости опасных метеорологических явлений (ОЯ), обуславливает настоятельную необходимость разработки стратегии адаптации экономики к наблюдаемым и ожидаемым климатическим изменениям.

Ряд стран уже разработали и приняли государственные стратегии адаптации, и поскольку проблема адаптации стала всеобщей, она нашла отражение и в международной деятельности. Исполнительный совет ВМО в 2010 г. утвердил в качестве приоритетной тематическую область исследования «Климатическая информация для адаптации и учета факторов риска». В состав МГЭИК также введена специальная рабочая группа, которая занимается проблемами адаптации.

Адаптация определяется как приспособление природных и антропогенных систем к произошедшим или ожидаемым изменениям климата или к их последствиям и зависит от чувствительности, уязвимости и меняющейся во времени приспособляемости систем к этим изменениям.

Адаптационная стратегия дополняет меры по смягчению изменения климата и одновременно является альтернативной им. Поэтому адаптационные меры должны согласовываться с мерами по смягчению изменения климата, и, наоборот. Н. Стерн в докладе

«Экономика изменения климата» (2006) предостерег мировое общество от задержки с принятием жестких мер по сокращению выбросов парниковых газов, заметив, что чем дольше будет продолжаться эта задержка, тем дороже будут меры по адаптации, которые необходимо будет принимать в обязательном порядке.

Хотя целью адаптации является также использование благоприятных возможностей изменений климата, наиболее важные адаптационные мероприятия осуществляются в целях снижения неблагоприятных последствий изменения климата.

Особенность адаптации технических систем состоит в том, что большинство из них лишь чувствительны к изменениям климата и только часть их уязвима по отношению к этим изменениям в отличие от природных систем, исключительно уязвимых. Тем не менее с изменением климата в целом ряде случаев связан колоссальный ущерб в технической сфере. Например, вследствие увеличения повторяемости значительных гололедных и ветровых нагрузок на ЛЭП происходят аварии, которые могут вызвать энергетический коллапс на обширной территории.

Еще одной особенностью влияния изменения климата на антропогенные, в том числе технические, системы является их высокий адаптационный потенциал. Экосистемы обладают адаптационной способностью не всегда, и их потенциал обычно меньше.

## **1. Схема оценки экономических последствий влияния изменений климата, включая адаптацию**

Адаптация и оценка ее последствий являются заключительным этапом процесса обеспечения технических секторов экономики климатической информацией в условиях меняющегося климата.

Всю цепочку исследований изменения и изменчивости климата и их влияния на технические системы, предшествующую принятию адаптационных мер и оценке последствий адаптации, можно представить в виде схемы (рис. 1).

На схеме представлен процесс принятия экономического решения об адаптации в заданных техническом секторе, регионе, области или городе.

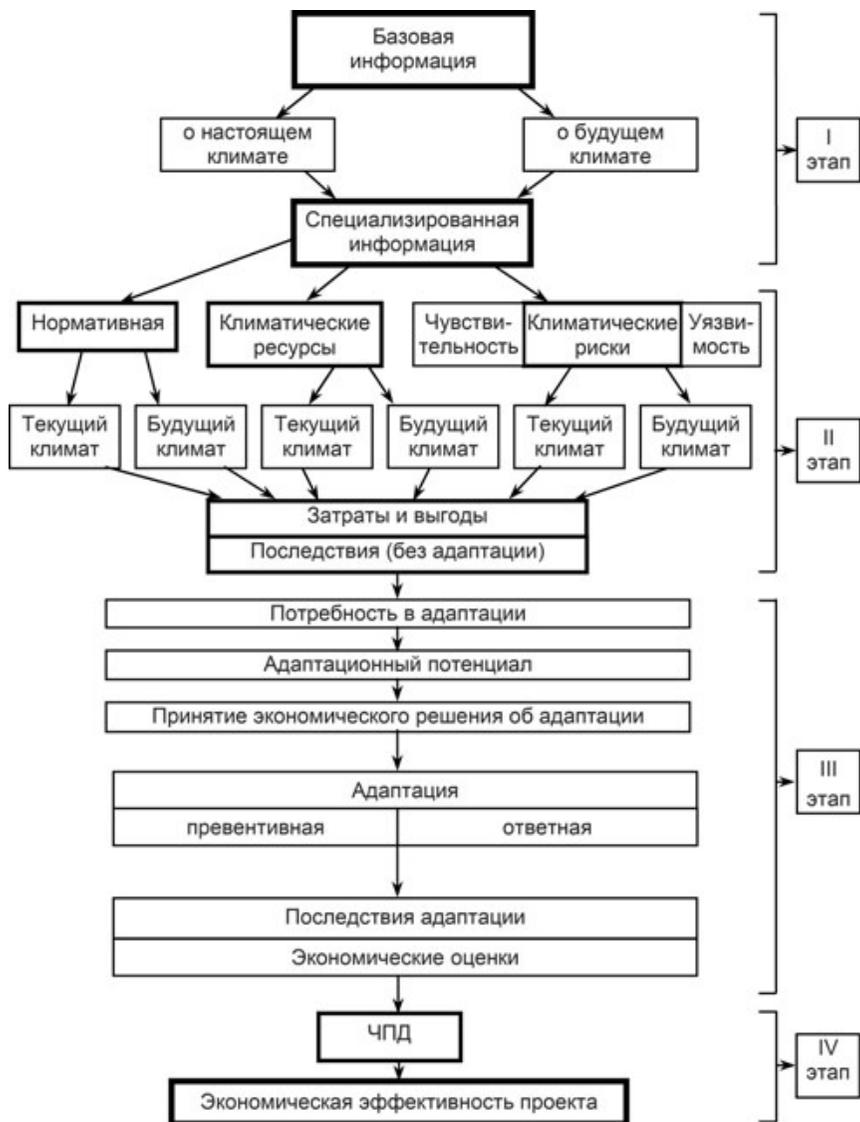


Рис. 1. Схема оценки экономических последствий изменения климата и принятия адаптационных мер для технической сферы.

На первом этапе по исходной базовой информации устанавливается необходимая специализированная информация для текущих климатических условий из архивных данных, а на будущее по результатам моделирования.

На втором этапе эта информация трансформируется в нормативную, ресурсную или показатели риска. Для расчета рисков предварительно оценивается чувствительность климатозависимого объекта, а также его уязвимость. Следует заметить, что риски, создаваемые изменениями климата, зависят от наличия природных, в том числе климатических, ресурсов, так как рисковать целесообразно при наличии таковых ресурсов. Полученная на втором этапе информация, включая адаптационный потенциал, позволяет судить о возможных последствиях изменения климата.

На третьем этапе решаются с экономической точки зрения две задачи по адаптации. Первая из них состоит в расчете потенциального ущерба и выборе оптимума между затратами на адаптацию и ликвидацию негативных последствий. Эта задача легко решается, если есть данные об ущербе и выгоде. Учитывая, что эти данные ограничены, приходится прибегать к косвенным методам оценки. При этом не следует стремиться к полной адаптации, так же как и к нулевому риску. На практике это обычно бывает экономически нецелесообразно или недостижимо.

Вторая задача более сложная и долгосрочная: требуется рассчитать стоимость мер по адаптации при различных сценариях снижения выбросов парниковых газов. Нужно выбрать временной оптимум с учетом дисконтирования затрат (т. е. учесть ущерб на будущее). Ответ на этот вопрос должен быть связан с рекомендациями МГЭИК о том, что к 2050 г. нужно в два раза снизить глобальные выбросы парниковых газов до уровня 1990 г.

Четвертый, заключительный этап включает расчет экономической эффективности инвестиций в проект.

## **2. Классификации адаптационных мероприятий**

Система типов адаптационных мер, принятая в зарубежной практике, представлена в табл. 1.

Таблица 1

**Типы адаптационных мер и их определения**

Тип адаптации	Определение
Превентивная	Адаптация, которая имеет место до того, как проявятся последствия изменения климата
Автономная	Адаптация, которая не представляет собой сознательную ответную реакцию на климатические стимулы, а вызывается экологическими изменениями в естественных системах и изменениями в деятельности рынков
Планируемая	Адаптация, которая является результатом продуманного решения о действиях, основанного на осознании того факта, что климатические условия изменились и что необходимо предпринять определенные действия для возвращения к первоначальному или иному желаемому состоянию
Личная	Адаптация, которая инициируется и осуществляется отдельными людьми, домашним хозяйством или бизнесом. Осуществляется, как правило, хозяйствующими субъектами
Общественная	Адаптация, которая инициируется и осуществляется правительственными органами на всех уровнях. Направлена, как правило, на удовлетворение общественных нужд
Ответная (реактивная)	Адаптация, которая осуществляется после того, как были обнаружены последствия изменения климата

Одна из принятых классификаций адаптации по наиболее крупным признакам представлена в табл. 2.

Таблица 2

**Классификация адаптационных мер по наиболее крупным признакам**

Классификационный признак	Примечания
Технологический	Инновации
Поведенческий	Изменение принятых правил
Управленческий	Изменение методологии

Более подробная классификация видов адаптации разработана авторами в Главной геофизической обсерватории им. А. И. Воейкова. Адаптационные мероприятия классифицируются по принципу разделения мер на информационные и технические (рис. 2).

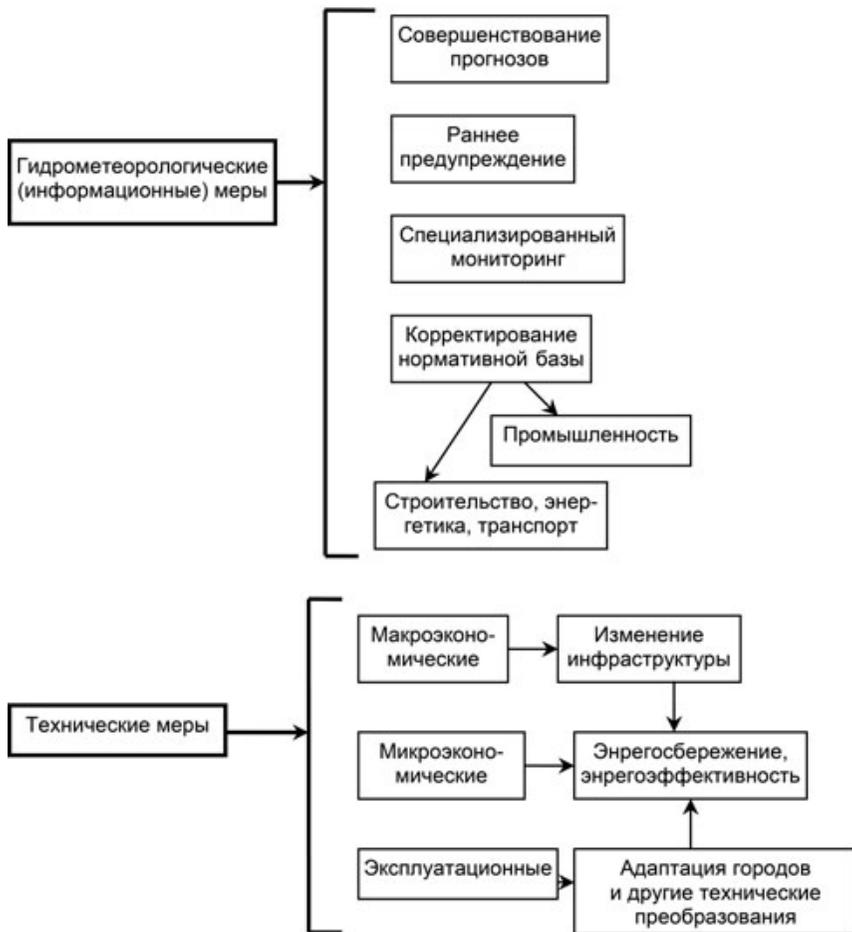


Рис. 2. Классификация адаптационных мер, разработанная в ГГО.

Технические меры адаптации, включенные в данную схему, связаны с гидрометеорологическими факторами. Технические усовершенствования, выполненные вне связи с окружающей средой, при этом не учитываются. Примерами адаптационных мер в технической сфере, вызванных погодно-климатическими факторами, могут служить:

- осмотр ЛЭП, сбивание и плавка льда;
- охлаждение генераторов при высокой температуре воздуха и перевод части оборудования на ремонт;
- использование грозозащитной аппаратуры при грозах и т. п.

### **3. Методы экономической оценки адаптационных мероприятий**

Как следует из схемы, представленной на рис. 1, перед проведением адаптационных мероприятий необходимо оценить потребность в них. С этой целью определяется диапазон возможных воздействий изменения климата по данным о рисках. Риски выражаются в стоимостных единицах. Исследования влияния изменения и изменчивости климата на технические конструкции, требующие адаптационных мер, ведутся в двух основных направлениях.

Во-первых, исследуются все серьезные повреждения в технической сфере, обусловленные изменениями или изменчивостью климата, и это направление называется «*снизу вверх*» (*bottom-up*). Анализ этого типа данных может выявить специализированные климатические параметры, выражающие влияние на конкретный объект. Например, повреждение здания вследствие проникающих дождей указывает путь для проектирования зданий в данных климатических условиях в дальнейшем. Данный подход иногда называют принципом частичного равновесия.

Второе направление носит название «*сверху вниз*» (*top-down*). При таком подходе основное внимание уделяется анализу механизмов климатических воздействий, которые приводят к массовым авариям.

В первом случае исследуется влияние на конкретный объект или конкретную область. Этот подход основан на конкретных инженерных данных о последствиях для конкретного географиче-

ского района. Во втором случае рассматриваются все отрасли в совокупности, и в частности, как последствия изменений климата в одной отрасли сказываются на других отраслях и на всей экономике в целом. Такой подход дает возможность использовать результаты наблюдений при макроэкономическом моделировании.

На первый взгляд, подход «сверху вниз» кажется более подходящим для теоретических построений влияния меняющегося климата. Однако широта охвата и комплексность моделей в сочетании с неопределенностью многих климатических параметров, как показывают исследования, могут привести к существенным ошибкам в конечных результатах.

Подход «снизу вверх» является более эмпирическим и не нашел широкого применения в настоящее время, хотя нередко позволяет получить полезные результаты. Однако в долгосрочной перспективе основной целью является разработка методологии, которая позволяет оценивать влияние изменений климата на группы типовых зданий или на целую отрасль.

Кроме того, существует еще один подход, называемый *методом комплексной оценки* и сочетающий первый и второй подходы, которые применяются для оценки экономических последствий сначала на «восходящих» моделях, а затем на основе анализа более обширных воздействий в определенных отраслях с помощью «нисходящих» моделей. Комплексные модели имитируют причинно-следственные связи внутри отраслей и между ними как взаимосвязанные восходящие физические и социально-экономические системы. Комплексный подход позволяет более точно оценить виды планируемой адаптации.

В основе *количественных экономических оценок адаптации* лежит определение затрат на адаптационные мероприятия и выгод от них. В международной практике приняты следующие методы экономических оценок (Accounting for the effects of climate change, 2009):

*анализ затрат и выгод* (в случаях когда и те, и другие известны или их можно определить косвенно);

*анализ экономической эффективности затрат* (оценка степени снижения уровня риска с учетом величины затрат);

*анализ реальных опционов* (выбор наиболее рациональной меры адаптации с учетом приспособляемости объекта). Данный метод учитывает неопределенность в отношении будущих воздействий изменения климата и степень приспособляемости объектов инфраструктуры к изменению климата. Метод предполагает построение дерева решений, которое помогает наметить действия и понять их последствия, определить моменты принятия решений, пути поступления информации и ее включение в процесс принятия решений в течение планируемого периода. Потоки затрат и выгод должны сравниваться по их изменению во времени и дисконтироваться в общий чистый приведенный доход (ЧПД). Данный метод имеет ряд преимуществ, в число которых входит учет неопределенности в изучении последствий климатических изменений.

В тех случаях, когда использование перечисленных количественных методов невозможно (не удастся количественно оценить затраты и выгоды), может быть применен качественный метод — *анализ по множеству критериев*. Одновременно применяются различные балльные оценки: экономические, технические, экологические, финансовые, социальные, которые взвешиваются по значимости. Аналогичные балльные оценки использованы, например, в расчетах климатических ресурсов на территории России (Энциклопедия..., 2005).

Помимо прямого анализа затрат и выгод, указанными методами принято оценивать *эффективность инвестиций в адаптационные мероприятия*, а также эффективность конечного результата с учетом адаптации. Конкретный проект адаптационного мероприятия принимается в случае, если показана окупаемость инвестиций.

Известен ряд методов оценки эффективности инвестиционных проектов. Наиболее часто зарубежными менеджерами используются следующие методы (Климатические факторы..., 2010):

*метод, основанный на оценке коэффициентов (индексов) чистой существующей стоимости* — отношения чистой существующей стоимости к общим начальным инвестициям; чистая существующая стоимость определяется как разность между дисконтированной стоимостью доходов за расчетный период и инвестициями на проведение адаптационной меры, и наибольший индекс указывает на наибольшую прибыльность;

*метод, основанный на оценке средней нормы прибыльности инвестиций* — отношения среднегодовой прибыли к средней величине инвестиций в проект; данный показатель сопоставляется с нормой прибыли;

*метод срока возврата инвестиций*, основанный на оценке срока окупаемости, т. е. периода, который необходим для возмещения стартовых инвестиционных расходов при получении равных годовых доходов или сбережений.

Несмотря на то что все три метода имеют недостатки, их попарное применение позволяет составить достаточно надежную оценку инвестиций в адаптационный проект (Смирнов, 2010). Экономическая эффективность окончательного результата оценивается по методу, описанному в работе Хандожко (2005).

#### **4. Методы учета неопределенности при принятии адаптационных решений**

Адаптационная стратегия осложняется факторами неопределенности. Одним из способов учета неопределенности климатического прогноза, прогнозов развития экономики, финансовой политики, изменения ВВП является оценка приспособляемости объекта к последствиям изменения климата.

Учет приспособляемости обеспечивает метод *анализа реальных опционов*, в частности построение *дерева решений*, отражающего влияние адаптационной меры на доходность инвестиций при различных сценариях изменений климата и последствий этих изменений при проведении адаптационных мер и без них. Принцип использования данной методики можно схематично показать на следующем примере.

Допустим, что нам известна некая адаптационная мера, например построение дамбы для защиты прибрежной территории от наводнений, связанных с возможным повышением уровня моря. Альтернативой этому мероприятию может стать строительство не столь мощной защитной стены меньшей стоимости, которая может быть в случае необходимости относительно просто модернизирована в будущем.

На основе данной информации строится дерево решений, где все стоимости представлены в относительных единицах (о.е.). Пусть стоимость дамбы равна 75 о.е. Она создает выгоды в размере 100 единиц, защищая от наводнений. Стена, которая может быть изменена в будущем, стоит 50 единиц; еще 50 единиц стоят мероприятия по ее модернизации. В результате защиты от наводнений будет получен экономический эффект 200 единиц.

Предположим, что существует равная вероятность сильных или слабых воздействий, связанных с изменением климата ( $P = 0,5$ ), и, следовательно, равная вероятность значительного подъема уровня моря или его отсутствия. Тогда определение ЧПД (чистого приведенного дохода) может быть проведено по схеме, представленной на рис. 3.

При расчете ЧПД принимаются следующие упрощающие предположения: ущерб от стратегии «неинвестирования» не учитывается; коэффициент дисконтирования (процентная ставка, применяемая для приведения будущей стоимости к настоящей) в соответствии с указаниями «Зеленого документа» — Международного руководства по адаптации к изменению климата (The Green Book, 2003) — составляет 0,8.

Оценка экономического эффекта от инвестирования в стандартную стену получается в результате расчета ЧПД для каждого из возможных вариантов климатических изменений. При этом в итоге получим:  $ЧПД = 0,5 \cdot (5 - 75) = -35$ . Это означает, что инвестирование в строительство дамбы проводить не следует.

В случае инвестирования в стену, которая может быть при необходимости модернизирована в будущем, оценка ЧПД проводится по следующей схеме.

Если воздействие климатических изменений будет достаточно велико, чтобы оправдать модернизацию, выигрыш от инвестиций составит 70 о.е. Если же воздействия незначительны, модернизация производиться не будет. Ожидаемая величина ЧПД для варианта с возможной модернизацией в будущем составляет  $0,5 \cdot (70 - 50) = 10$ . Таким образом, возможность модернизации в будущем отражается в более высоком ЧПД и определяет принятие решений.

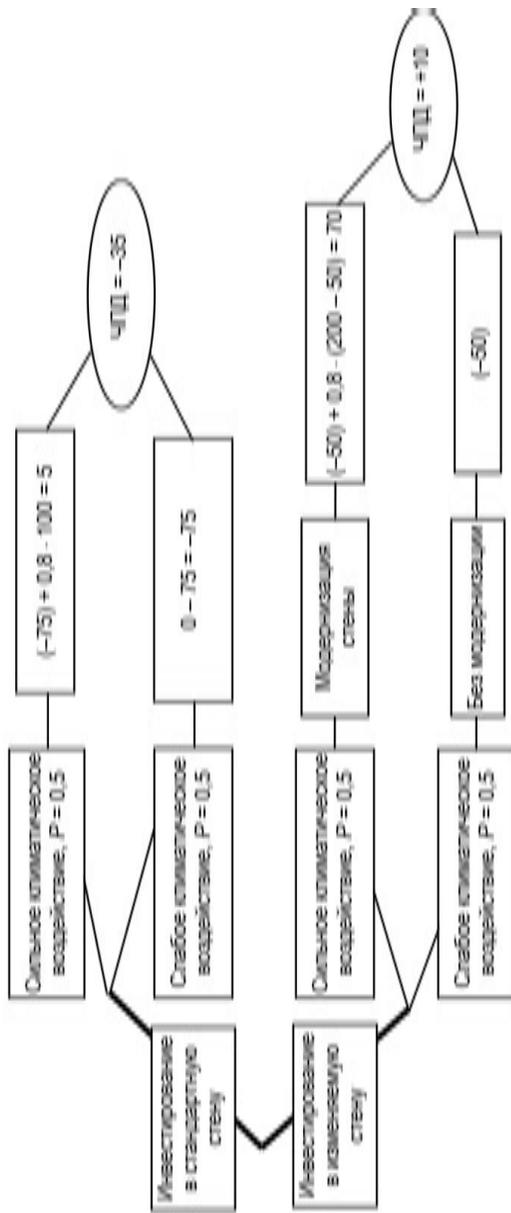


Рис. 3. Дерево решений.

Еще один метод учета неопределенности разработан в ГГО. Он основан на *расчете риска с привлечением теории нечетких множеств*. Данная теория применяется в случаях, когда по мере роста сложности системы уменьшается возможность делать точные и в то же время значащие утверждения относительно ее поведения. Именно такой можно считать климатическую систему, ее изменения и последствия, включая адаптацию. Данный метод позволяет определить, насколько прогнозируемые значения метеорологических параметров вписываются в нечеткое множество ретроспективных данных о климате.

## **5. Обзор потребностей технических секторов экономики России в адаптации и примеры возможных адаптационных мер**

Одним из важных направлений государственной политики России в области экономики являются оценки последствий изменения климата, требующие принятия адаптационных мер. Решение о необходимости адаптации принимаются в результате анализа настоящего и ожидаемого развития технических отраслей экономики (энергетики, строительства, транспорта, ЖКХ и др.). Развитие данных секторов определяют принятые в настоящее время стратегии до 2020 г., а для некоторых из отраслей — до 2030 г.

В соответствии с принятой стратегией развития энергетики в РФ важнейшими стратегическими ориентирами являются энергобезопасность, энергетическая эффективность экономики, экономическая (бюджетная) эффективность энергетики, экологическая безопасность. Из стратегических установок вытекают главные векторы перспективного развития ТЭК, и прежде всего:

*изменение структуры и масштабов производства,  
переход на путь инновационного развития,  
интеграция в мировую энергетическую систему.*

Реально осуществляются следующие действия:

развивается инфраструктура (до 2020 г. установленная мощность атомных станций возрастет вдвое, угольных — более чем в два раза, ГЭС — на 45 %, газовой генерации — более чем на 40 %);

последовательно реализуются программы газификации российских регионов;

на российском нефтегазовом рынке уже работают международные газовые компании.

На макромасштабном уровне адаптация в энергетике должна заключаться, прежде всего, в ее децентрализации и диверсификации.

Одним из путей осуществления этих адаптационных направлений является развитие возобновляемой энергетики, которая получила в современных условиях новый импульс (Климатические факторы..., 2011). Большое разнообразие возобновляемых источников энергии позволяет выбрать такие, которые можно использовать для энергоснабжения удаленных регионов, а также решить вопрос об автономном энергоснабжении компрессорных станций, уменьшив риск перерывов в энергоснабжении при авариях на ЛЭП, и повысить энергоэффективность за счет выбора наиболее экономичных и подходящих к определенным климатическим условиям ветроэнергетических установок (ВЭУ). Например, для обеспечения теплом загородного строительства на всей территории России за исключением области вечной мерзлоты одним из перспективных направлений является использование тепловых насосов. В целях обеспечения устойчивого тепло- и электроснабжения населения и производства в зонах децентрализованного и неустойчивого централизованного электроснабжения рекомендуется создавать независимые энергопроизводители на базе ВЭУ.

Важнейшим адаптационным мероприятием (не только в энергетике) является страхование — один из способов управления экономическим риском в сфере надежности электроснабжения. Максимальная готовность страховых компаний к чрезвычайным ситуациям и снижение продолжительности последующего периода восстановления позволяют выделить эти действия в особую категорию «риск—менеджмент».

Технической адаптацией такого же масштаба можно считать модернизацию трубопроводного транспорта на всем пространстве России, а также развитие энергосервисных компаний (ЭСКО), которые обеспечивают учет, контроль и оптимизацию энергопотребления. В результате деятельности ЭСКО обеспечивается ресурсо-

эффективный технологический уровень государства. Это очень важное обстоятельство, так как в настоящее время энергоемкость ВВП в России в 2—4 раза превышает показатели западных стран.

Климатологическая (информационная) адаптация состоит в усовершенствовании нормативных документов в области энергетики, таких как Правила устройства электроустановок (ПУЭ), Правила и нормы по атомной энергетике (ПНАЭ) и т. д. Эти документы составлены по метео данным до 1980 г. и нуждаются в обновлении и усовершенствовании.

Примерами технических мер адаптации меньшего масштаба могут служить следующие предложения:

организовать наблюдения за динамикой криогенной зоны;

пересмотреть в сторону уменьшения расчетные сроки эксплуатации подводных переходов трубопроводов, построенных до 1990 г.;

для южной ветви магистральных трубопроводов, проектируемых по югу Якутии, Амурской области и Хабаровскому краю, где опасности в основном связаны с возможными просадками грунта, найти инженерные решения для закрепления грунтов;

в Ямало-Ненецком и Ханты-Мансийском автономных округах провести обследование состояния опор для магистральных трубопроводов с целью стабилизации опорных конструкций и т. п.

Стратегия развития строительства в качестве одного из наиболее важных направлений предписывает совершенствование нормативной базы, включая информацию о меняющемся климате. В настоящее время разработана электронная система «Реформа технического регулирования». В этой системе предусматривается разработка проектов национальных стандартов к утвержденным техническим регламентам.

Актуализация СНиП «Строительная климатология» и «Нагрузки и воздействия», выполнение которой должно завершиться в 2011 г., предусматривает учет изменения климата. Кроме этой основной адаптационной меры должны быть разработаны и другие, менее масштабные меры (разработка новой методологии расчета климатической информации для создания менее энергоемких систем кондиционирования и вентиляции, корректировка

генпланов южных городов в направлении увеличения площади зеленых насаждений и водных объектов и т. д.).

В качестве основных адаптационных мер для транспорта в соответствии со стратегией его развития рекомендуется:

модернизация дорог с учетом зимней скользкости, необходимости улучшенной системы дренажа (водоотведения) для предупреждения размыва насыпи;

создание комфортных условий для водителей и инструктаж их об особенностях движения в сложных условиях погоды и т. д.

### **Заключение**

Дальнейшему совершенствованию адаптационных мер способствует развитие экономики в целом. При этом появляются возможности для планирования адаптационных мероприятий на более высоком техническом и организационном уровне.

Перед климатологическим сообществом стоят задачи уточнения механизмов физического воздействия изменения климата на конкретные объекты и процессы в технической сфере и разработки системы климатических параметров, подводящих потребителей к принятию решений об адаптации. Началом разработки современной адаптационной стратегии может стать фокусирование на так называемой беспроигрышной адаптации, экономически эффективной при любых возможных изменениях климата.

В настоящее время выбор правильной стратегии адаптационной политики является одним из определяющих факторов экономического роста страны и ее устойчивого развития (включая увеличение ВВП).

### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

Климатические факторы возобновляемых источников энергии (2011) / Под ред. Е. Е. Елистратова, Н. В. Кобышевой, Г. И. Сидоренко. — СПб: Наука.

Обзор доклада Николаса Стерна «Экономика изменения климата» (2009). Изд. 2-е, переработанное и дополненное / А. О. Кокорин, С. Н. Кураев, М. А. Юлкин. WWF, Strategic Programme Fund (SPF). — М.: WWF России. 60 с.

*Смирнов Д. В. (2010). Климатическое обеспечение использования низкопотенциальной тепловой энергии земли для применения в загородном строительстве. Автореф. ... канд. геогр. наук. — СПб. 17 с.*

*Хандожко Л. А. (2005). Экономическая метеорология. — СПб: Гидрометеоиздат. 491 с.*

*Энциклопедия климатических ресурсов России (2005) / Под ред. Н. В. Кобышевой. — СПб: Гидрометеоиздат.*

*Accounting for the Effects of Climate Change. Supplementary Green Book Guidance (2009). — Defra, London.*

*The Green Book (2003). Appraisal and Evaluation in Central Government Treasury Guidance, London: TSO.*

[www.defra.gov.uk/adaptation](http://www.defra.gov.uk/adaptation)

[www.hm-treasury.gov.uk/greenbook](http://www.hm-treasury.gov.uk/greenbook)

**СОВРЕМЕННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ  
ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ И ПОТОКА ПОГЛОЩЕННОЙ  
РАДИАЦИИ В РЕГИОНЕ ГРЕНЛАНДИИ**

*И. А. Корнева, И. О. Попов, С. М. Семенов*

ГУ ИГКЭ Росгидромета и РАН  
107258 Москва, ул. Глебовская, д. 20Б,  
E-mail: SergeySemenov1@yandex.ru

Поступила в редакцию 29.03.2011

Гренландский ледяной щит — один из крупнейших современных резервуаров замороженной пресной воды. Объем льда в нем составляет примерно 2,85 млн км<sup>3</sup>, и его полное таяние, согласно оценкам, вызовет подъем уровня Мирового океана примерно на 7 м (Schneider et al., 2007, раздел 19.3.5.2).

Палеоклиматологические исследования показывают, что в историческом прошлом значения температуры в регионе Гренландии в некоторые периоды существенно отличались от современных. В 1989—1992 гг. в рамках проекта Greenland Ice Core Project (GRIP) в центральной части Гренландии (72°35' с. ш., 37°38' з. д.) была пробурена скважина глубиной 3029 м.<sup>1</sup> Реконструкция значений температуры с помощью изотопа кислорода  $\delta^{18}\text{O}$  (Кислов, 2001) подтвердила наличие в прошлом достаточно больших и сравнительно быстрых колебаний температуры в Гренландии на протяжении прошедших 110 000 лет. Анализ керна льда показал, что в этот период колебания температуры величиной 5 °С происходили иногда за сравнительно небольшое время — несколько десятилетий.

---

<sup>1</sup> Greenland Ice Core Project. An ESF Research Programme. Final Report (Introduction, by B. Stauffer, Physikalisches Institut, Universität Bern). [http://nsidc.org/data/gisp\\_grip/document/finalrpt/](http://nsidc.org/data/gisp_grip/document/finalrpt/)

Согласно обобщенным данным палеоклиматических исследований (Overpeck et al., 2006; Otto-Bliesner et al., 2006; Schneider et al., 2007) средние температуры в полярных регионах в последнем межледниковье (135—117 тыс. лет до н.в.) были на 3—5 °C выше современных. Происходившее в этот период частичное таяние Гренландского и, возможно, Западно-Антарктического ледяных щитов привело к подъему уровня Мирового океана на 4—6 м.

Данные инструментальных наблюдений за температурой приземного воздуха показывают (рис. 1), что за последние полтора века ее среднегодовое значение на юго-западе Гренландии увеличилось примерно на 1 °C. При таком совершенно невыдающемся долговременном тренде (на суше есть области, где сигнал глобального потепления проявляется в большей степени — см. работу Семенова и др. (2008)) одновременно наблюдаются ненаправленные циклические колебания температуры. Такая картина изменения температуры — сравнительно медленное увеличение в целом в вековом масштабе времени, на которое наложены ненаправленные циклические колебания с характерным временем несколько десятков лет, — типична для высоких широт Северного полушария. Можно предположить, что первое есть региональная составляющая глобального потепления, а второе — результат действия естественных региональных факторов. Эти две составляющие можно видеть на графике изменения температуры за все время инструментальных наблюдений (см. рис. 1). С начала 1990-х годов наблюдается быстрое повышение температуры воздуха на юго-западе Гренландии, но его было бы неправильно ассоциировать с вековой тенденцией потепления.

Вследствие этих особенностей, из-за малости векового тренда и значительности амплитуды циклических колебаний, в отдельные периоды в регионе может наблюдаться похолодание. Существуют определенные гипотезы относительно причин этих циклических колебаний (Фролов и др., 2008).

Описанная выше тенденция потепления, особенно с учетом исторического прошлого этого региона, порождает обеспокоенность и свидетельствует о том, что климат этого региона и тенденции его изменения должны быть тщательно исследованы.

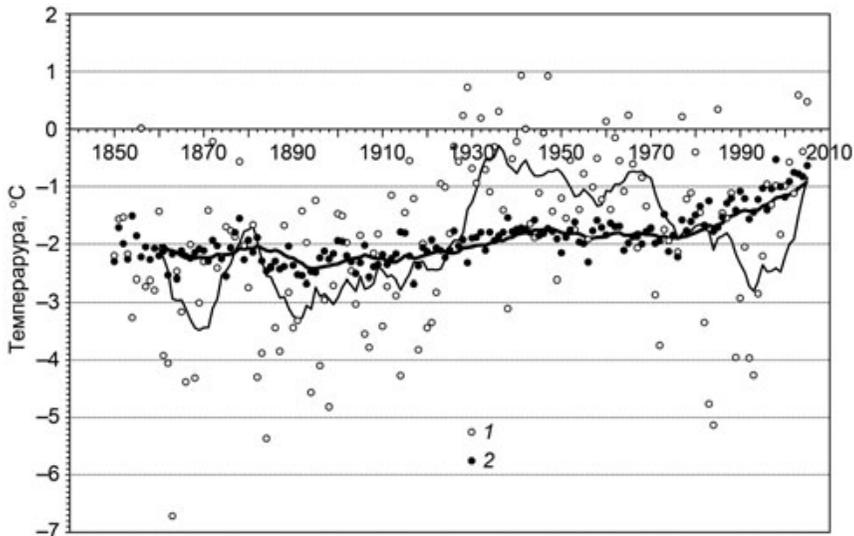


Рис. 1. Данные о среднегодовой температуре приземного воздуха на юго-западе Гренландии (1) и их наилучшее приближение линейной функцией среднегодовой средней глобальной температуры (2), а также средние значения за предшествующие 11 лет, включая данный год (соответственно тонкая и жирная кривые).

Значения среднегодовой температуры на юго-западе Гренландии получены осреднением по данным станций Quaqqortoq, Ilulissat и Nuuk (<http://www.cru.uea.ac.uk/cru/data/greenland/>; Vinther et al., 2006). Значения среднегодовой средне-глобальной температуры — см. <http://www.cru.uea.ac.uk/cru/data/temperature/crutem3gl.txt>

В данной работе рассматриваются несколько вопросов, касающихся этой проблематики:

- определение современных тенденций изменения температуры земной поверхности в регионе Гренландии;

- определение степени корреляции этих изменений с изменением количества суммарной радиации, поглощаемой земной поверхностью;

- оценка достоверности этих изменений.

В ходе исследований были использованы данные математического моделирования SRB и данные реанализа MERRA.

Источником данных о современном состоянии климатической системы Земли, полученных с помощью математических моделей, является архив SRB (Surface Radiation Budget). Он создан в рамках эксперимента NASA<sup>1</sup> GEWEX — Global Energy and Water Cycle Experiment. Ряд данных SRB начинается с 1983 г., что связано с доступностью данных программы ISCCP (International Satellite Cloud Climatology Project). Цель создания этого архива — оценить в глобальном масштабе и задокументировать потоки коротковолновой радиации (КР) и длинноволновой радиации (ДР) у земной поверхности, на внешней границе атмосферы (ВГА) и в атмосфере. Данные доступны на веб-странице [http://eosweb.larc.nasa.gov/PRODOCS/srb/table\\_srb.html/](http://eosweb.larc.nasa.gov/PRODOCS/srb/table_srb.html/). Они представлены в архиве для 1983 — 2007 гг. Среднемесячные значения потоков КР и ДР даны для широтно-долготной сетки  $1 \times 1^\circ$ . Для вычислений был применен алгоритм LPSA — Langley Parameterized Shortwave Algorithm (Gupta et al., 2001). Полное описание алгоритма получения данных можно найти в работах Darnell et al. (1988, 1992).

При создании версии архива SRB 3.0, которая использовалась в данной работе, входными данными для моделей были, в том числе, содержание водяного пара, диоксида углерода, озона и аэрозолей в столбе атмосфере, а также данные о типе подстилающей поверхности.

Реанализ — процесс синтеза рядов модельных данных и данных наблюдений. Реанализ MERRA (Modern Era Retrospective-analysis for Research and Applications (<http://gmao.gsfc.nasa.gov/research/merra/intro.php>)) был разработан в NASA на основе использования современных спутниковых данных EOS (Earth Observation System). При этом использовалась система моделей GEOS-5 (Goddard Earth Observing System Model Data Assimilation System), разработанная в GMAO (Global Modeling and Assimilation Office, NASA). В эту систему входит, в частности, модель общей циркуляции атмосферы (МОЦ) GEOS-5 и блок усвоения данных DAS (Data Assimilation System). В данной работе исполь-

---

<sup>1</sup> Национальное управление США по авиации и исследованию космического пространства (National Aeronautics and Space Administration).

зованы данные о среднемесячных значениях температуры земной поверхности (skin temperature) за 1990—2007 гг. Пространственное разрешение данных составляет  $1,25^\circ$  по долготе и  $1^\circ$  по широте. Данные доступны на веб-странице [http://gdata1.sci.gsfc.nasa.gov/daac-bin/G3/gui.cgi?instance\\_id=MERRA\\_MONTH\\_CHM/](http://gdata1.sci.gsfc.nasa.gov/daac-bin/G3/gui.cgi?instance_id=MERRA_MONTH_CHM/).

Современные тенденции (в границах тридцатилетнего периода, принятого в климатологических исследованиях) изменения показателей состояния климатической системы в регионе Гренландии в данной работе оценивались обычными методами статистики в рамках представления о линейности трендов.

Оценки  $\hat{a}$  и  $\hat{b}$  параметров  $a$  и  $b$  зависимости  $x(t) = a + bt + \xi(t)$ , где  $t$  — время (годы), а  $\xi(t)$  — независимые реализации некоторой центрированной случайной величины  $\xi$ , находились методом наименьших квадратов (МНК). Для суждения о достоверности отличия коэффициента регрессии  $b$  от нуля и его знаке использовалась статистика Стьюдента с  $N - 2$  степенями свободы. Анализировалось отношение  $\hat{b}/\hat{s}$ , где

$$\hat{s} = \sqrt{\frac{\frac{1}{(N-2)} \sum_{n=1}^N (\hat{\xi}(t_n))^2}{\sum_{n=1}^N (t_n - \bar{t})^2}}.$$

Здесь  $t_1, t_2, \dots, t_N$  — годы, за которые есть данные  $x(t_1), x(t_2), \dots, x(t_N)$  о значении наблюдаемой величины  $x$ ;  $\bar{t}$  — среднее значение моментов времени;  $\hat{\xi}(t_n)$  — остатки ( $n = 1, 2, \dots, N$ ), т. е. разности между наблюдаемыми значениями и соответствующими значениями линейной функции времени, определенной МНК.

Далее в ходе исследования анализировалась достоверность линейных трендов для рядов длиной  $N = 18$  и  $N = 24$ . Соответствующие значения квантилей для  $N - 2$  степеней свободы для вероятности 0,90 равны 1,337 и 1,321, а для вероятности 0,99 составляют 2,583 и 2,508 (Мюллер и др., 1982, с. 131).

При изучении сходства тенденций изменения во времени двух наблюдаемых величин производится сопоставление оценки значений коэффициента линейной регрессии этих величин на время (в простейшем случае сопоставляются их знаки). При анализе сходства характера отклонений двух наблюдаемых величин от их линий трендов оценивается коэффициент корреляции отклонений. При оценке корреляции число степеней свободы на две меньше, чем длина ряда данных наблюдений.

На основе изложенной процедуры оценки по данным математического моделирования (SRB) и по данным реанализа (MERRA) был оценен линейный тренд ( $^{\circ}\text{C} \cdot \text{год}^{-1}$ ) среднегодового значения температуры земной поверхности за период 1990—2007 гг. Данный временной интервал был выбран исходя из того, что доступные данные реанализа (MERRA) охватывают именно этот период; данные SRB доступны для периода с 1983 по 2007 г. Результаты оценки тренда по этим двум источникам данных приведены на рис. 2.

Исходя из данных моделирования (см. рис. 2 а) можно сделать вывод о том, что на большей части рассматриваемой территории (регион Гренландии) наблюдается повышение температуры земной поверхности, максимальное в море Баффина, вблизи западного и юго-западного побережья Гренландии. Вблизи восточного побережья Гренландии, в Датском проливе, наблюдается понижение температуры поверхности океана.

Линейный тренд среднегодовой температуры земной поверхности в 1990—2007 гг., оцененный по данным реанализа (MERRA), приведен на рис. 2 б. На качественном уровне его пространственное распределение соответствует результатам, полученным в ходе математического моделирования (SRB). Отрицательный тренд наблюдается вблизи восточного побережья материка, положительный — в западной и юго-западной частях. Однако по сравнению с данными моделирования (SRB) дистанционные данные (MERRA) показывают на большей части рассматриваемой территории большее значение модуля тренда — коэффициента регрессии среднегодовой температуры на время.



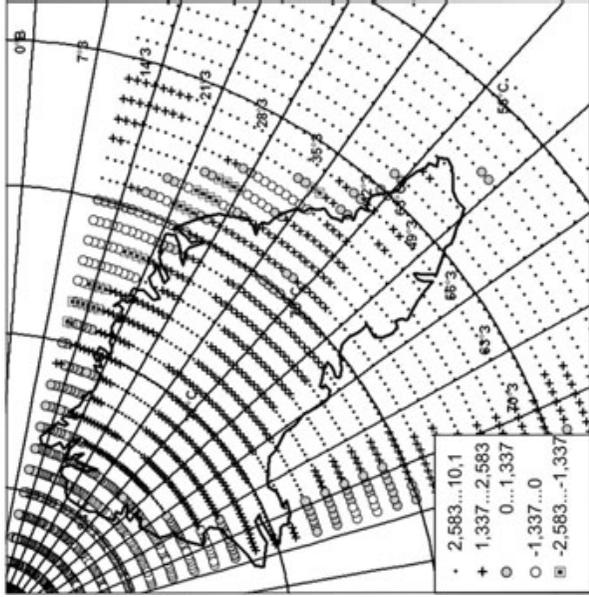
Таким образом, данные дистанционных наблюдений с большей контрастностью демонстрируют многолетние понижения и повышения температуры земной поверхности. На обширной территории наблюдается потепление, которое составляет  $0,2 \text{ } ^\circ\text{C} \cdot \text{год}^{-1}$  и более. Эти результаты позволяют предположить, что использование данных дистанционных измерений проекта ISCCP приводит к некоторому завышению положительного тренда температуры земной поверхности в рассматриваемом регионе.

На рис. 3 приведены значения  $\hat{b}/\hat{s}$  для оценок линейных трендов среднегодовой температуры земной поверхности в 1990—2007 гг., полученных по данным моделирования (SRB) и по данным реанализа (MERRA). В легенде использованы, в частности, значения критерия Стьюдента (с 16 степенями свободы), соответствующие вероятностям 0,90 и 0,99.

Из рис. 3 видно, что оценки достоверности тренда, полученные по данным математического моделирования (SRB) и по данным реанализа (MERRA), имеют сходный характер изменения в пространстве. В обоих случаях на большей части рассматриваемого региона тренды температуры положительные с достоверностью не менее 0,90, причем это характерно одновременно для обоих массивов данных. Таким образом, определенно имеет место потепление. Только у восточного и северного побережья Гренландии результаты не сходны и/или менее достоверны. При этом в обширной области океана, прилегающей к восточному побережью Гренландии, для обоих массивов данных наблюдается похолодание с достоверностью не менее 0,90.

Анализ причин описанного выше изменения температуры земной поверхности в регионе Гренландии — сложная задача, и ее полное решение выходит за рамки данной работы. Сложность таких исследований обусловлена тем, что в формировании теплового режима земной поверхности участвуют как радиационные потоки энергии, так и потоки энергии нерадиационной природы, в том числе связанные с морскими течениями. Ниже мы коснемся только одной стороны этого вопроса — взаимосвязи тенденций изменения температуры земной поверхности и суммарного потока радиации, ею поглощаемого. Данные для такого сопоставления имеются в архиве SRB.

а)



б)

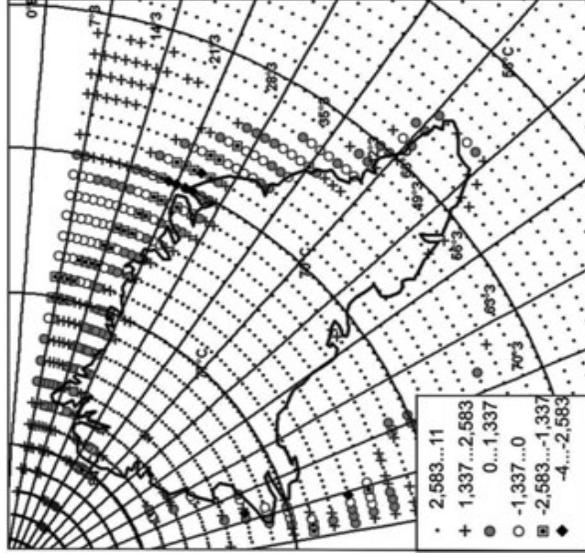


Рис. 3. Оценка достоверности линейного тренда среднегодовой температуры земной поверхности в регионе Гренландии в 1990—2007 гг. — значения  $\hat{b}/s$  для оценок коэффициента регрессии температуры на время по данным математического моделирования (SRB) (а) и по данным реанализа (MERRA) (б).

Для каждого элемента пространственной сетки  $1 \times 1^\circ$  архив SRB в версии 3.0 содержит, в частности, информацию о средне-месячных значениях следующих величин:

температуры земной поверхности  $T$  (К);

потока солнечного излучения, поглощенного земной поверхностью  $S_{abs}$  ( $\text{Вт} \cdot \text{м}^{-2}$ );

нисходящего потока инфракрасного излучения у земной поверхности  $L_d$  ( $\text{Вт} \cdot \text{м}^{-2}$ );

восходящего потока инфракрасного излучения у земной поверхности  $L_u$  ( $\text{Вт} \cdot \text{м}^{-2}$ ).

В нижних индексах использованы следующие обозначения: *abs* — поглощенный (absorbed) поток, *d* — нисходящий (down) поток, *u* — восходящий (up) поток.

Под текущей радиационно-равновесной температурой земной поверхности в данной работе подразумевается равновесная температура  $T_{eq}$ , соответствующая текущему значению суммарного потока поглощенного земной поверхностью излучения  $I_{abs}$  в состоянии радиационного равновесия данной части земной поверхности с атмосферой и теплового равновесия со слоями, лежащими под данной частью земной поверхности.

При таком определении в соответствии с законом Стефана—Больцмана

$$I_{abs} = \sigma T_{eq}^4,$$

или

$$T_{eq} = (I_{abs}/\sigma_1)^{1/4}. \quad (1)$$

Здесь  $\sigma_1$  — константа, несколько меньшая постоянной Стефана—Больцмана ( $\sigma = 5,67032 \cdot 10^{-8} \text{ Вт} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{К}^{-4}$ ) вследствие того, что свойства земной поверхности отличаются от свойств абсолютно черного тела (Матвеев, 2000, с. 127). Отношение  $\delta = \sigma_1/\sigma$  — поглощательная способность данной части земной поверхности.

Исходя из данных о фактических температуре земной поверхности и значении восходящего потока инфракрасного излу-

чения для данной точки земной поверхности константу  $\sigma_1$  можно оценить следующим образом.

Вследствие закона Стефана—Больцмана

$$L_u = \sigma_1 T^4,$$

или

$$\ln \sigma_1 = \ln(L_u) - 4 \ln(T). \quad (2)$$

Поскольку архив SRB предоставляет данные более чем за 20 лет о значениях  $L_u$  и  $T$  в месячном разрешении, можно получить несколько оценок значения  $\ln \sigma_1$  по формуле (2) для каждого месяца календарного года (за несколько лет — от года  $t_1$  до года  $t_2$ ). Эти оценки в дальнейшем могут быть усреднены, и с помощью потенцирования можно получить оценку  $\hat{\sigma}_1$  для рассматриваемого месяца календарного года.

Далее, воспользовавшись законом Кирхгофа, можно найти значение  $I_{abs}$  для текущего месяца по формуле

$$I_{abs} = S_{abs} + \delta L_d,$$

где  $\delta = \hat{\sigma}_1 / \sigma$ .

На основе этих данных по формуле (1) может быть рассчитана  $T_{eq}$ .

Изложенный алгоритм позволяет, помимо месячных значений фактической температуры земной поверхности, рассмотреть ряд месячных значений радиационно-равновесной температуры земной поверхности для каждой ее точки, обеспеченной данными архива SRB.

Последняя по своему определению практически является некоторой трансформацией среднемесячного значения потока излучения, поглощаемого земной поверхностью, к температурному ряду. Предложенная трансформация дает, в том числе, возможность более эффективного совместного анализа рядов потоков и

рядов фактической температуры. Она также может быть полезна при оценке роли иных, нерадиационных факторов в изменении температуры земной поверхности. Эта роль проявляется при сравнении текущих значений фактической и радиационно-равновесной температуры.

Среднемесячные значения радиационно-равновесной температуры земной поверхности для региона Гренландии для периода 1984—2007 гг. были вычислены по данным моделирования (SRB). Далее были получены их среднегодовые значения, которые сопоставлялись со среднегодовыми значениями обычной температуры земной поверхности, вычисленными также по данным моделирования (SRB).

Для сопоставления двух температурных характеристик в целом была построена карта-схема разности средних за 1984—2007 гг. значений обычной и радиационно-равновесной температуры земной поверхности (°C). Она представлена на рис. 4. Из рисунка видно, что для поверхности океана и прибрежных зон суши обычная температура ниже радиационно-равновесной, а для внутренней части материка — выше.

Гипотетически это можно объяснить следующим образом. В среднем в масштабах года имеется нетто-расход тепла на поверхности океана и в прибрежных зонах, связанный с процессами фазового перехода воды. Напротив, на внутренней части материка имеется нетто-приход. Таким образом, здесь замешаны фазовые переходы воды: таяние/испарение и конденсация/замерзание соответственно.

Оценки достоверности линейных трендов среднегодовых значений обычной и радиационно-равновесной температуры земной поверхности в 1984—2007 гг. приведены на рис. 5. В легенде использованы, в частности, значения критерия Стьюдента (с 22 степенями свободы), соответствующие вероятностям 0,90 и 0,99. Из рис. 5 видно, что на большей части материка и рассматриваемой части океана обнаруживаются положительные тренды обоих показателей при уровне достоверности 0,90 и выше, причем на большей части рассматриваемого региона это наблюдается одновременно. Это позволяет сделать вывод о заметной роли радиационных факторов, и конкретно поглощаемого поверхностью потока излучения, в потеплении земной поверхности в рассматриваемом регионе.

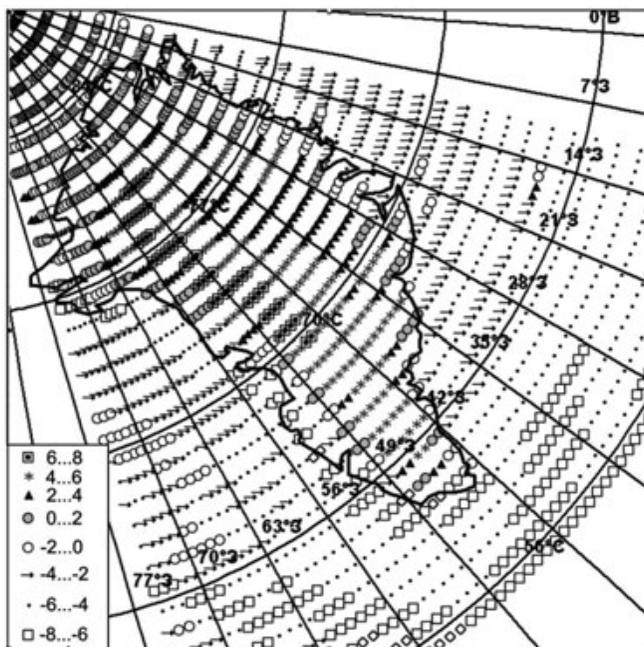
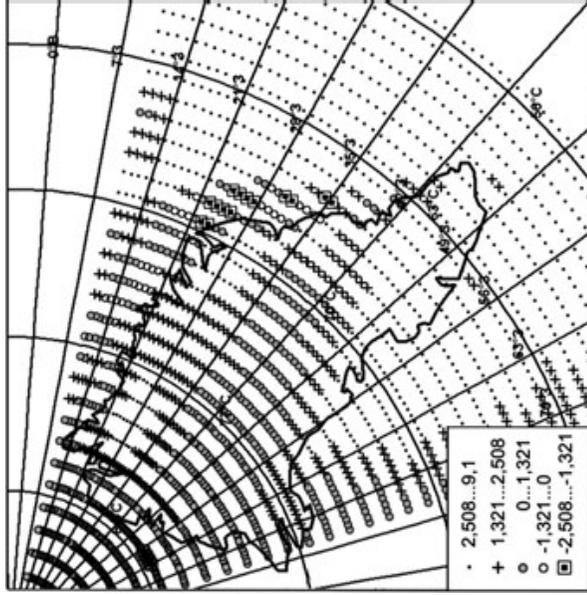


Рис. 4. Разность средних за период 1984—2007 гг. значений обычной и радиационно-равновесной температуры земной поверхности (°С).

И наконец, приведем карту-схему (рис. 6) пространственного распределения коэффициента корреляции отклонений от линии тренда для среднегодовых значений обычной и радиационно-равновесной температуры земной поверхности в 1984—2007 гг. Если карты-схемы, приведенные на рис. 5, позволяют сопоставлять среднесрочные (за 24 года), климатические тенденции изменения этих двух показателей, то рис. 6 позволяет оценить сходство кратковременных тенденций — отклонений от линии тренда.

Можно заметить, что в целом они сходны. Более того, на большей части изучаемого пространства значения коэффициента корреляции превышали 0,7. Это означает, что не менее 50 % изменчивости одного показателя можно объяснить изменчивостью другого.

а)



б)

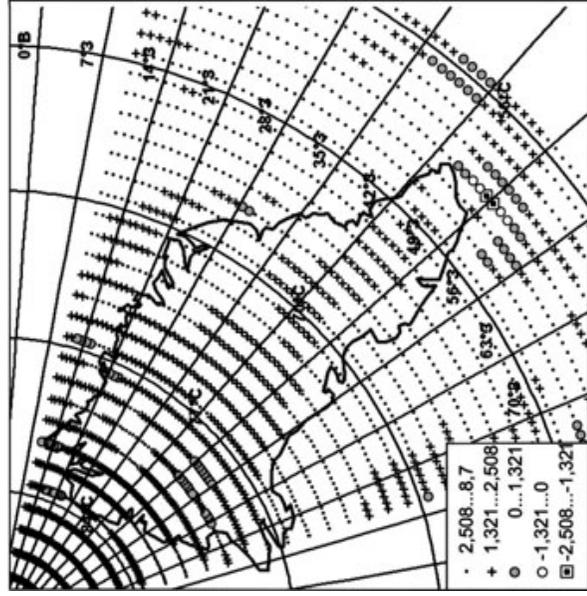


Рис. 5. Оценка достоверности линейного тренда среднегодовой температуры земной поверхности в регионе Гренландии в 1984—2007 гг. — значения  $\hat{b}/s$  для оценок коэффициента регрессии температуры на время для обычной температуры (а) и для радиационно-равновесной температуры (б).

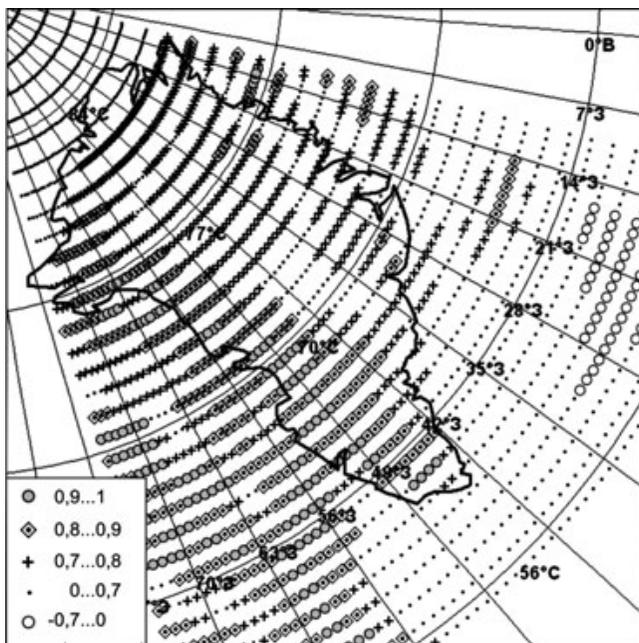


Рис. 6. Оценка коэффициента корреляции отклонений от линии тренда среднегодовых значений обычной и радиационно-равновесной температуры земной поверхности в 1984—2007 гг.

В то же время, есть обширная область в прямоугольнике 56—67° с. ш. и 14—28° з. д., где наблюдаются заметные отрицательные значения коэффициента корреляции. Это означает, что в формировании температурного режима земной поверхности в этой области радиационные факторы играют менее заметную роль, чем на остальной части рассматриваемой поверхности.

В заключение кратко обобщим полученные результаты.

1. Долговременная тенденция изменения температуры на юго-западе Гренландии имеет вековую глобальную составляющую — медленное изменение, приводящее в целом к потеплению, а также и региональную составляющую — циклические колебания с характерным временем несколько десятилетий. При

этом циклические колебания столь значительны по амплитуде, что при общей вековой тенденции к потеплению в какие-то периоды времени может наступать похолодание.

2. На большей части Гренландии и прилегающего океана современной климатической тенденцией (1984—2007 гг.), судя по данным математического моделирования, является (с достоверностью не менее 0,90) повышение среднегодовой температуры земной поверхности.

3. Сопоставление оценок трендов за 1990—2007 гг., полученных по данным реанализа (основанного на дистанционных, спутниковых измерениях температуры) и по данным математического моделирования, свидетельствует о том, что на большей части изучаемого пространства линейные тренды, оцененные на базе двух разных массивов данных, показывают повышение температуры с достоверностью не менее 0,90, причем на большей части региона это наблюдается одновременно.

4. Совместный анализ данных математического моделирования за 1984—2007 гг. по температуре земной поверхности и по показателю суммарного потока излучения (коротковолнового и длинноволнового), поглощенного земной поверхностью, указывает на то, что их тренды на большей части изучаемого пространства положительны с достоверностью не менее 0,90, причем на большей части региона это наблюдается одновременно.

5. Характер отклонений от линии тренда для обоих показателей сходный, о чем свидетельствуют высокие значения оценок коэффициента корреляции (0,7 и выше) на большей части изучаемого пространства. В то же время, есть обширная область в прямоугольнике  $56—67^{\circ}$  с. ш.,  $14—28^{\circ}$  з. д., где наблюдаются заметные отрицательные значения коэффициента корреляции.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

*Кислов А. В.* (2001). Климат в прошлом, настоящей и будущем. — М., МАИК «Наука»/ИНТЕРПЕРИОДИКА, 351 с.

*Матвеев Л. Т.* (2000). Физика атмосферы. — СПб: Гидрометеоздат. 778 с.

*Мюллер П., Нойман П., Шторм Р.* (1982). Таблицы по математической статистике. — М.: Финансы и статистика. 272 с.

Семенов С. М., Израэль Ю. А., Груза Г. В., Ранькова Э. Я. (2008). Изменения глобальной температуры и региональные риски при некоторых стабилизационных сценариях антропогенной эмиссии диоксида углерода и метана / В кн.: Изменения окружающей среды и климата. Природные и связанные с ними техногенные катастрофы. Том VI. Изменения климата: влияние земных и внеземных факторов. — М., ИФА РАН.

Фролов И. Е., Гудкович З. М., Карклин В. П., Смоляницкий В. М. (2008). Шестидесятилетняя цикличность в изменениях климата полярных регионов // Материалы гляциологических исследований. Т. 105. С. 158—165.

Darnell, W. L., W. F. Staylor et. al. (1988). Estimation of surface insolation using sun-synchronous satellite data // J. Climate. V. 1, No. 8. P. 820—835.

Darnell, W. L., W. F. Staylor et. al. (1988). Global surface radiation budget estimations by satellite techniques-test results // Proc. Intern. Radiation Symposium.

Gupta S. K., David P. K., Stackhouse P. W., Wilber A. C. (2001). The Langley parameterized shortwave algorithm (LPSA) for surface radiation budget studies. NASA/TP-2001-211272. December 2001. 21 p. ([http://www.google.ru/search?ie=UTF-8&hl=ru&q=LPSA% 2C% 20Langley](http://www.google.ru/search?ie=UTF-8&hl=ru&q=LPSA%20C%20Langley))

Otto-Bliesner B. L., Marshall S., Overpeck J., Miller G., Hu A. and CAPE Last Interglacial Project Members (2006). Simulating Arctic climate warmth and icefield retreat in the last interglaciation // Science, 311. P. 1751—1753.

Overpeck J. T., Otto-Bliesner B. L., Miller G. H., Muhs D. R., Alley R. B., Kiehl J. T. (2006). Paleoclimatic evidence for future ice-sheet instability and rapid sea-level rise // Science, 311. P. 1747—1750.

Schneider S. H., Semenov S., Patwardhan A., Burton I., Magadza C. H. D., Oppenheimer M., Pittock A. B., Rahman A., Smith J. B., Suarez A., Yamin F. (2007). Assessing key vulnerabilities and the risk from climate change / In: Climate Change 2007: Impacts, adaptation and vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change / M. L. Parry, O. F. Canziani, J. P. Palutikof, P. J. van der Linden and C. E. Hanson, Eds. — Cambridge University Press, Cambridge, UK.

Schubert S. et al. (2007). Assimilating Earth system observations at NASA: MERRA and Beyond. — Global Modeling and Assimilation Office, NASA/GSFC, USA (<http://gmao.gsfc.nasa.gov/pubs/docs/Schubert352.pdf>)

Vinther B. M., Andersen K. K., Jones P. D., Briffa K. R., Cappelen J. (2006). Extending Greenland temperature records into the late eighteenth century // J. Geophys. Res., 111, D11105, doi:10.1029/2005JD006810.

**ЗАСУХА 2010 г. НА ФОНЕ МНОГОЛЕТНЕГО ИЗМЕНЕНИЯ  
ЗАСУШЛИВОСТИ В ОСНОВНЫХ ЗЕРНОСЕЮЩИХ РАЙОНАХ  
ЕВРОПЕЙСКОЙ ЧАСТИ РОССИИ**

*А. В. Мещерская, В. М. Мирвис, М. П. Голод*

Главная геофизическая обсерватория им. А. И. Воейкова  
194021 г. Санкт-Петербург, ул. Карбышева, д. 7  
E-mail: meschers@main.mgo.rssi.ru

Поступила в редакцию 7.04.2011

Летом 2010 г. на европейской части СНГ наблюдалась жесточайшая за последние 120 лет засуха, которая заслуживает особого внимания специалистов.

В настоящей статье засуха 2010 г. рассмотрена в нескольких аспектах. Во-первых, выполнена количественная оценка метеорологических условий. При этом были реализованы два варианта расчетов. Первый состоял в оценке засушливых условий за календарный период. Известно, что на европейской части СНГ урожайность зерновых определяется в основном метеорологическими условиями в мае—июне и мае—июле (Мещерская и др., 1978, 1981). Сравнение оценок метеорологических условий за строго календарный период с мая по июль 2010 г. с оценками метеорологических условий за тот же календарный период других лет позволило определить место засухи 2010 г. в многолетнем ряду засух. Второй вариант оценок метеорологических условий связан с реальным периодом развития засухи 2010 г., который не полностью совпадает с календарным периодом.

Особое внимание уделено анализу возможных причин формирования засухи 2010 г. В заключение приведены некоторые данные о социально-экономических последствиях крупнейшей засухи столетия.

## 1. Методические вопросы

Предложено много определений засух, в соответствии с которыми засуху можно характеризовать как длительный бездождный период, сопровождающийся высокой температурой воздуха, большими суммами солнечной радиации, низкой влажностью воздуха и почвы и повышенной испаряемостью. Более лаконичное определение засухи приведено в Российском гидрометеорологическом энциклопедическом словаре (2008): «Засуха — значительный по сравнению с нормой недостаток осадков в течение длительного времени весной и летом при повышенной температуре воздуха».

Критерии засух многообразны. Хорошо известен радиационный индекс М. И. Будыко (1955), коэффициент увлажнения Н. Н. Иванова (1941), а также основанные на разных принципах каталоги засух В. М. Обухова (1949), А. М. Алпатьева (1955), Н. И. Каменьковой (1964), А. С. Утешева (1972), О. А. Дроздова (1980), Ю. Л. Раунера (1982), Б. И. Сазонова (1991) и др.

Для расчета большинства индексов засушливости используются суммы осадков и температура воздуха как самые существенные метеорологические величины, от которых зависят засухи.

Наибольшее распространение получил индекс ГТК (гидротермический коэффициент Г. Т. Селянинова (1928)), реже используется индекс засушливости  $S$  (Педь, 1975). Оба индекса рассчитываются по данным о суммах осадков и температуре на станциях. В отличие от них в работах Мещерской, Блажевич (1977) и Мещерской и др. (1978, 1988) индексы  $S$  и ГТК рассчитываются по данным об осадках, осредненных по административным областям (104 области) и температуре воздуха на станциях, по одной на область (Ефремова, 1976; Леднева, Мещерская, 1977).

Опубликованные многолетние ряды данных о средних областных осадках ежегодно дополняются. Для этого до конца 90-х годов использовалась методика, представленная в перечисленных работах. Однако в последующие годы авторы перешли на использование средних областных осадков и средней областной температуры воздуха, которые рассчитываются в Гидрометцентре Рос-

сии под руководством М. Г. Найшуллера и Л. Н. Першиной. (Прежняя методика расчета средних областных осадков сохранена только для областей Омского и Уральского УГМС, а также для Республики Башкортостан.) Благодаря этому проблема с данными разрешилась, но при некотором нарушении однородности рядов. Можно полагать, что по температуре воздуха нарушение невелико, так как аномалии температуры воздуха на станциях близки к средним по областям аномалиям температуры.

Между средними областными индексами  $S$  и ГТК существует тесная временная корреляция: в среднем для 104 административных областей коэффициент корреляции  $r = -0,92$  (Мещерская и др., 1981). Однако по тесноте связей с аномалиями урожайности зерновых культур индекс  $S$  имеет некоторое преимущество по сравнению с ГТК, и в ряде административных областей это преимущество статистически значимо (под аномалиями урожайности понимается отклонение урожайности от квадратического тренда).

Индекс  $S$  в отличие от индекса ГТК — знакопеременная величина. Положительным значениям индекса  $S$  соответствуют засушливые метеорологические условия, отрицательным — влажные и холодные. Средние значения индекса  $S$  близки к нулю, а средние квадратические отклонения зависят от периода осреднения: на европейской части России (Мещерская, 1988) при осреднении средних областных индексов  $S$  за два месяца (май—июнь)  $\sigma_S = 1,2$  в избыточно влажной и достаточно влажной зонах и  $\sigma_S = 1,3$  в слабо засушливой, засушливой, очень засушливой и сухой зонах. При осреднении за три месяца (май—июль)  $\sigma_S = 1,0$  в избыточно влажной зоне и  $\sigma_S = 1,1$  во всех остальных зонах.

Значения  $S > \sigma_S$  можно принимать в качестве критерия засушливости.

В ряде задач полезно иметь индексы засушливости, осредненные по большим площадям, например по территории европейской части СНГ или азиатской части СНГ (имеются в виду Западная Сибирь и Северный Казахстан), либо же по федеральным округам в пределах основных зерносеющих районов.

В последнем случае индекс  $S$  рассчитывается с учетом площадей административных областей ( $P_i$ ) по формуле (Мещерская, Блажевич, 1990)

$$S = \frac{1}{l} \sum_{j=1}^l \sum_{i=1}^m \frac{P_i}{P} S_{ij}, \quad (1)$$

где  $l$  — число календарных месяцев,  $m$  — число административных областей,  $P$  — общая площадь рассматриваемой территории,  $i$  — номер области,  $j$  — номер месяца.

В работе Мещерской, Блажевич (1977), развитой впоследствии в работах Мещерской и др. (2000), Meshcherskaya, Blazhevich (1997), предложен еще один индекс ( $DM$ ), который также учитывает площадь распространения засушливых явлений. Индекс  $DM$  представляет собой разность площадей, соответствующих засушливым ( $D$  — drought) и увлажненным ( $M$  — moisture) условиям. Принято, что засушливые условия соответствуют следующему соотношению (условие 1): осадки  $Q < 80$  % многолетней нормы, аномалии температуры  $\Delta t > 1$  °С.

При увлажненных и прохладных условиях (условие 2)  $Q > 120$  % нормы,  $\Delta t < -1$  °С.

Для больших площадей  $D$  и  $M$  рассчитываются по формуле

$$D, M = \frac{1}{l} \sum_{j=1}^l \sum_{i=1}^m 100 \frac{P_i}{P} \delta_{i,j}, \quad (2)$$

где  $\delta_{ji} = 1$ , если в  $i$ -й области  $j$ -го месяца выполняется условие 1 (при подсчете индекса  $D$ ) либо условие 2 (при подсчете индекса  $M$ ), и  $\delta_{ji} = 0$ , если эти условия не выполняются.

Для индекса  $DM$  как разности  $D$  и  $M$  также необходимо определить критерий засушливости. С этой целью многолетний ряд индекса  $DM$  ранжировался по величине от наибольших значений к наименьшим. Годы, попавшие в первую треть ряда, можно считать засушливыми.

## 2. Анализ индексов засушливости по федеральным округам в мае—июле 2010 г.

Индексы засушливости  $S$  и  $DM$  рассчитывались с учетом площади за период с 1891 по 2010 г. для шести федеральных округов России: Центрального, Южного, Приволжского, Уральского, Сибирского и Северо-Западного.

На рис. 1 представлены ряды индекса  $S$  в перечисленных округах. За весь период ряды аппроксимировались параболой, а за последние 30 лет (с 1980 г.) — прямыми линиями. Повышение засушливости с середины XX века выявлено во всех шести округах, как и в последние 30 лет (кроме Сибирского федерального округа). Наиболее существенно засушливость возросла за 30 лет в Центральном федеральном округе, где коэффициент линейного тренда  $\beta$  близок к  $2\sigma$ , т. е. статистически значим на 5 %-ном уровне.

Матрица взаимной корреляции между 120-летними рядами индекса  $S$  в шести федеральных округах (табл. 1) показывает, что наиболее коррелированы индексы засушливости в Центральном и Северо-Западном округах ( $r = 0,72$ ), а также в Центральном и Приволжском округах ( $r = 0,68$ ). Положительная, но более слабая корреляция ( $r = 0,42$ ) установлена между индексами засуш-

Таблица 1

Матрица взаимной корреляции ( $r$ ) между индексами засушливости  $S$  в шести федеральных округах за 1891—2010 гг.

Округ	Централь- ный	Южный	Приволж- ский	Уральский	Сибирский	Северо- Западный
Централь- ный	1,0	0,52	0,68	0,11	-0,22	0,72
Южный		1,0	0,49	0,24	-0,07	0,14
Приволж- ский			1,0	0,60	-0,08	0,38
Уральский				1,0	0,42	-0,02
Сибирский					1,0	-0,15
Северо- Западный						1,0

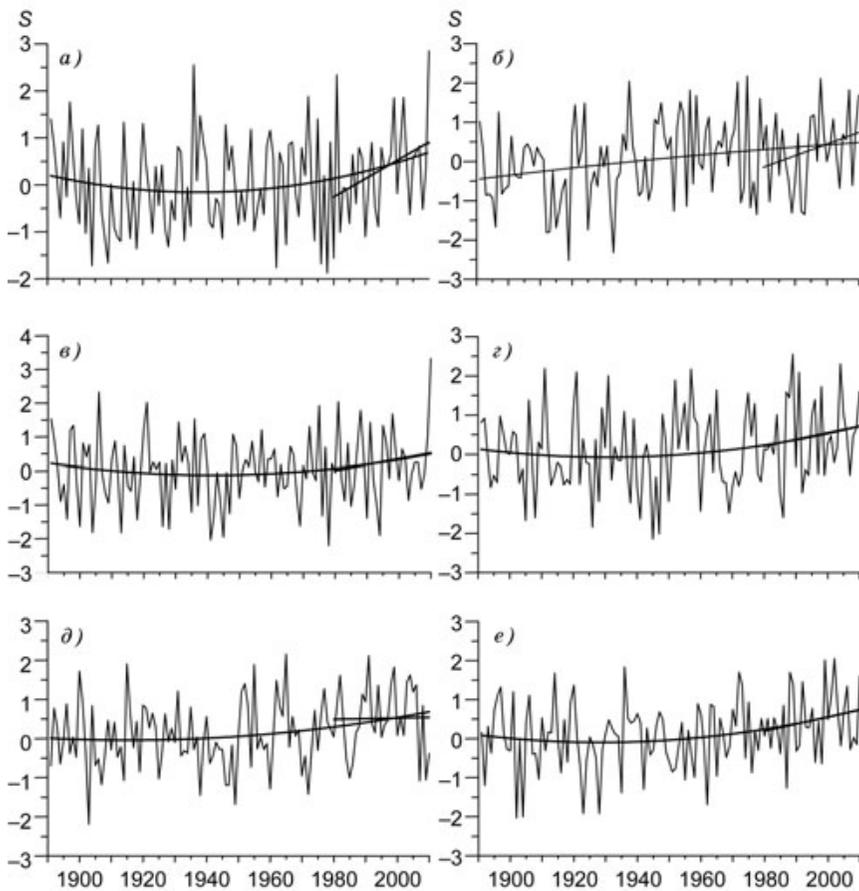


Рис. 1. Временные ряды индекса засушливости  $S$  за май—июль в основных зерносеющих районах России за 1891—2010 гг. и их параболические тренды за 1891—2010 гг. и линейные тренды за 1980—2010 гг. по федеральным округам.

$a$  — Центральный федеральный округ,  $b$  — Южный,  $v$  — Приволжский,  $g$  — Уральский,  $d$  — Сибирский,  $e$  — Северо-Западный.

ливости ( $S$ ) Сибирского и Уральского округов. Среди остальных округов выделяется Сибирский федеральный округ, индекс засушливости которого практически не связан с рядами индекса  $S$  в большинстве других округов (имеют место небольшие отрицательные значения  $r$ ).

Таблица 2 характеризует корреляционные связи рядов  $DM$ ,  $S$ ,  $Q$  (осадки) и  $\Delta t$  (аномалии температуры воздуха). Между индексами  $DM$  и  $S$  корреляция очень тесная ( $r = 0,92\dots 0,96$ ), несмотря на то что индекс  $DM$  в большей мере характеризует площадь территории с засушливыми условиями, а индекс  $S$  — их интенсивность. Очевидно, что чем большую площадь охватывают засушливые условия, тем больше их интенсивность.

Еще один вывод, следующий из табл. 2, заключается в том, что индексы засушливости несколько теснее связаны с аномалиями температуры, чем с аномалиями осадков, при очень высоких значениях  $r$  в обоих случаях. Например, для Центрального округа коэффициент корреляции  $r$  между рядами индекса  $S$  и аномалиями температуры воздуха равен  $0,92$ , а между рядами индекса  $S$  и осадков  $r = -0,85$ .

Теперь перейдем к рассмотрению непосредственно засухи 2010 г. В табл. 3 для каждого федерального округа приведено по пять наиболее засушливых лет, выбранных из рядов индексов  $S_{V-VII}$  за период с 1891 по 2010 г. Из этой таблицы, а также из рис. 1 видно, что в 2010 г. экстремальные значения индекса  $S$  выявились в двух округах — Приволжском и Центральном. В этих округах засух такой высокой интенсивности не наблюдалось за весь период с 1891 г. В Приволжском округе максимально интенсивная засуха 2010 г. ( $S = 3,3$ ) сопровождалась максимальной площадью ее распространения (86,9 % общей площади округа). В Центральном округе в 2010 г. при наибольшем значении  $S = 2,9$  площадь распространения засухи (56,7 %) оказалась меньше, чем во время крайне засушливого 1981 г., когда площадь распространения составила 74,6 % (наибольшей с 1891 г.).

Таблица 2

Матрицы взаимной корреляции ( $r$ ) между индексами засушливости  $DM$  и  $S$ , средним количеством осадков  $Q$  (мм) и аномалиями средней месячной температуры воздуха  $\Delta t$  за май—июль 1891—2010 гг. для шести федеральных округов

	$DM$	$S$	$Q$	$\Delta t$	$DM$	$S$	$Q$	$\Delta t$	$DM$	$S$	$Q$	$\Delta t$
	<i>Центральный</i>				<i>Южный</i>				<i>Приволжский</i>			
$DM$	1,0	0,96	-0,80	0,90	1,0	0,95	-0,73	0,87	1,0	0,97	-0,85	0,90
$S$		1,0	-0,85	0,92		1,0	-0,81	0,89		1,0	-0,89	0,92
$Q$			1,0	-0,59			1,0	-0,46			1,0	-0,64
$\Delta t$				1,0				1,0				1,0
	<i>Уральский</i>				<i>Сибирский</i>				<i>Северо-Западный</i>			
$DM$	1,0	0,94	-0,75	0,85	1,0	0,92	-0,71	0,81	1,0	0,92	-0,67	0,81
$S$		1,0	-0,81	0,89		1,0	-0,76	0,88		1,0	-0,75	0,87
$Q$			1,0	-0,47			1,0	-0,38			1,0	-0,35
$\Delta t$				1,0				1,0				1,0

## Крупнейшие летние (май—июль) засухи в федеральных округах России за период с 1891 по 2010 г.

Год	S	S/ $\sigma_S$	P %	Год	S	S/ $\sigma_S$	P %	Год	S	S/ $\sigma_S$	P %
<i>Центральный, <math>\sigma_S = 1,1</math></i>											
2010	2,9	2,6	56,7	1998	2,1	2,2	69,1	2010	3,3	3,3	86,9
1936	2,6	2,4	68,6	1972	2,0	2,1	57,2	1906	2,3	2,3	67,3
1981	2,3	2,2	74,6	2007	1,8	1,8	61,4	1981	2,0	2,0	62,8
1972	1,9	1,7	53,5	1957	1,8	1,8	59,9	1975	1,9	1,9	62,6
1920	1,3	1,2	52,3	1897	1,3	1,3	51,3	1891	1,5	1,5	53,5
<i>Уральский, <math>\sigma_S = 1,0</math></i>											
1957	2,2	2,2	66,7	1991	2,1	2,6	74,1	1999	2,0	2,4	57,2
1911	2,2	2,2	59,6	1965	2,1	2,7	61,2	2002	2,0	2,4	52,4
1931	2,0	2,0	66,7	1955	1,9	2,4	63,1	1972	1,7	2,1	44,8
1952	1,9	1,9	74,7	1999	1,8	2,3	61,8	1920	1,4	1,7	50,5
1965	1,6	1,6	72,8	1962	1,5	1,9	51,6	1989	1,4	1,7	41,9
<i>Сибирский, <math>\sigma_S = 0,8</math></i>											
<i>Северо-Западный, <math>\sigma_S = 0,8</math></i>											

*Приволжский,  $\sigma_S = 1,0$* *Южный,  $\sigma_S = 0,9$* *Сибирский,  $\sigma_S = 0,8$* *Уральский,  $\sigma_S = 1,0$* *Северо-Западный,  $\sigma_S = 0,8$*

### 3. Анализ индексов засушливости в мае—июле 2010 г. по административным областям

На рис. 2 представлено пространственное распределение индекса засушливости  $S$  по 64 административным областям на территории России. Индексы  $S_{V-VII}$  условно разделены на пять градаций. Как уже отмечалось, средние квадратические отклонения  $\sigma_S$  преимущественно равны 1,0—1,1. Для некоторых федеральных округов  $\sigma_S$  уменьшается до 0,8—0,9 (табл. 3). В мае—июле 2010 г. на всей европейской части России  $S > \sigma_S$ , т. е. засушливые условия наблюдались везде при разной их интенсивности (в Западной Сибири значения индекса  $S$  слабо отрицательные, близкие к средним многолетним, т. е. достаточно благоприятные для сельскохозяйственного производства).

На рис. 2 четко выделяется центр засухи, когда (условно)  $4 > S > 3$ . В трех областях (Пензенской, Республике Мордовия и в Чувашской Республике  $S \geq 4$ ). В области центра засухи оказались также Тамбовская, Рязанская, Самарская, Саратовская области, Республика Татарстан, Республика Марий Эл и др., всего 19 областей. К западу, северу и югу от центра засухи засушливость уменьшается, а к востоку сохраняется вплоть до Урала.

Московская область ( $S = 2,7$ ) и Калужская область ( $S = 3,0$ ) не вошли в центр засухи, согласно принятому критерию ( $S > 3$ ), но близки к нему.

Отношение  $S/\sigma_S$  равно 2,2 в Московской области и 3,0 в Калужской. За 120 лет вероятность засухи такой интенсивности составила 0,7 и 0,3 % соответственно. При этом в наиболее засушливой Пензенской области вероятность засухи приведенной интенсивности составляет всего 0,006 %.

Более детально метеорологические условия лета 2010 г. можно проанализировать с помощью табл. 4, в которой приведены месячные и сезонные суммы осадков в долях (%) от норм за 1961—1990 гг. \*, а также месячные и сезонные аномалии темпе-

---

\* Сезонная (май—июль) норма осадков рассчитывалась как среднее многолетнее значение сумм осадков (мм) за три месяца за 1961—1990 гг.

ратуры воздуха, осредненные по каждой из 19 административных областей, расположенных в центре засухи. В среднем за три месяца в некоторых административных областях выпало менее 30 % сезонной нормы осадков (Самарская, Пензенская, Саратовская области, Республика Татарстан, Чувашская Республика). В июле в Пензенской и Самарской областях выпало по 8 % месячной нормы осадков, а в Республике Мордовия осадков не было вообще.

По температурным условиям наиболее жарким был июль: в Орловской, Пензенской и Тамбовской областях аномалия температуры воздуха составила 7,5 °С, в Московской области 7,8 °С, а в среднем за три месяца температура воздуха в некоторых областях на 5 °С превысила норму (1961—1990 гг.).

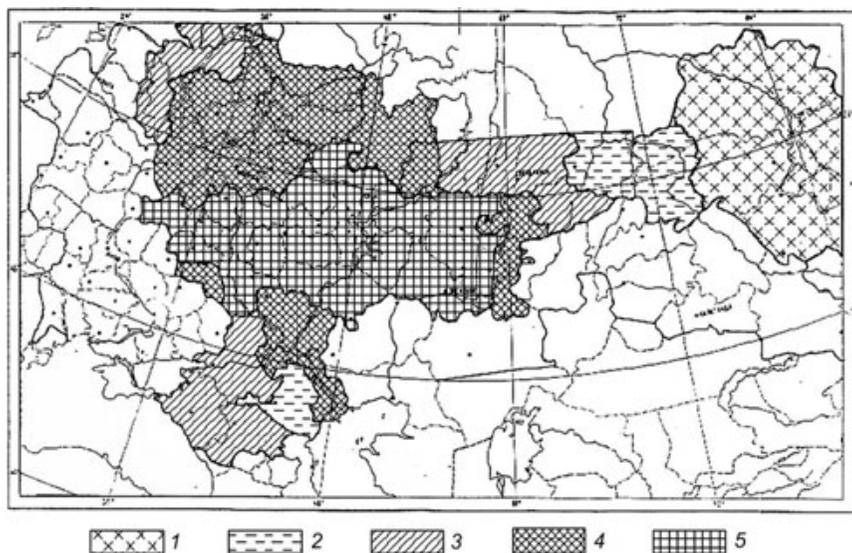


Рис. 2. Географическое распределение индексов засушливости  $S$  по административным областям в основной зерносеющей зоне России в мае—июле 2010 г.

1)  $S \leq 0$ , 2)  $1 \geq S > 0$ , 3)  $2 \geq S > 1$ , 4)  $3 \geq S > 2$ , 5)  $4 \geq S > 3$ .

Таблица 4

**Средние по областям суммы осадков в долях (%) от норм за  
1961—1990 гг. и аномалии температуры воздуха в центре засухи  
летом 2010 г.**

Область	Осадки, %				Аномалии температуры			
	V	VI	VII	V—VII	V	VI	VII	V—VII
Брянская	83	62	74	72	3,2	3,6	6,3	4,4
Воронежская	102	29	36	51	2,4	4,2	6,1	4,2
Ивановская	128	121	55	95	4,5	2,2	6,4	4,4
Калужская *	120	76	42	74	3,7	3,0	6,5	4,4
Курская	80	47	46	55	3,3	4,5	7,3	5,0
Липецкая	77	20	58	50	3,0	3,7	6,8	4,5
Московская *	125	94	24	72	3,6	2,2	7,8	4,5
Республика Марий Эл	38	65	5	34	4,4	3,3	6,2	4,6
Оренбургская	20	18	51	31	2,7	4,5	4,2	3,8
Орловская	119	41	38	60	3,3	4,2	7,5	5,0
Пензенская	60	6	8	21	3,6	4,2	7,5	5,1
Республика Башкортостан	51	18	25	28	3,1	3,5	3,3	3,3
Республика Мордовия	105	21	0	32	3,3	3,7	6,8	4,6
Республика Татарстан	51	11	17	21	3,7	4,0	5,7	4,5
Рязанская	76	65	10	44	3,8	3,2	7,4	4,8
Самарская	58	8	8	18	3,1	4,7	6,3	4,7
Саратовская	65	8	23	29	2,5	5	6,4	4,6
Тамбовская	73	25	27	37	3,1	4,3	7,5	5,0
Чувашская Республика	82	20	2	26	3,8	4	6,8	4,9

*Примечания:* 1. Данные этой таблицы предоставлены Гидрометцентром РФ.  
2. Звездочкой обозначены области, в которых  $2 < S_{V-VII} \leq 3$ .

#### 4. Анализ температурных условий в июне—августе 2010 г. по данным отдельных станций

По рядам средней суточной температуры воздуха в Москве и Курске рассмотрена динамика развития засухи летом 2010 г. (рис. 3). На рис. 3 по оси абсцисс приведены порядковые номера

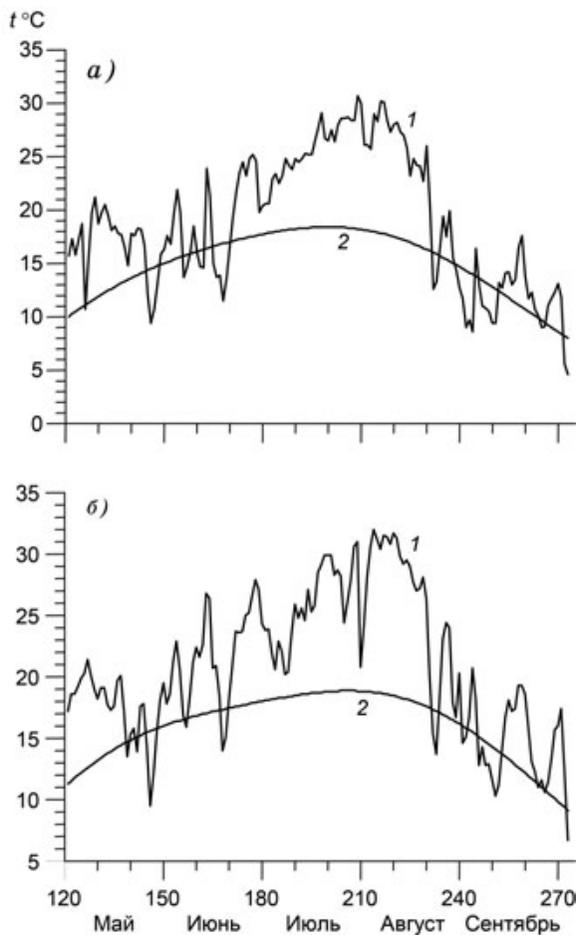


Рис. 3. Средние суточные температуры воздуха за период с 1 мая по 30 сентября 2010 г. (1) и сглаженные нормы средней суточной температуры воздуха (2) в Москве (а) и Курске (б).

По оси абсцисс отложен порядковый номер дня года с 1 мая по 30 сентября (начало отсчета 1 января).

дней за период с мая по сентябрь (начало отсчета 1 января 2010 г.), а по оси ординат — значения средней суточной температуры воздуха. Сглаженные нормы за 1961—1990 гг. получены с использованием первых четырех гармоник разложения в ряды Фурье средней суточной температуры воздуха.

Из рисунка видно, что резкое повышение средней суточной температуры воздуха на обеих станциях началось в третьей декаде июня. Очень высокие температуры воздуха сохранялись до третьей декады августа, так что засуха продолжалась около восьми недель. Период максимального развития засухи пришелся на конец июля — начало августа. В Москве наибольшие отклонения средней суточной температуры воздуха от сглаженной кривой (12 °С) наблюдалось 29 июля, а в Курске (13 °С) — 2 августа.

Аномалии средней месячной температуры воздуха на отдельных станциях приведены в табл. 5. Аномалии средней месячной температуры воздуха в отклонениях от норм за 1961—1990 гг. в летние месяцы на станциях достаточно близки к аномалиям средней месячной температуры в среднем по областям (табл. 4).

Таблица 5

**Средние месячные аномалии ( $\Delta t$ ) и абсолютные максимальные температуры воздуха ( $t_{\text{абс. макс}}$ ) на станциях в центре засухи 2010 г.**

Станция	$\Delta t$ °С				$t_{\text{абс. макс}}$ °С			
	V	VI	VII	VIII	V	VI	VII	VIII
Курск	3,3	4,5	7,4	7,3	27,1	35,9	37,2	38,8
Козьмодемьянск	4,2	3,7	6,7	4,9	27,0	36,4	36,9	38,3
Безенчук	2,8	4,4	6,0	6,1	31,6	38,8	41,0	42,5
Саратов	1,8	3,7	4,9	5,3	30,0	36,5	39,6	40,5
Тамбов	3,2	4,1	7,5	6,6	30,4	38,8	41,1	41,1
Казань	4,1	4,0	6,5	5,5	29,3	35,6	38,9	39,0
Тула	3,8	3,1	7,3	5,7	29,0	35,0	39,0	39,2
Орел	3,5	4,2	7,5	6,7	27,9	35,4	38,7	39,5
Пенза	3,6	4,5	7,4	6,1	30,6	37,4	40,0	41,0
Рязань	4,1	3,1	7,3	6,0	29,3	35,7	38,9	39,5
Порецкое	3,7	3,8	6,8	5,4	30,2	37,4	40,0	40,4
Москва, ВДНХ	3,6	2,1	7,9	5,2	27,5	33,6	38,2	37,3

В табл. 5 наибольший интерес представляют абсолютные максимумы температуры воздуха, которые летом 2010 г. в центре засухи почти по всем станциям превзошли абсолютные максимумы предыдущих лет начиная с 1891 г. (Метеорологические ежемесячники, 2010). Экстремально большие значения абсолютного максимума достигнуты в августе в Пензе (41,0 °С), Орле и Рязани (39,5 °С), в Курске (38,8 °С), а также в июле 2010 г. в Москве, ВДНХ (38,2 °С) и Саратове (41,1 °С).

### 5. Засуха 2010 г. на фоне засух других лет

В статьях Мещерской и др. (2000), Meshcherskaya, Blazhevich (1997) представлены многолетние ряды индексов засушливости  $DM$  в мае—июле для европейской и азиатской части СНГ за период с 1891 г. Продолжение этих рядов до 2010 г. включительно приведено в приложении.

О ранге (порядковом номере) засухи 2010 г. на европейской части СНГ за 120 лет можно судить по ранжированным рядам индексов  $DM$  (см. формулу (3)). На рис. 4 приведены первая (справа) и последняя (слева) треть ряда индекса  $DM$ . Первая соответствует преобладанию площади с засушливыми условиями, третья — преобладанию площади с влажными и холодными метеорологическими условиями. Как следует из первой трети ряда и таблицы приложения, засуха 2010 г. охватила 52 % европейской части СНГ в пределах основных зерносеющих районов. На втором месте оказалась засуха 1981 г. ( $DM = 51$  %,  $D = 53$  %), на третьем — засуха 1936 г. ( $DM = 50$  %,  $D = 51$  %), на четвертом — засуха 1975 г. ( $D = 49$  %). Следует заметить, что площади с засушливыми условиями в мае—июле во всех перечисленных четырех годах близки. Засуха 1972 г. по площади распространения ( $D = 43$  %) занимает только шестое место. При этом центр засухи был смещен на северо-запад.

Самыми влажными и холодными в мае—июле на европейской части СНГ были 1978, 1913 и 1974 гг., для которых индекс  $DM$  равен  $-59$ ,  $-46$  и  $-35$  % соответственно.

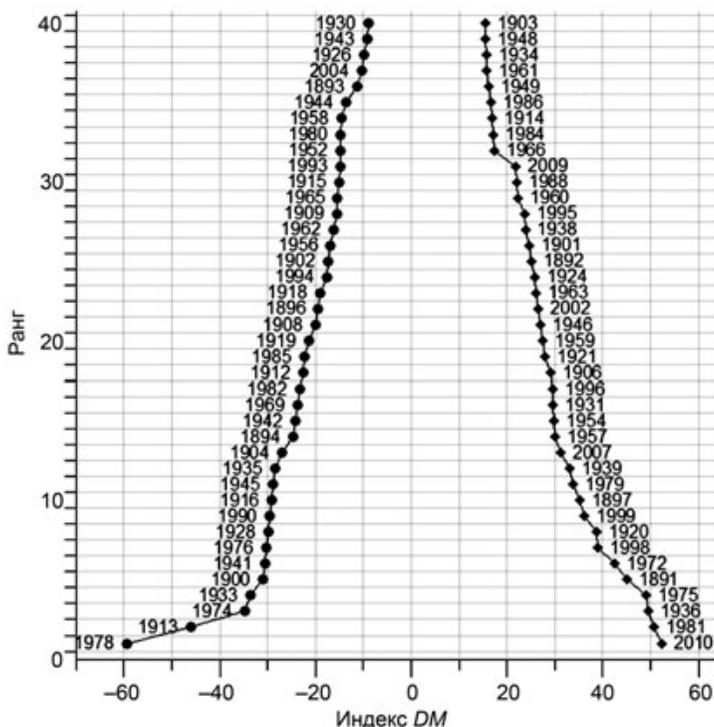
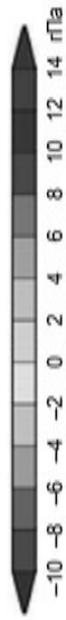
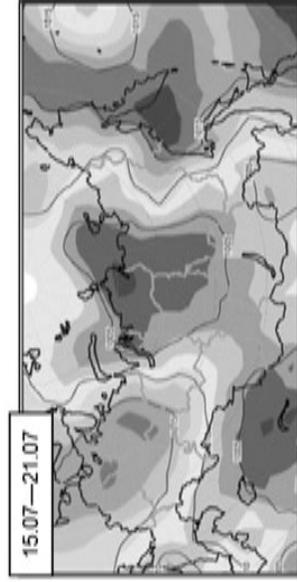
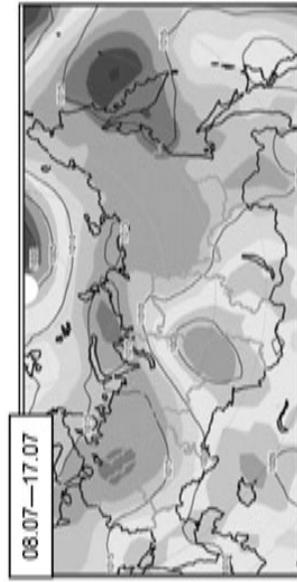
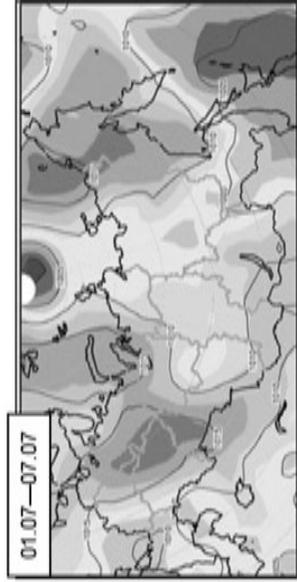
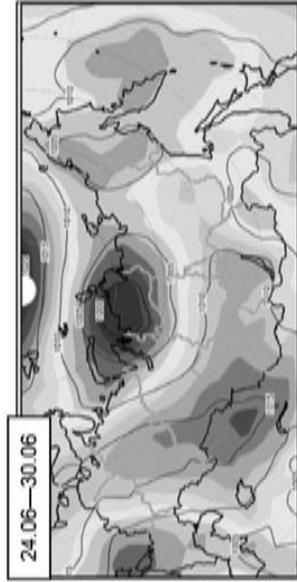


Рис. 4. Ранжированные ряды площади (индекс  $DM$ ) с засушливыми условиями (справа) и переувлажнением (слева) в основных зерносеющих районах европейской части СНГ за период 1891—2010 гг. (приведены первая и третья части рядов).

## 6. О причинах формирования засухи 2010 г.

Непосредственной причиной засухи 2010 г., как и других крупных засух, является формирование над европейской частью СНГ стационарного антициклона, который заблокировал эту территорию от атлантических циклонов и создал условия для аномально жаркого и сухого лета (Бережная и др., 2010а).

На рис. 5 приведена серия из восьми карт приземного давления и аномалий давления недельного осреднения на территории



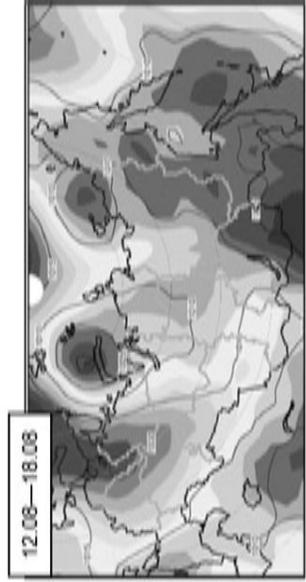
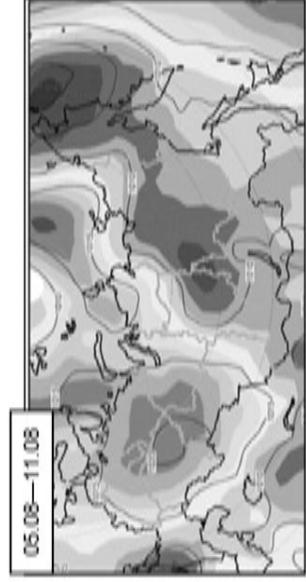
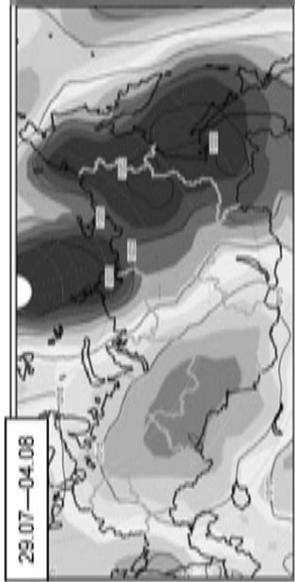
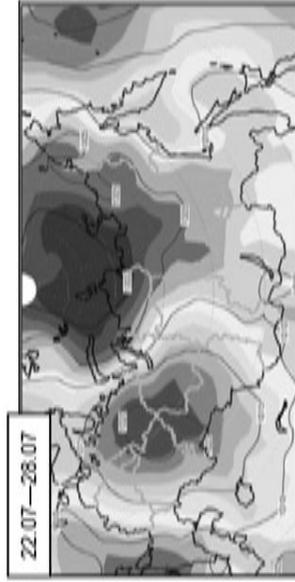


Рис. 5. Динамика полей приземного давления (изобары, гПа) недельного осреднения и аномалии приземного давления (показаны тоном) за период развития засухи 2010 г. (24 июня—18 августа) на территории России.

России и прилегающих районов Украины, Белоруссии и Северного Казахстана. Анализ этих карт показывает, что стационарный антициклон, сформировавшийся в конце июня (см. рис. 5), сохранялся до середины августа с аномалиями давления в центре до 6 гПа. Одновременно над Арктикой, включая Карское море и море Лаптевых, образовался глубокий околполярный циклон с отрицательными аномалиями приземного давления (обычно в июле здесь формируется околполярный антициклон). Поле приземного давления (см. рис. 5) развивалось на фоне очень интенсивного азорского максимума и глубокого исландского минимума.

Большие аномалии давления прослеживаются и в средней тропосфере (Бережная и др., 2010б). Самым необычным в осредненном поле  $H_{500}$  было наличие обширных областей с положительными аномалиями (до 17 дам), которые располагались над европейской частью России. Однако в верхней стратосфере (изобарическая поверхность 10 гПа) в июле интенсивность околполярного антициклона в течение всего месяца была ниже средних многолетних значений.

В поле стационарного антициклона над европейской частью СНГ летом 2010 г. сформировались положительные аномалии температуры воздуха. Динамика средних недельных полей приземного давления совпадает с динамикой средних за неделю полей температуры (рис. 6). Как поля давления, так и поля температуры воздуха в районе засухи характеризовались очагами положительных аномалий с замкнутыми изолиниями.

Аномальные барические условия на европейской части СНГ подтверждаются также некоторыми известными атмосферными индексами.

По оценкам Л. Ю. Рыжакова (АНИИ), на основании классификации Вангенгейма установлено, что в июле 2010 г. в Атлантико-Европейском секторе Северного полушария преобладала восточная форма циркуляции (24 дня из 31). Отклонение от нормы (за 1900—1990 гг.) повторяемости этой формы циркуляции составило 14 дней.

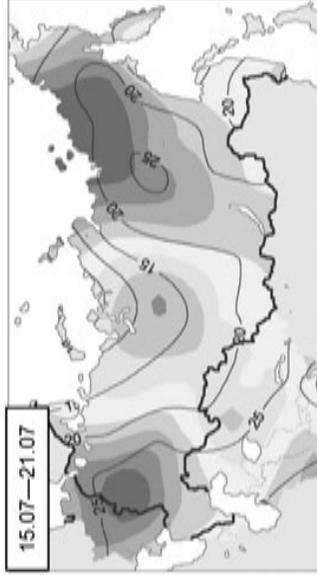
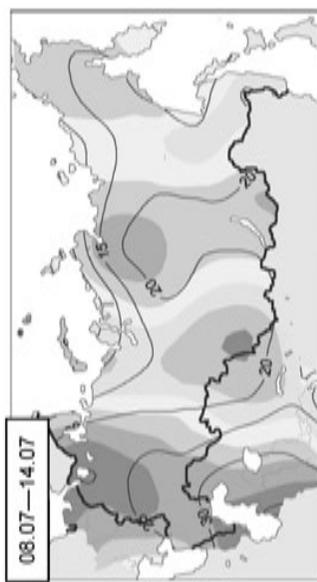
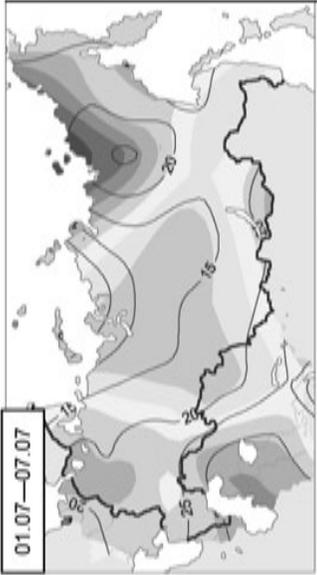
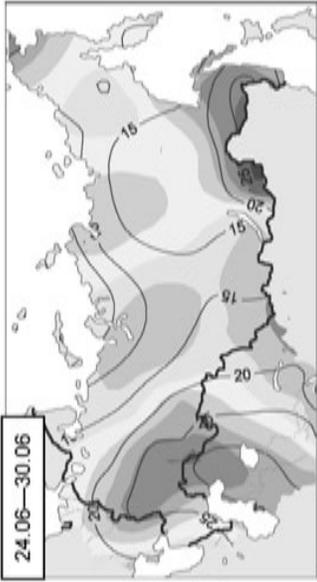
Согласно циркуляционным индексам Л. А. Вительса, рассчитанным за 110 лет для восьми районов Атлантико-Европейского

сектора, июль 2010 г. был крайне аномальным в 4-м районе, охватывающем обширную территорию на севере Европы — от Скандинавии до Урала. Здесь в июле было зафиксировано 23 дня с антициклонической циркуляцией, т. е. почти вдвое больше многолетней (за 1901—1995 гг.) нормы, составляющей 12,8 дня [9].

На юге европейской части России (7-й район по Л. А. Вителюсу) отмечен 21 день с антициклонической циркуляцией в июле и 25 дней в августе (при средней многолетней норме 17,1 и 19,8 дней), т. е. аномалии составляют лишь 3,9 и 5,2 дня. Это означает, что преобладание антициклонической циркуляции сильнее проявилось на севере Европы, чем на юге европейской части России.

Особый интерес представляет работа И. И. Мохова (2006), который предложил новую ( $P_{\Sigma}$ ) характеристику барических образований — *действие (активность) атмосферных блокингов*. Она позволяет оценить суммарный энергетический эффект блокирующих образований. Новая характеристика рассчитывается как произведение интенсивности барического образования (через градиент давления между центром и периферией атмосферного вихря), его размеров и времени жизни.

Анализ рядов  $P_{\Sigma}$  позволил сделать ряд практически важных выводов: активность атмосферных блокингов наиболее выражена в Атлантическом секторе Северного полушария; действие блокингов сильнее проявляется зимой (январь—март). Один из выводов касается действия атмосферных блокингов в периоды Ла-Нинья и Эль-Ниньо. Оказалось, что активность атмосферного блокирования над океаном (Атлантический сектор, Тихоокеанский сектор) больше в период Ла-Нинья, а над континентами — в период Эль-Ниньо. Отметим, что многолетний период преобладания Эль-Ниньо с апреля 2010 г. сменился на период преобладания Ла-Нинья. Это может привести к существенным изменениям океанических и атмосферных процессов. Наконец, расчеты  $P_{\Sigma}$  при удвоении концентрации  $\text{CO}_2$  показали, что в этом случае активность атмосферного блокирования резко возрастет над континентами весной и зимой.



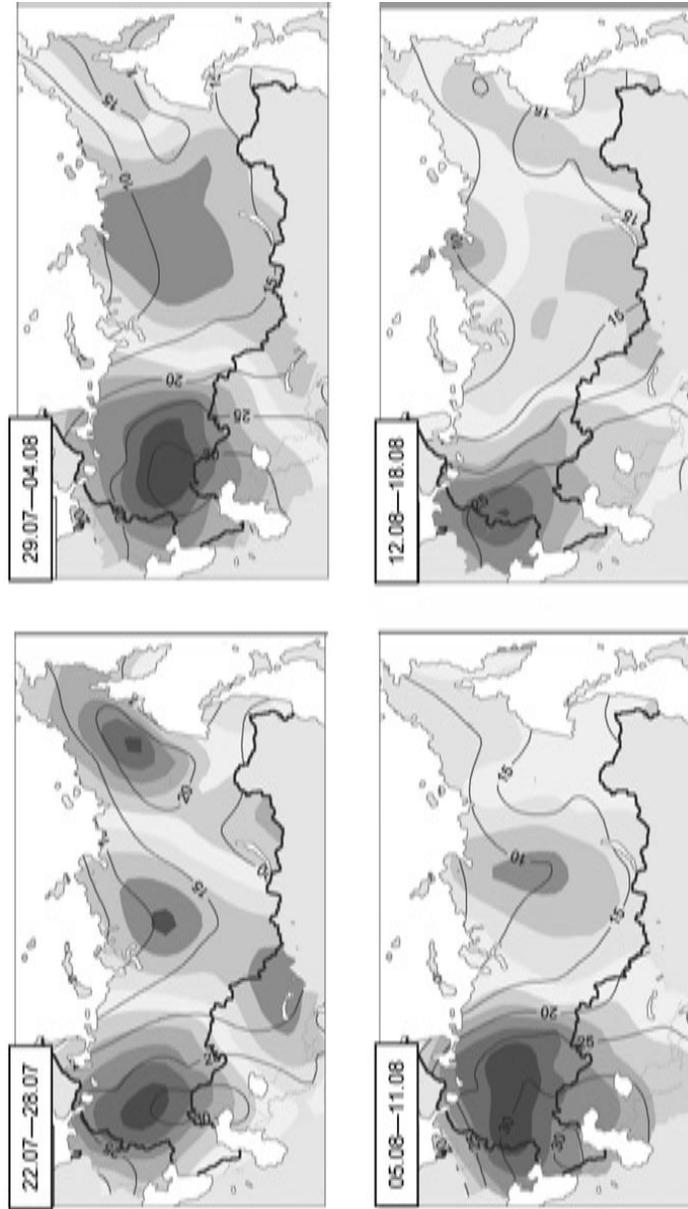


Рис. 6. Динамика полей температуры воздуха (изотермы, °С) недельного осреднения и аномалии температуры воздуха (показаны тоном) за период развития засухи 2010 г. (24 июня—18 августа) на территории России.

Существуют и другие версии причин формирования засухи 2010 г., в том числе экзотические, появившиеся в средствах массовой информации (АиФ, 2010, № 36). Одна из них — «разлив нефти в Мексиканском заливе, в результате которого образовалась нефтяная пленка, вызвавшая резкое потепление, передавшееся в верхние слои атмосферы».

Что касается влияния нефтяных пленок на температуру атмосферы, то оно тщательно оценивалось в 80-х годах прошлого столетия в ряде отечественных работ (Дубов и др., 1980; Шехтер и др., 1980; Балуев и др., 1986). Было показано, что нефтяные пленки поглощают основную долю коротковолновой радиации и уменьшают испарение с поверхности океана (примерно на 10 %). За счет этого поверхность океана нагревается, но незначительно по сравнению с перепадом температуры в приповерхностном слое. Изменение теплового баланса в этом случае приводит к притоку тепла к океану, а не в атмосферу. Это происходит вследствие уменьшения турбулентности воздуха, так как уменьшается шероховатость покрытой пленкой поверхности океана. Численные эксперименты с пленками большого пространственного распространения (Северная Атлантика) подтвердили полученные выводы о понижении (а не повышении) температуры воздуха в тропосфере под влиянием нефтяных пленок (Дубов и др., 1980).

Таким образом, предположение о существенной роли разлива нефти в Мексиканском заливе (повышение температуры в тропосфере) в формировании засушливого лета на европейской части СНГ несостоятельно.

В недавно опубликованной работе Randall Dole et al. (2011) по модельным и наблюдаемым данным анализируется роль температуры поверхности океана, ледовитости морских льдов и парниковых газов в формировании засухи 2010 г. на европейской части СНГ. Сделано заключение, что летняя засуха 2010 г. является продуктом естественной климатической изменчивости.

И последнее замечание, касающееся причин засухи 2010 г. Заслуживает внимания общее потепление климата с середины 70-х годов прошлого столетия, при котором увеличилась повто-

ряемость крупных природных аномалий. Однако это лишь общая тенденция, которую вряд ли можно связать с конкретной экстремальной засухой 2010 г.

## **7. Социально-экономические последствия засухи 2010 г.**

Негативные последствия засухи 2010 г. велики, и прежде всего это людские потери. Погибло в огне 53 человека (АиФ, 2010, № 32, 34). Осталось без крова 3,5 тыс. человек. Полностью или частично уничтожено 127 населенных пунктов.

На самом деле жертв было значительно больше. Согласно данным Минздравразвития, смертность в России возросла в июле 2010 г. по сравнению с июлем 2009 г. на 8,6 %, а в Москве — на 50,7 % (АиФ, 2010, № 35). Аналогичная ситуация сложилась и во многих других областях европейской части СНГ.

Причины заключаются в крайне высокой температуре воздуха, лесных пожарах, охвативших огромные площади, повышенной концентрации продуктов горения и других вредных примесей, прежде всего связанных с выбросами автотранспорта (окись углерода). В условиях малой скорости ветра при антициклоническом характере погоды этому способствует медленное рассеяние примесей. Во второй пентаде августа задымление в центре засухи было столь сильным, что распространилось на Северо-Запад. По данным наблюдений в Санкт-Петербурге (ГГО), концентрация мелкодисперсной пыли в эти дни (8 августа) возросла более чем в 10 раз.

По предварительным данным Росстата, в 2010 г. валовой сбор зерновых и зернобобовых культур в Российской Федерации составил 60,9 млн тонн, что на 36,2 млн тонн (37,3 %) меньше урожая предыдущего года. Яровой и озимой пшеницы собрано в 2010 г. 41,5 млн тонн (67,3 %) против 61,7 млн тонн в 2009 г.

## **Заключение**

Для нужд страны чрезвычайно важным был бы заблаговременный прогноз засух. Такие попытки предпринимались неоднократно многими авторами. О. А. Дрозов (1980), используя опуб-

ликованные каталоги засух А. М. Алпатьева, Н. Г. Каменьковой, А. В. Мещерской, Ю. А. Раунера, В. М. Обухова, Г. Т. Селянинова и др., рассчитал вероятность появления засухи через определенное число лет по сравнению со случайной. Результаты расчетов по каталогам разных авторов существенно различаются, но есть и общие черты. На европейской части СНГ оценки повторяемости засухи на следующий год после предыдущего имеют вероятность, преимущественно близкую к случайной либо даже меньше ее. Вероятность засухи выше случайной оказалась через 5—6 лет и до 10 лет. Через удвоенный интервал времени вероятность засухи вновь увеличивается, что является косвенным подтверждением цикличности засух.

Прогноз засух на основе цикличности не дает устойчивых результатов. Тем не менее Б. И. Сазонов (1981), складывая наиболее устойчивые лунно-планетарные циклы, дал успешный прогноз засухи 1981 и 1987 гг. с заблаговременностью в несколько лет. К сожалению, надежного метода прогноза засух пока не разработано.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

*Алпатьев А. М.* (1955). О показателе засухи // Метеорология и гидрология. № 4. С. 21—24.

*Балуев С. А., Голубев В. С., Егоров Б. Н., Малевский-Малевич С. П.* (1986). Влияние поверхностных пленок нефтепродуктов на испарение с водной поверхности // Труды ГГО. Вып. 504. С. 109—118.

*Бережная Т. В., Голубев А. Д., Найшуллер М. Г.* (2010а). Аномальные гидрометеорологические явления на территории Российской Федерации в июле 2010 г. // Метеорология и гидрология. № 10. С. 107—118.

*Бережная Т. В., Голубев А. Д., Найшуллер М. Г.* (2010б). Аномальные гидрометеорологические явления на территории Российской Федерации в августе 2010 г. // Метеорология и гидрология. № 11. С. 104—114.

*Будыко М. И.* (1955). Климатические условия увлажнения на материках // Изв. АН СССР. Сер. геогр. № 2, 4. С. 5—15; 3—15.

*Вительс Л. А.* (1965). Характеристики барико-циркуляционного режима Европейского синоптического района 1900—1964 гг. — Л.: Гидрометеиздат. 120 с.

*Ефремова Н. И.* (1976). Месячные количества атмосферных осадков, средние для районов Европейской территории СССР и Северного Казахстана. — Л.: Гидрометеиздат. 112 с.

*Дроздов О. А.* (1980). Засухи и динамика увлажнения. — Л.: Гидрометеиздат, 1980. 93 с.

*Дубов А. С., Мелешко В. П., Шнееров Б. Е.* (1980). Влияние крупномасштабных загрязнений нефтяной пленкой на глобальный метеорологический режим // Труды ГГО. Вып. 444. С. 3—9.

*Иванов Н. Н.* (1941). Зоны увлажнения земного шара // Изв. АН СССР. Сер. географ. и геофиз. № 3. С. 261—288.

*Каменькова Н. И.* (1964). К вопросу об изучении весенне-летних засух на Европейской территории СССР // Труды ГГО. Вып. 164. С. 43—54.

*Леднева К. В., Мещерская А. В.* (1977). Многолетние ряды месячным сумм осадков, осредненных по площади, для основных сельскохозяйственных районов СССР (ежегодные данные). — Л.: Гидрометеиздат. 158 с.

Метеорологические ежемесячники. Ч. I (2010).

*Мещерская А. В., Блажевич В. Г.* (1977). КATALOGИ аномалий осадков и температуры для основных сельскохозяйственных районов юга ЕТС, Северного Казахстана и Западной Сибири // Метеорология и гидрология. № 9. С. 76—84.

*Мещерская А. В., Блажевич В. Г.* (1978). КATALOGИ площадей комплекса осадки — температура для основных сельскохозяйственных районов юга ЕТС, Северного Казахстана и Западной Сибири // Труды ГГО. Вып. 400. С. 113—133.

*Мещерская А. В., Блажевич В. Г., Житорчук Ю. В.* (1978). Гидротермический коэффициент и его связь с урожайностью сельскохозяйственных культур // Труды ГГО. Вып. 400. С. 134—149.

*Мещерская А. В., Блажевич В. Г., Белянкина И. Г.* (1981). Сравнение двух показателей тепло- и влагообеспеченности сельскохозяйственных культур // Труды ГГО. Вып. 446. С. 68—77.

*Мещерская А. В.* (1988). О показателе засухи и урожайности зерновых культур // Метеорология и гидрология. № 2. С. 91—98.

*Мещерская А. В., Блажевич В. Г.* (1990). КATALOGИ температурно-влажностных характеристик с учетом площади распространения по экономическим районам основной зернопроизводящей зоны СССР. — Л.: Гидрометеиздат. 330 с.

*Мещерская А. В., Блажевич В. Г., Голод М. П., Белянкина И. Г.* (2000). Мониторинг засушливости на территории основных зернопроизводящих районов СНГ за последнее столетие // Труды ВНИИГМИ—МЦД. Вып. 33. С. 41—62.

*Мохов И. И.* (2006). Действие как интегральная характеристика климатических структур: оценки для атмосферных блокингов // Доклады РАН. Т. 409, № 3. С. 403—406.

*Обухов В. М.* (1949). Урожайность и метеорологические факторы. — М.: Госпланиздат. С. 9—41.

*Педь Д. А.* (1975). О показателе засухи и избыточного увлажнения // Труды Гидрометцентра СССР. Вып. 156. С. 19—39.

Раунер Ю. Л. (1982). Статистика засух // Изв. АН СССР. Физика атмосферы и океана. Т. 18, № 11. С. 1207—1214.

Российский гидрометеорологический энциклопедический словарь (2008). Т. 1 / Под ред. А. И. Бедрицкого. — СПб: Летний сад. 336 с.

*Сазонов Б. И.* (1991). Суровые зимы и засухи. — Л.: Гидрометеиздат. 240 с.

*Селянинов Г. Т.* (1928). О сельскохозяйственной оценке климата // Труды по сельскохозяйственной метеорологии. Вып. 20. С. 165—177.

*Утешев А. С.* (1972). Атмосферные засухи и их влияние на природные явления. — Алма-Ата. 195 с.

*Шехтер Ф. Н., Швелёва Т. Ю., Леус Н. Б., Кропоткин М. А.* (1980). Оценка влияния поверхностных пленок нефти и нефтепродуктов на световой и тепловой режим воды // Труды ГГО. Вып. 444. С. 9—16.

*Meshcherskaya A. V., Blazhevich V. G.* (1977). The Drought and Excessive Moisture Indices in a historical perspective in the principal grain producing regions of the former Soviet Union. — J. Climate. V. 10. P. 2670—2682.

*Randall Dole, Martin Hoerling, Judith Perlwitz, Jon Eischeid, Philip Pegion, Tao Zhang, Xiao-Wei Quan, Taiyi Xu and Donald Murray* (2011). Was there a basis for anticipating the 2010 Russian heat wave? — Geophys. Res. Lett. V. 38. P. L06702.

**Многолетние ряды индексов  $D$ ,  $M$ ,  $DM$  и  $S$ , среднего количества осадков  $Q$  и средних аномалий средней месячной температуры воздуха  $\Delta t$  за май—июль 1996—2010 г.**

Год	$D$	$M$	$DM$	$S$	$Q$	$\Delta t$	$D$	$M$	$DM$	$S$	$Q$	$\Delta t$
	<i>Европейская часть СНГ</i>						<i>Азиатская часть СНГ</i>					
1996	30	1	29	0,9	50	1,4	30	3	27	1,0	39	1,3
1997	8	7	1	-0,1	59	0,3	22	5	17	0,3	34	0
1998	39	0	39	1,1	49	1,5	41	0	41	1,5	29	1,6
1999	45	9	36	1,2	39	0,9	40	11	29	0,5	39	0,7
2000	12	9	3	-0,2	56	-0,3	10	16	-5	-0,3	48	0,3
2001	25	12	13	0,6	52	0,9	18	8	10	0,5	45	1,1
2002	32	6	27	1,2	39	0,8	8	14	-7	-0,4	47	-0,4
2003	27	19	8	0,1	54	0,3	26	14	12	0	46	0,6
2004	3	13	-10	-0,5	62	-0,4	38	0	38	1,3	36	1,9
2005	20	5	15	0,4	54	0,9	32	0	32	1,0	41	1,6
2006	15	1	14	0,4	50	0,4	14	5	9	0,8	38	1,0
2007	34	3	31	0,8	56	1,5	6	10	-4	-0,5	57	0,6
2008	4	10	-5	-0,3	61	0	30	0	30	0,8	40	1,3
2009	25	4	22	0,6	56	1,1	13	19	-6	-0,4	46	-0,2
2010	52	0	52	2,4	45	3,7	25	8	17	0,6	34	0,4

*Примечания:* 1. Настоящая таблица является продолжением таблицы за 1891—1995 гг., опубликованной в работах Meshcherskaya, Blazhevich (1997) и Мещерской и др. (2000). 2. Для территории Украины данные по осадкам за 2000—2010 гг. предоставлены Центральной геофизической обсерваторией Гидрометслужбы Украины.

## **ПРЯМАЯ СОЛНЕЧНАЯ РАДИАЦИЯ, ПОСТУПАЮЩАЯ НА НАКЛОННЫЕ ПОВЕРХНОСТИ**

*В. В. Стадник, О. В. Трофимова*

Главная геофизическая обсерватория им. А. И. Воейкова  
194021 Санкт-Петербург, ул. Карбышева, 7  
e-mail: sun@main.mgo.rssi.ru

Поступила в редакцию 22.03.2011  
Поступила после доработки 8.04.2011

Прямая солнечная радиация вносит основной вклад в суммарный приход радиации как на горизонтальную, так и на вертикальную и наклонные поверхности. Общие закономерности поступления солнечной радиации на наклонные поверхности рассмотрены в работе Кондратьева и др. (1978). Приход прямой радиации на вертикальную поверхность подробно исследован в работах Пивоваровой (1967, 1973) и Пивоваровой, Стадник (1974).

Суммарный приход солнечной радиации на приемные поверхности гелиоустановок складывается из поступления прямой и рассеянной радиации. При этом вполне очевидно, что выработка полезной энергии тем больше, чем больше вклад прямой радиации.

Целью данного исследования является оценка прямой солнечной радиации, поступающей на поверхности гелиоприемников с разными углами наклона, по данным актинометрической сети России.

В качестве исходных данных использованы представленные в Научно-прикладном справочнике по климату СССР (НПС, 1990) средние многолетние часовые суммы прямой солнечной радиации, поступающей на перпендикулярную поверхность, при средних условиях облачности для станций, расположенных в широтной зоне от 40 до 70° с. ш. Часовые суммы радиации получены либо по данным регистрации солнечной радиации, либо по дан-

ным срочных наблюдений (по графикам многолетнего суточного хода). Различия в средних многолетних месячных суммах радиации, полученных указанными способами, составляют в летний период  $\pm(1...3)$  %, в зимний период  $\pm(1...6)$  % (Пивоварова, Стадник, 1988).

Прямая солнечная радиация на наклонную поверхность рассчитывается по формуле (Кондратьев и др., 1978)

$$S_{\alpha} = S[\cos(\varphi - \alpha)\cos\delta \cos\omega + \sin(\varphi - \alpha)\sin\delta],$$

где  $\varphi$  — широта места,  $\delta$  — склонение солнца,  $\omega$  — часовой угол солнца,  $\alpha$  — угол наклона плоскости к горизонту.

В работе рассмотрены поверхность южной ориентации с углом наклона, равным широте места ( $\alpha = \varphi$ ), и поверхность, следящая за солнцем.

При анализе и обобщении данных о прямой солнечной радиации, как и в случае суммарной радиации (Стадник, Разгоняев, 2008), рассматривались не абсолютные, а относительные значения прямой радиации  $S_{\alpha}/S_{\text{гор}}$ , что дает возможность максимально уменьшить влияние облачности.

Следует отметить, что связь отношения  $S_{\alpha}/S_{\text{гор}}$  с широтой оказывается более тесной, чем для отношения  $Q_{\alpha}/Q_{\text{гор}}$ , даже в зимние месяцы (рис. 1), в то время как при обобщении относительных значений суммарной радиации не удалось полностью исключить влияние облачности.

Относительные значения прямой радиации могут быть использованы как коэффициенты ( $K_{\alpha} = S_{\alpha}/S_{\text{гор}}$ ) для пересчета радиации с горизонтальной поверхности на наклонную при средних условиях облачности. Использование этих коэффициентов позволяет получать значения суточных и месячных сумм прямой радиации, поступающей на наклонные поверхности, без выполнения расчетов по формуле (1).

В табл. 1 приведены обобщенные по широтам значения  $K_{\alpha}$  для рассматриваемых наклонных поверхностей.

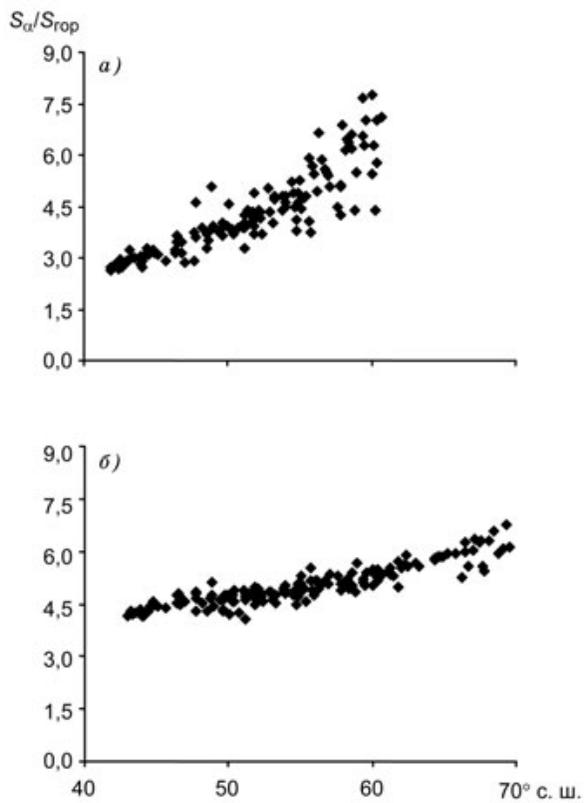


Рис. 1. Зависимость отношения  $S_\alpha/S_{\text{гор}}$  от широты места (следающая за солнцем поверхность).

*a* — январь, *б* — июль.

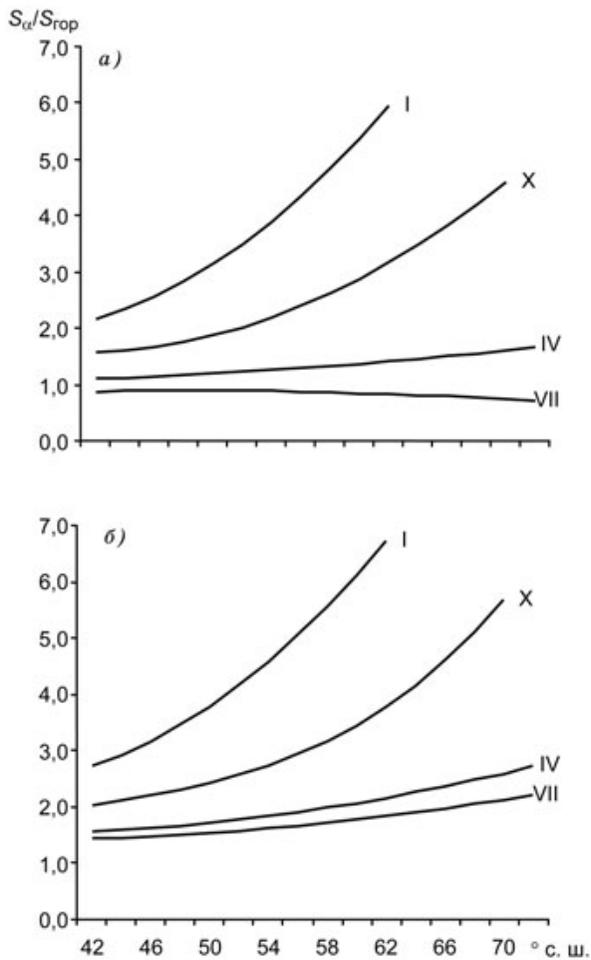


Рис. 2. Зависимость отношения  $S_{\alpha}/S_{\text{гор}}$  от широты места в центральные месяцы сезонов.

*а* — угол наклона поверхности  $\alpha = \varphi$ ;  
*б* — поверхность, следящая за солнцем.

Таблица 1

Коэффициенты  $K_\alpha$  для пересчета средних суточных (месячных) сумм прямой радиации с горизонтальной поверхности на наклонную

$\varphi^\circ$ с. ш.	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
<i>Следящая за солнцем поверхность</i>												
40	2,57	2,21	1,72	1,54	1,42	1,40	1,42	1,48	1,66	1,94	2,43	2,81
44	2,92	2,35	1,85	1,59	1,46	1,44	1,45	1,53	1,75	2,12	2,69	3,30
48	3,46	2,61	2,00	1,67	1,52	1,50	1,50	1,60	1,87	2,31	3,12	3,80
52	4,17	2,99	2,19	1,77	1,60	1,57	1,57	1,69	2,01	2,57	3,72	4,64
56	5,06	3,48	2,43	1,91	1,70	1,65	1,66	1,79	2,17	2,93	4,49	6,18
60	6,13	4,10	2,72	2,07	1,82	1,74	1,77	1,91	2,36	3,45	5,43	
64		4,83	3,07	2,26	1,96	1,85	1,90	2,04	2,57	4,16	6,54	
68		5,67	3,48	2,47	2,11	1,97	2,05	2,20	2,80	5,10		
72			2,72	2,29	2,10	2,10	2,21	2,37	3,06			
<i>Неподвижная поверхность с углом наклона, равным широте места (<math>\alpha = \varphi</math>)</i>												
40	2,03	1,73	1,31	1,08	0,90	0,83	0,87	0,99	1,25	1,56	1,93	2,20
44	2,34	1,81	1,45	1,12	0,92	0,84	0,88	1,02	1,28	1,60	2,10	2,45
48	2,83	2,02	1,57	1,16	0,94	0,84	0,89	1,05	1,35	1,75	2,46	3,05
52	3,49	2,36	1,70	1,22	0,95	0,83	0,89	1,08	1,44	2,02	3,02	3,99
56	4,34	2,83	1,86	1,29	0,95	0,81	0,87	1,11	1,56	2,39	3,76	5,26
60	5,37	3,42	2,08	1,37	0,95	0,77	0,85	1,14	1,71	2,88	4,69	6,87
64		4,15	2,39	1,46	0,95	0,72	0,81	1,17	1,89	3,48	5,81	
68		5,00	2,81	1,56	0,94	0,65	0,77	1,19	2,11	4,19	7,11	
72			1,67	0,92	0,92	0,57	0,71	1,22	2,35			

Из таблицы следует, что наклонные поверхности получают прямой радиации больше, чем горизонтальная, причем различия в поступлении возрастают с увеличением широты места. Так, на широте  $68^\circ$  в феврале на следящую за солнцем поверхность поступает прямой радиации в 2,5 больше, чем на горизонтальную, а в июне — в 1,5 раза.

Приход прямой радиации на неподвижную поверхность с углом наклона  $\alpha = \varphi$  также выше, чем на горизонтальную. Исключение составляют летние месяцы (с мая по июль), когда наклонная поверхность получает прямой радиации меньше, чем горизонтальная. Наибольшее снижение отмечается в северных широтах в июне и июле (см. табл. 1). Это связано с тем, что при большой высоте солнца угол падения солнечных лучей на поверхность с углом наклона  $\alpha = \varphi$  мал и солнечные лучи как бы скользят по поверхности.

В табл. 2 и 3 для отдельных станций приведены средние суточные суммы прямой радиации, поступающей на обе рассматриваемые поверхности.

В годовом ходе максимальный приход прямой радиации на наклонные поверхности отмечается в месяцы, когда сочетаются оптимальные условия облучения: наибольшие высота солнца и продолжительность дня и наименьшая облачность.

Максимальный суточный приход прямой радиации в течение года на обе рассматриваемые поверхности приходится на разные месяцы (рис. 3 и 4). На картах штриховкой показан месяц максимального прихода прямой радиации, изолиниями — средняя суточная сумма прямой радиации в этот месяц.

Из рисунков видно, что максимальный суточный приход прямой радиации на наклонные поверхности наблюдается в период с марта по август (в зависимости от района). На формирование суточного максимума прихода прямой солнечной радиации на следящую поверхность наибольшее влияние оказывает астрономический фактор. На большей части территории России максимум наблюдается в июне и июле, когда высота солнца наибольшая. На севере Западной Сибири и в прибрежных районах максимум смещается на весенний период с меньшей облачностью,

Таблица 2

Средние суточные суммы прямой солнечной радиации (МДж/м<sup>2</sup>), поступающей на  
следящую за солнцем поверхность

Станция	φ° с. ш.	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Диксон	73,5	0,0	1,3	9,6	18,2	13,4	13,0	15,2	8,8	3,7	1,6	0,0	0,0
Верхоянск	67,6	0,1	3,8	14,8	21,4	21,9	25,0	22,5	15,3	8,8	5,4	1,2	0,0
Архангельск	64,6	0,6	2,9	7,4	12,8	17,1	19,5	20,2	12,2	6,1	2,9	0,8	0,2
Якутск	62,0	1,6	7,6	17,1	20,7	19,5	23,9	22,5	17,7	12,5	6,1	3,3	0,7
Воейково	60,0	1,7	4,1	9,9	12,7	18,4	21,5	18,7	13,8	9,5	4,0	1,6	0,8
Верхнее Дуброво	56,7	3,9	7,8	11,6	15,5	17,1	18,3	17,4	13,8	9,3	4,7	3,5	2,7
Москва	55,7	2,3	5,6	9,0	11,4	15,5	19,3	16,9	13,5	9,3	4,7	2,6	1,5
Омск	55,0	4,0	8,3	12,8	16,3	18,7	21,0	19,6	15,2	12,4	5,9	4,1	3,4
Самара	53,3	3,8	7,5	9,9	14,1	20,6	20,2	19,0	17,7	12,4	6,1	2,3	2,6
Петропавловск-Камчатский	53,1	6,4	10,0	13,7	14,9	14,6	15,3	13,3	13,2	14,1	11,8	9,0	5,9
Иркутск	52,3	5,5	10,6	16,2	17,2	18,2	20,3	18,4	16,9	14,9	11,3	5,9	3,4
Хабаровск	48,5	11,7	16,0	17,8	14,7	16,6	18,1	15,7	15,3	15,8	13,8	11,7	9,8
Южно-Сахалинск	46,9	8,2	11,0	12,6	13,2	13,7	13,8	10,7	10,7	13,5	10,8	7,9	6,4
Астрахань	46,5	5,9	8,7	11,7	16,3	21,0	24,3	23,3	22,2	19,0	12,7	6,5	3,7
Краснодар	45,1	5,0	6,3	9,1	11,4	15,1	17,7	18,7	16,7	14,5	10,0	5,5	2,8
Сад-Город	43,3	14,1	16,5	17,3	14,4	15,4	11,4	10,5	11,7	16,2	16,0	14,1	12,4

Средние суточные суммы прямой радиации (МДж/м<sup>2</sup>), поступающей на поверхность  
с углом наклона, равным широте места

Станция	φ° с. ш.	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Диксон	73,5	0,0	1,1	7,4	10,3	3,6	2,2	3,6	4,2	2,7	1,4	0,0	0,0
Верхоянск	67,6	0,1	3,4	11,6	13,9	9,6	7,7	7,6	8,8	6,5	4,6	0,9	0,0
Архангельск	64,6	0,5	2,5	5,8	8,3	8,3	7,1	8,3	7,1	4,4	2,3	0,7	0,1
Якутск	62,0	1,4	6,4	13,1	13,5	10,0	10,4	10,6	10,4	8,9	5,0	2,8	0,6
Войково	60,0	1,5	3,5	7,6	8,3	9,7	9,9	9,3	8,3	6,8	3,3	1,4	0,7
Верхнее Дуброво	56,7	3,3	6,4	8,9	10,4	9,4	8,9	8,8	8,3	6,7	3,8	2,7	2,3
Москва	55,7	1,9	4,6	6,9	7,7	8,8	9,4	8,5	8,4	6,8	3,8	2,2	1,3
Омск	55,0	3,3	6,9	9,9	11,1	10,7	10,7	10,4	9,4	9,0	4,7	3,4	2,8
Самара	53,3	3,2	6,2	7,7	9,8	12,0	10,6	10,5	11,3	9,1	4,9	2,0	2,2
Петропавловск-Камчатский	53,1	5,3	8,1	10,5	10,2	8,5	8,4	7,6	8,5	10,3	9,3	7,3	4,8
Иркутск	52,3	4,6	8,7	12,4	11,8	10,8	11,1	10,6	11,0	11,0	9,0	4,9	2,8
Хабаровск	48,5	9,4	12,8	13,5	10,5	10,1	10,2	8,9	9,9	11,2	10,5	9,3	7,9
Южно-Сахалинск	46,9	6,7	8,8	9,8	9,3	8,5	8,1	6,5	7,3	9,9	8,5	6,3	5,2
Астрахань	46,5	4,7	6,8	8,9	11,2	12,8	13,4	13,3	14,5	13,9	9,9	5,2	2,9
Краснодар	45,1	4,0	5,0	7,0	8,2	9,9	10,3	11,2	11,3	10,9	8,1	4,4	2,3
Сад-Город	43,3	11,1	13,0	13,1	10,2	9,9	7,0	6,6	7,8	11,9	12,3	11,0	9,7

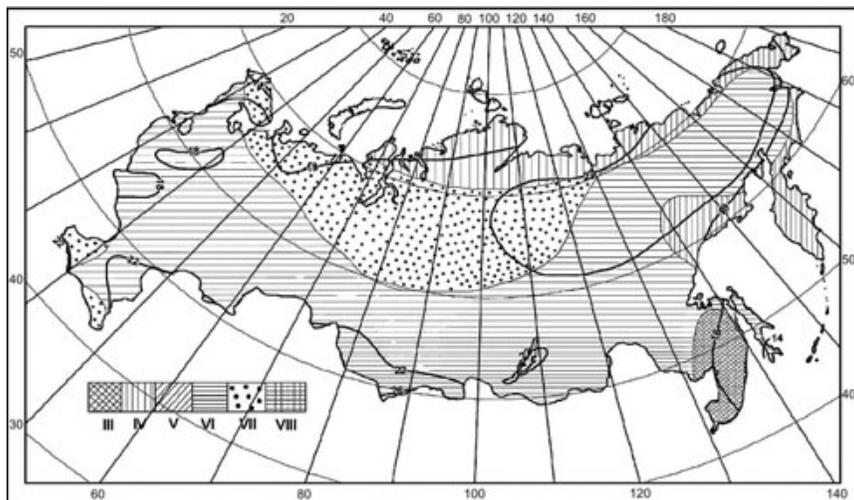


Рис. 3. Средняя суточная сумма прямой радиации ( $\text{МДж}/\text{м}^2$ ), поступающей на следящую за солнцем поверхность, в месяц максимального прихода (указан штриховой).

т. е. преобладающим становится циркуляционный фактор. На побережье северных морей максимальный суточный приход прямой радиации отмечается в апреле, а в Приморском районе и отдельных районах Хабаровского края — в марте, когда еще проявляется влияние зимнего муссона.

На формирование максимального суточного прихода прямой радиации на неподвижную поверхность на территории России наибольшее влияние оказывает облачность. На севере страны — от восточных районов европейской части России до крайних районов Чукотки — максимум наблюдается в апреле, когда количество облаков там минимально. В центральных, юго-восточных и северо-западных районах европейской части России максимальный приход прямой радиации отмечается в мае, в западных районах он смещается на июнь, а в южных — на август в соответствии с уменьшением облачности в эти месяцы.

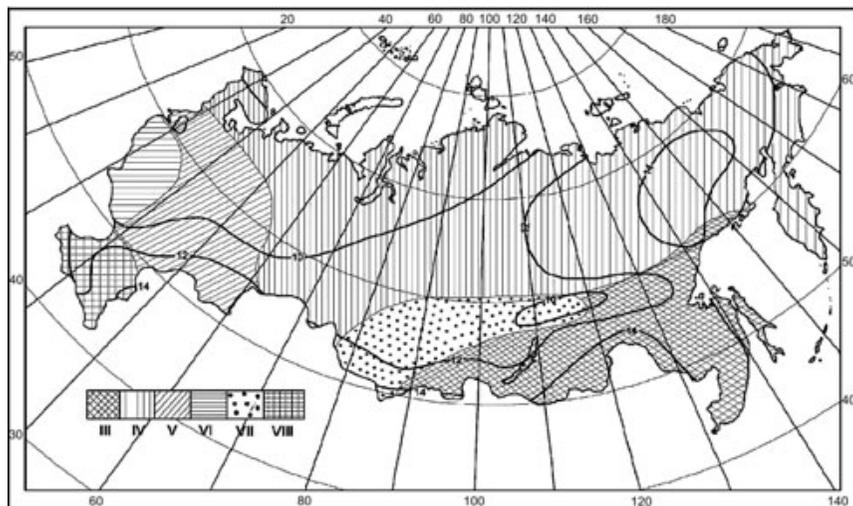


Рис. 4. Средняя суточная сумма прямой радиации ( $\text{МДж}/\text{м}^2$ ), поступающей на поверхность с углом наклона, равным широте места, в месяц максимального прихода (указан штриховкой).

Следует отметить, что на юге азиатской части России время наступления максимума в восточных и западных районах различается. Так, в южных областях Восточной Сибири максимум приходится на июль, а в Предбайкалье и далее к востоку, вплоть до побережья Охотского моря, — на март в связи с малооблачной погодой в условиях еще существующего антициклона.

Из рис. 3 и 4 также видно, что средний суточный максимум прямой суммарной радиации возрастает не только с севера на юг, но и с запада на восток, по мере уменьшения влияния Атлантики. Особенно резко это выражено в широтном поясе  $60\text{—}65^\circ$  с. ш. Наибольшие суточные значения прямой солнечной радиации характерны для северо-востока России, где они составляют более  $22 \text{ МДж}/\text{м}^2$  на следящей за солнцем поверхности и более  $14 \text{ МДж}/\text{м}^2$  на поверхности с углом наклона  $\alpha = \varphi$ .

Время наступления суточного максимума прямой и суммарной радиации может различаться (Стадник и др., 2010). Причина этого

заключается во влиянии на суммарный приход рассеянной радиации, которая в значительной степени зависит от облачности (рис. 5).

В распределении по территории годовых сумм прямой радиации, поступающей на поверхность, следящую за солнцем, и поверхность с углом наклона, равным широте места, прослеживается общая закономерность, проявляющаяся в увеличении прихода радиации с севера на юг и значительном увеличении годовых сумм в северо-восточных районах страны (рис. 6 и 7).

Для определения эффективности работы гелиоустановки в течение суток требуются данные о часовых суммах солнечной радиации, поступающей на приемные поверхности.

Часовые суммы прямой радиации для июня приведены в табл. 4 и 5. Из представленных данных видно, что суточный ход прямой радиации на наклонные поверхности не симметричен относительно полудня. В связи с особенностями суточного хода облачности и прозрачности атмосферы в летние месяцы — развитием конвективной облачности и уменьшением прозрачности атмосферы после полудня — отмечается превышение часовых сумм прямой радиации в дополуденные часы над послеполуденными. В районах континентального климата превышение может достигать 25 % для следящей за солнцем поверхности и 15—20 % для неподвижной поверхности с углом наклона, равным широте места.

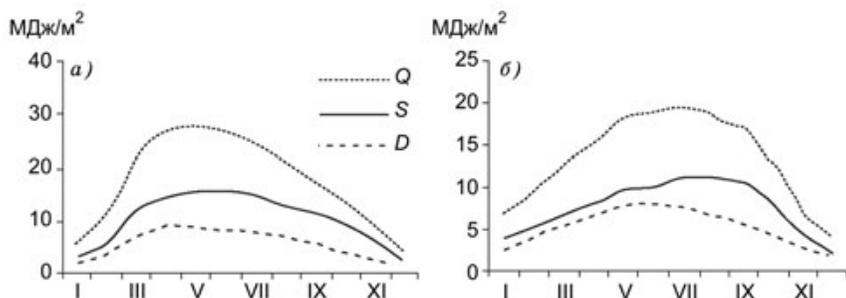


Рис. 5. Годовой ход составляющих суммарного прихода радиации (МДж/м<sup>2</sup>) на наклонные поверхности.

*a* — Ключи, следящая за Солнцем поверхность; *б* — Краснодар, угол наклона равен широте места.

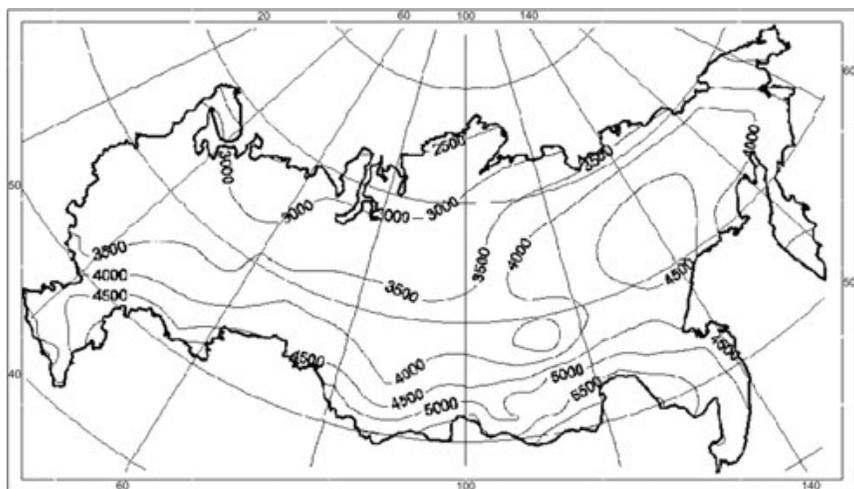


Рис. 6. Годовой приход прямой солнечной радиации ( $\text{МДж}/\text{м}^2$ ), поступающей на следящую за солнцем поверхность, при средних условиях облачности.

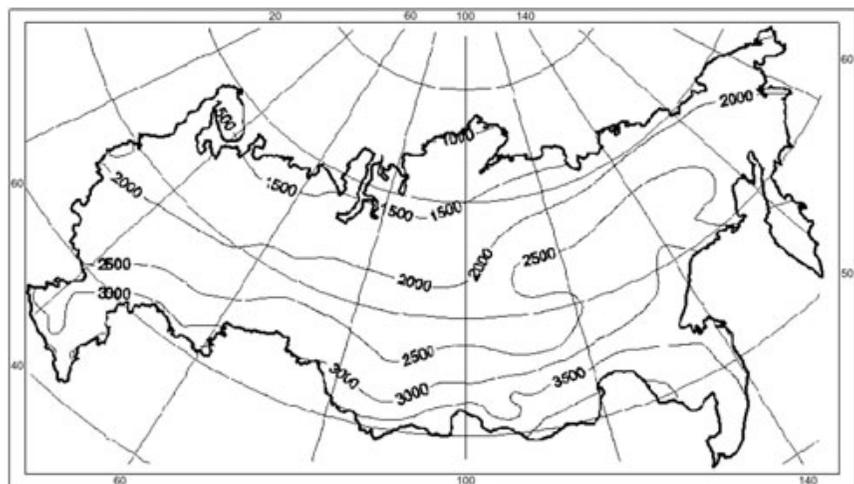


Рис. 7. Годовой приход прямой солнечной радиации ( $\text{МДж}/\text{м}^2$ ), поступающей на поверхность с углом наклона, равным широте места, при средних условиях облачности.

Часовые суммы прямой радиации (МДж/м<sup>2</sup>), поступающей на следящую за солнцем поверхность

Станция	Время, ч (до полудня)													
	0—1	1—2	2—3	3—4	4—5	5—6	6—7	7—8	8—9	9—10	10—11	11—12		
Ершов	0,00	0,00	0,00	0,03	0,46	0,95	1,38	1,64	1,81	1,92	1,92	1,84		
Верхнее Дуброво	0,00	0,00	0,00	0,11	0,51	0,89	1,17	1,38	1,44	1,48	1,45	1,44		
Астрахань	0,00	0,00	0,00	0,00	0,38	0,97	1,38	1,69	1,92	2,04	2,12	2,15		
Сад-Город	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,21	0,34	0,47	0,64	0,85	0,98	1,11		
Диксон	0,33	0,33	0,36	0,41	0,44	0,49	0,56	0,59	0,64	0,67	0,72	0,74		
Дальнезелецкая	0,01	0,10	0,23	0,33	0,41	0,49	0,64	0,69	0,74	0,82	0,84	0,87		

Станция	Время, ч (после полудня)													
	23—24	22—23	21—22	20—21	19—20	18—19	17—18	16—17	15—16	14—15	13—14	12—13		
Ершов	0,00	0,00	0,00	0,02	0,36	0,74	1,00	1,23	1,38	1,51	1,64	1,76		
Верхнее Дуброво	0,00	0,00	0,00	0,04	0,40	0,75	0,96	1,10	1,17	1,28	1,35	1,36		
Астрахань	0,00	0,00	0,00	0,00	0,25	0,79	1,23	1,53	1,74	1,92	2,04	2,12		
Сад-Город	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04	0,38	0,68	0,94	1,11	1,19	1,24	1,19		
Диксон	0,36	0,38	0,41	0,44	0,49	0,54	0,59	0,61	0,67	0,69	0,74	0,77		
Дальнезелецкая	0,01	0,13	0,23	0,33	0,46	0,56	0,69	0,79	0,84	0,87	0,89	0,87		

Таблица 5

Часовые суммы прямой радиации (МДж/м<sup>2</sup>), поступающей на поверхность с углом наклона, равным широте места

Станция	Время, ч (до полудня)											
	0—1	1—2	2—3	3—4	4—5	5—6	6—7	7—8	8—9	9—10	10—11	11—12
Ершов	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,16	0,57	1,01	1,39	1,62	<b>1,67</b>
Верхнее Дуброво	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,14	0,48	0,80	1,08	1,23	<b>1,31</b>
Астрахань	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,16	0,59	1,07	1,48	1,79	<b>1,95</b>
Сад-Город	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04	0,16	0,36	0,62	0,83	1,01
Диксон	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,07	0,21	0,36	0,49	0,61	0,67
Дальнезеленецкая	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,08	0,24	0,41	0,60	0,71	<b>0,79</b>

Станция	Время, ч (после полудня)											
	23—24	22—23	21—22	20—21	19—20	18—19	17—18	16—17	15—16	14—15	13—14	12—13
Ершов	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,12	0,43	0,77	1,10	1,39	1,60
Верхнее Дуброво	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,11	0,39	0,65	0,93	1,14	1,23
Астрахань	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,15	0,54	0,97	1,39	1,73	1,92
Сад-Город	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,08	0,33	0,62	0,86	1,05	<b>1,08</b>
Диксон	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,07	0,21	0,37	0,50	0,63	<b>0,70</b>
Дальнезеленецкая	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,08	0,28	0,47	0,63	0,75	<b>0,79</b>

Для северного побережья страны и Дальнего Востока характерно противоположное соотношение: летом послеполуденные часовые суммы больше дополуденных. Это связано с уменьшением количества облаков после полудня.

В заключение следует отметить, что в настоящей работе впервые для всей территории России выполнены расчеты и проведено обобщение сумм прямой солнечной радиации, поступающей на наклонные поверхности, за различные периоды времени (час, сутки, месяц, год). Полученные результаты могут быть использованы при оценке эффективности работы различных солнечных установок.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

*Кондратьев К. Я., Пивоварова З. И., Федорова М. П.* (1978). Радиационный режим наклонных поверхностей. — Л.: Гидрометеоиздат. 215 с.

Научно-прикладной справочник по климату СССР (1990). Серия 3, части 1—7, вып. 1—34. — Л.: Гидрометеоиздат.

*Пивоварова З. И.* (1967). Прямая солнечная радиация, поступающая на стены зданий // Труды ГГО. Вып. 193. С. 73—118.

*Пивоварова З. И.* (1973). Характеристика радиационного режима на территории СССР применительно к запросам строительства // Труды ГГО. Вып. 321. 127 с.

*Пивоварова З. И., Стадник В. В.* (1988). Климатические характеристики солнечной радиации как источника энергии на территории СССР. — Л.: Гидрометеоиздат, с. 292.

*Пивоварова З. И., Стадник В. В.* (1974). Об изменчивости прямой радиации, поступающей на вертикальные поверхности южной ориентации // Труды ГГО. Вып. 307. С. 80—93.

*Стадник В. В., Псаломщикова Л. М., Трофимова О. В., Шанина И. Н.* (2010). Поступление суммарной солнечной радиации на приемные поверхности гелиоустановок на территории России // Труды ГГО. Вып. 561. С. 124—137.

*Стадник В. В., Разгоняев Ю. В.* (2008). Оценка суточного прихода суммарной радиации, поступающей на наклонные поверхности // Труды ГГО. Вып. 557. С. 67—84.

**ОСОБЕННОСТИ ОЦЕНКИ УЩЕРБА И РИСКОВ, СВЯЗАННЫХ  
С ОПАСНЫМИ ЯВЛЕНИЯМИ ПОГОДЫ,  
НА ТЕРРИТОРИИ АРХАНГЕЛЬСКОЙ ОБЛАСТИ  
И НЕНЕЦКОГО АВТНОМНОГО ОКРУГА**

*И. В. Грищенко*

ГУ «Архангельский ЦГМС-Р»  
163020 г. Архангельск, ул. Маяковского, 2  
E-mail:sevmgmc@mail.ru

Поступила в редакцию 2.02.2011  
Поступила после доработки 15.03.2011

В условиях наблюдающегося изменения климата немаловажное значение приобретает мониторинг опасных явлений погоды (ОЯ), как одной из важнейших его характеристик. Продолжительность и повторяемость ОЯ изменяются, однако тренды в различных районах территории оказываются неравнозначными.

Особенно важно исследование и прогнозирование метеорологических ОЯ ввиду того, что они, развиваясь в атмосфере, вызывают соответствующие явления и в других природных средах. В результате неблагоприятное воздействие на природу и объекты экономики усиливается, что в отдельных случаях приводит к стихийным бедствиям и экологическим катастрофам.

На территории России многие хозяйственные объекты подвергаются разрушительным воздействиям со стороны ОЯ практически всех видов. Суммарный средний многолетний экономический ущерб, причиняемый ОЯ, достигает 6—7 % валового внутреннего продукта (ВВП) России, что составляет около 20—26 млрд долл. США (Карлин, Абрамов, 2006).

В соответствии с РД 52.88.699—2008 ОЯ — это явление, которое по своему значению, интенсивности или продолжительности представляет угрозу жизни или здоровью граждан, а также может причинять значительный материальный ущерб.

Из этого определения следует, что особенно важно знание закономерностей и частоты возникновения ОЯ как в крупных населенных пунктах, так и в промышленных районах либо на территориях с интенсивной производственной деятельностью. Любое опасное явление погоды по сути может быть источником природных катастроф.

Важнейшими факторами риска природных катастроф являются: возможность возникновения ОЯ; природный (географические особенности развития региона) и социальный (этнические, исторические и политические особенности региона) фон развития региона; уязвимость населения, определяемая уровнем экономического развития; субъективное восприятие населением угрозы возникновения ОЯ (Григорьев, Кондратьев, 2001).

В связи с этим представляется целесообразным провести районирование ОЯ по субъектам РФ, поскольку решение экономических задач осуществляется именно в рамках конкретных административных территорий. В частности, такая работа была выполнена для равнинной части Российской Федерации (Панфутова и др., 2007).

При исследовании повторяемости ОЯ и их распространения по территории Архангельской области и Ненецкого автономного округа (НАО) были обобщены данные по муниципальным образованиям (МО) районов. Территория Архангельской области подразделена на 19 МО, в преобладающем большинстве которых располагается не более одного наблюдательного подразделения (НП); исключение составляют семь районов, на территории которых располагаются от двух до шести НП. Территория НАО представляет собой единую административную единицу.

Для районирования ОЯ было проведено статистическое обобщение результатов, полученных 36 НП, расположенными на территории Архангельской области, и 16 НП, расположенными на территории НАО, за период 1966—2008 гг.

Из метеорологических ОЯ, зафиксированных на территории Архангельской области и НАО, за указанный период чаще всего отмечались заморозки (за исключением территории НАО, где заморозки не относятся к ОЯ), сильные метели, сильные морозы, сильный ветер и туманы.

Заморозки (понижение температуры воздуха ниже 0 °С в вегетационный период) наблюдаются по всей территории Архангельской области с конца апреля по середину сентября и оправдывают характеристику этого региона как зоны рискованного земледелия. Практически ежегодно отмечаются случаи заморозков, которые одновременно фиксируют более 50 % НП. В основном повторяемость этого явления колеблется от 6 до 15 дней в год. Наиболее характерны заморозки для восточной половины области, южных районов, где повторяемость их составляет от 10 до 15 дней в год, и для отдельных низменностей в остальной части области. Лишь на прибрежных и островных территориях повторяемость заморозков мала (менее 5 дней в год) либо они не отмечались вообще (рис. 1).

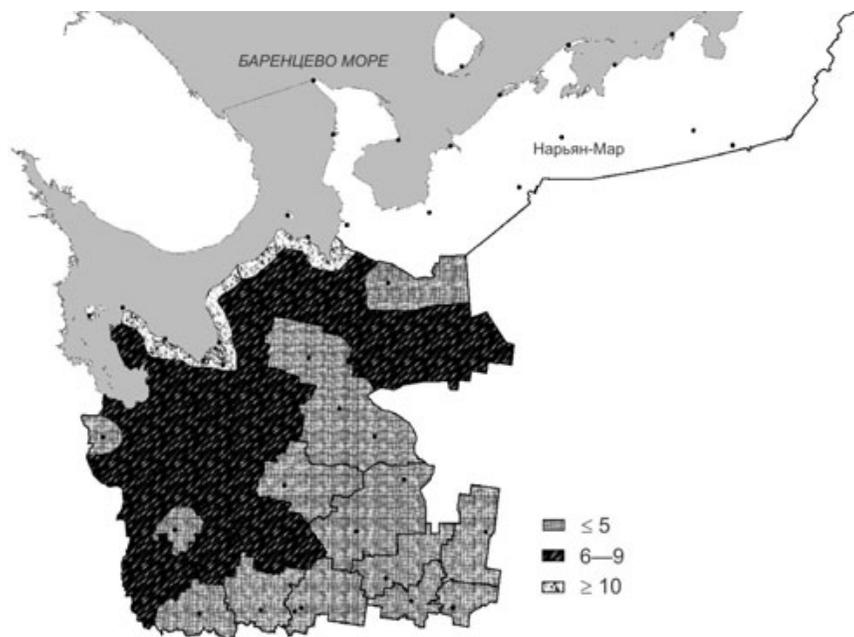


Рис. 1. Повторяемость (число дней в год) заморозков по муниципальным образованиям Архангельской области.

Сильные метели (ухудшение видимости до значений менее 500 м при средней скорости ветра не менее 15 м/с и продолжительности явления не менее 12 часов) характерны в основном для прибрежных районов НАО и возникают, как правило, на южной периферии циклонов, смещающихся с Северной Атлантики. Чаще всего сильные метели наблюдаются на побережье юго-востока Баренцева моря, где их повторяемость достигает 5—11 дней в год.

На территории Архангельской области сильные метели крайне редки. За период с 1966 по 2008 г. они отмечались лишь в семи районах области, в основном на прибрежных и островных территориях Белого моря. Это ОЯ наблюдается, как правило, с декабря по февраль. В отдельные годы может наблюдаться и в мае, и в октябре (рис. 2).

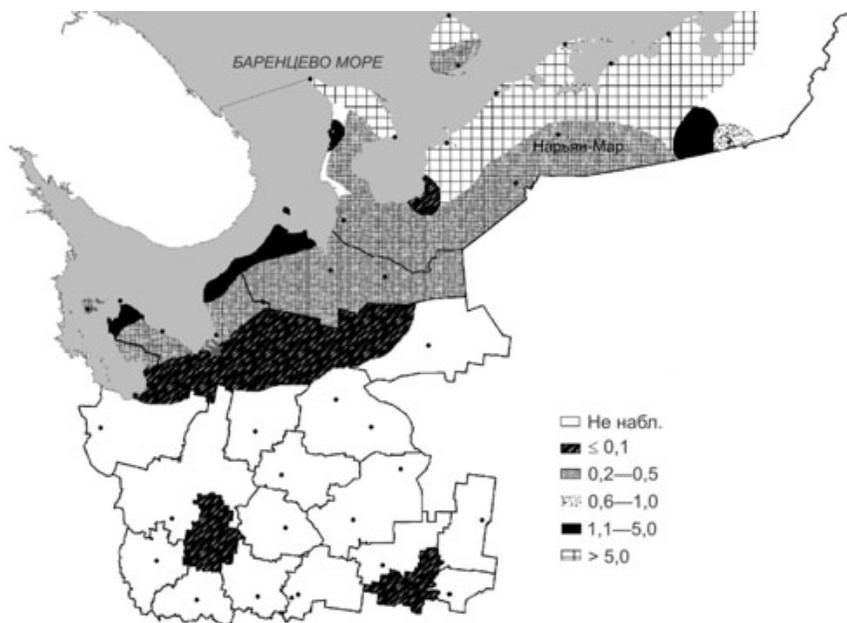


Рис. 2. Повторяемость сильных метелей (дней/год) по муниципальным образованиям Архангельской области и территории НАО за период 1966—2008 гг.

Серьезным препятствием для осуществления производственной деятельности, функционирования промышленных и социальных объектов являются сильные морозы (минимальная температура воздуха  $-45^{\circ}\text{C}$  и ниже). Понижение температуры воздуха до  $-45^{\circ}\text{C}$  и ниже характерно в основном для восточной половины Архангельской области и континентальных районов НАО с декабря по февраль.

Повторяемость сильных морозов в крайних восточных и юго-восточном районах области составляет 0,6—1,2 дня в год. Вместе с тем, в четырех районах области (Няндомском, Коношском, Каргопольском и Приморском — это юго-западные, западные и прибрежные районы области) сильные морозы не были отмечены ни разу. В континентальных районах НАО сильные морозы наблюдаются не реже трех раз в два года (повторяемость 1,5—1,6 дня в год). На всем побережье Белого моря за исключением побережья Мезенского залива и на юго-востоке побережья Баренцева моря сильные морозы не отмечались ни разу.

Большой практический интерес представляет такое ОЯ, как минимальная температура воздуха  $-35^{\circ}\text{C}$  и ниже продолжительностью пять суток и более. Это ОЯ наблюдалось практически на всей территории Архангельской области и НАО за исключением прибрежных и островных территорий, где повторяемость его менее 0,1 дня в год (рис. 3).

Указанное ОЯ ежегодно отмечается в континентальных районах НАО и один раз в два года (средняя повторяемость 0,5—0,8 дня в год) — в крайних восточных районах Архангельской области и в Печорской губе на юго-востоке Баренцева моря. В годовом ходе максимум этого ОЯ приходится на январь—февраль.

Сильный ветер (скорость ветра порывами не менее 25 м/с) может наблюдаться в течение года в любом районе Архангельской области и НАО. Повторяемость его колеблется в основном от 0,1 до 0,6 дня в год. В прибрежных районах Белого моря повторяемость сильного ветра составляет от 1,4 до 1,8 дня в год, а на побережье юго-востока Баренцева моря — от 2,3 до 4 дней в год. Повышенная повторяемость (1,3—1,1 дня в год) сильного ветра в континентальных районах отмечена в Няндомском и Вельском

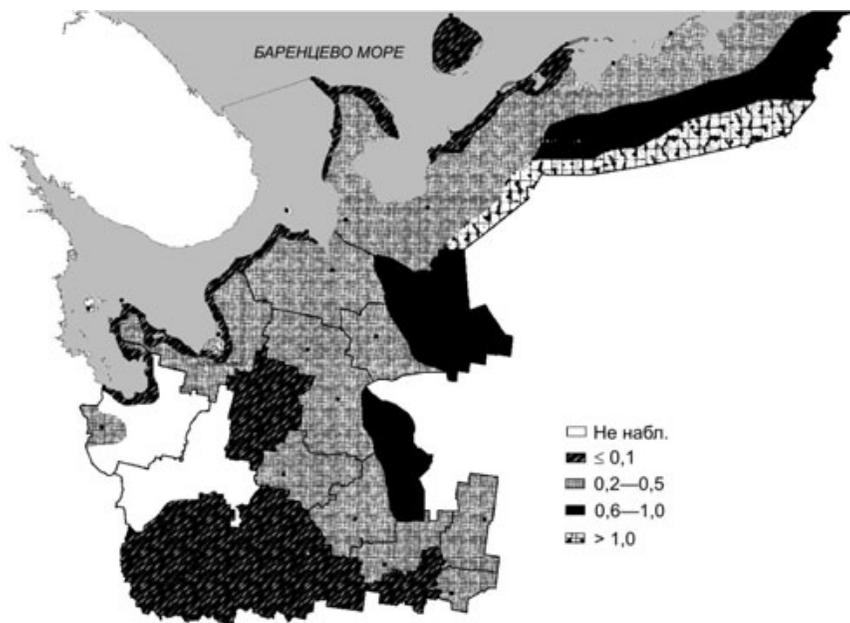


Рис. 3. Повторяемость (число дней в год) периодов продолжительностью пять суток и более с минимальной температурой воздуха  $-35^{\circ}\text{C}$  и ниже по муниципальным образованиям Архангельской области и территории НАО за период 1966—2008 гг.

районах Архангельской области (юго-западные районы) и на НП Хоседа-Хард (НАО), что в определенной степени связано с характером рельефа (рис. 4).

Сильные туманы (видимость  $\leq 100$  м и продолжительность явления не менее 6 часов) наблюдаются практически повсеместно. Их повторяемость составляет в основном 0,1—0,6 дня в год, на ряде прибрежных станций 1,1—2,0 дня в год. Наиболее часто сильные туманы на побережье морей наблюдаются в июле—августе (35,3 % общего числа дней с сильными туманами), а на континентальных метеостанциях — в августе—октябре (52,5 %).

Из достаточно редких ОЯ на территории Архангельской области и НАО наибольшую опасность представляют шквалы и смерчи (зачастую выявляются по косвенным признакам).

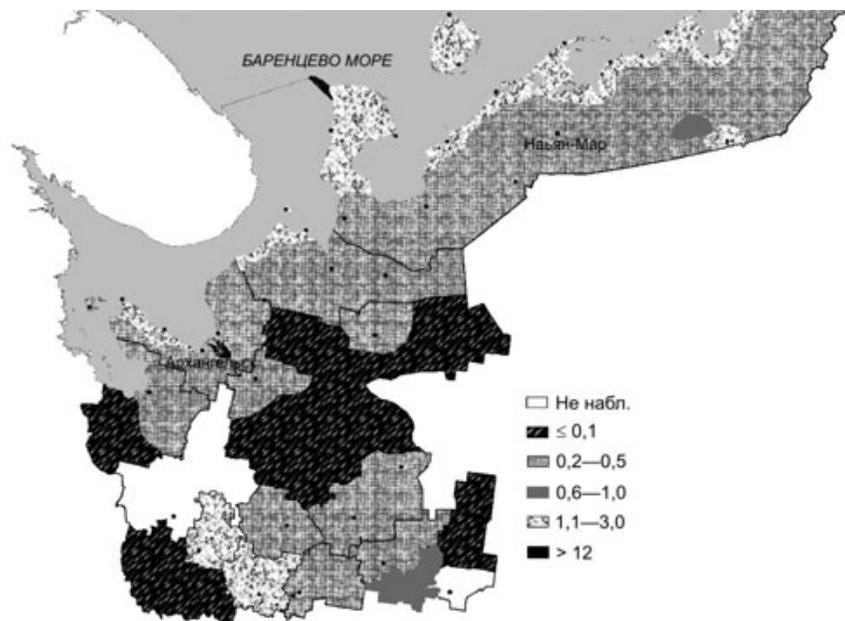


Рис. 4. Повторяемость (число дней в год) сильного ветра ( $\geq 25$  м/с) по муниципальным образованиям Архангельской области и территории НАО за период 1966—2008 гг.

Шквалы и смерчи могут наблюдаться в любом районе Архангельской области, однако эти явления с максимальной повторяемостью 0,1—0,3 дня в год наблюдаются в основном в южных районах области, ограниченных реками Вагой и Северной Двиной. Несмотря на то что повторяемость этого события и территория охвата таким ОЯ невелики, причиненный ущерб может быть весьма ощутимым.

Например, в июле 2008 г. шквалистое усиление ветра по шкале Бофорта (шторм не был зафиксирован ближайшим НП в силу локальности явления) превысило 32 м/с и вызвало разрушение линий электропередачи и обесточивание более 1600 домов в Красноборском районе (юго-восток Архангельской области). Ущерб составил около 10 млн рублей (Грищенко, 2009).

На территории НАО шквалы были зафиксированы только двумя НП, а смерчи не наблюдались ни разу.

Случаи выпадения града (диаметром 20 мм и более) отмечаются намного реже: повторяемость их не превышает 0,1 дня в год. Максимальная повторяемость выпадения крупного града совпадает с максимальной повторяемостью шквалов, что объясняется тем, что обоим явлениям сопутствует наибольшая интенсивность конвективных явлений.

Систематизация и анализ сведений об ОЯ имеют важное значение, так как дают возможность рассчитывать и прогнозировать ущерб и риски по конкретным территориям и расположенным на них хозяйственным объектам, а также на стадии планирования и проектирования решать вопросы о целесообразности размещения соответствующих производств.

Оценки ущерба и рисков выполняются различными методами: эмпирическим, эвристическим и вероятностным.

Специалисты Главной геофизической обсерватории им. А. И. Воейкова (Кобышева и др., 2008) считают, что при расчете ущерба и рисков, обусловленных каждым ОЯ в отдельности, целесообразно использовать эмпирический метод, в соответствии с которым были предложены следующие формулы для расчета риска возникновения ОЯ для конкретного объекта ( $R_i^{об}$ ) и экономического риска ( $R_э$  руб./год):

$$R_i^{об} = p_i \frac{S_i}{S} \frac{S_{об}}{S},$$

$$R_э = p_i \frac{S_i}{S} \frac{S_{об}}{S} kmtA,$$

где  $p_i$  — вероятность конкретного ОЯ;  $S_i$  — средняя площадь ОЯ ( $\text{км}^2$ );  $S_{об}$  — площадь объекта ( $\text{км}^2$ );  $S$  — площадь рассматриваемой территории ( $\text{км}^2$ );  $k$  — коэффициент агрессивности;  $m$  — число жителей, равномерно распределенных на данной территории;  $t$  — средняя продолжительность конкретного ОЯ (число дней);  $A$  — коэффициент, называемый ценой риска, который полагается равным доле ВВП, приходящейся на одного жителя России.

Как следует из формул, экономический риск от ОЯ напрямую зависит от следующих факторов: вероятности (повторяемости) самого ОЯ; коэффициента агрессивности; числа жителей, попавших в зону действия ОЯ; размера ВВП, приходящегося на душу населения. Риск возникновения опасного события зависит от повторяемости ОЯ и соотношения площадей ОЯ, объекта и общей площади всей территории.

Таким образом, ущерб и риски отражают и одновременно являются следствием не только непосредственно вызвавших их ОЯ, но также социально-экономических особенностей конкретного региона.

Одной из основных особенностей рассмотренного региона является его малая населенность. В отличие от центральных и южных областей России Архангельская область и НАО характеризуются крайне низкой плотностью населения — 2,1 и 0,3 человека на 1 км<sup>2</sup> соответственно (Архангельская область в цифрах, 2009), что значительно снижает риск и размеры прямого ущерба.

Наиболее ощутимые экономические и социальные риски вероятны в немногочисленных промышленных центрах Архангельской области — Архангельске, Северодвинске, Котласе, Коряжме, Новодвинске, в которых, кроме того, сосредоточены опасные производства: машиностроительные предприятия и крупнейшие в Европе целлюлозно-бумажные комбинаты. Поэтому там, скорее всего, будет более значительным так называемый вторичный ущерб, вызванный техногенной аварией, экологической катастрофой.

Исходя из анализа повторяемости ОЯ, наблюдающихся в муниципальных образованиях, на территории которых расположены эти производства, наибольшую угрозу для них представляют шквалы, сильный ветер, сильный мороз.

Риск возникновения ОЯ, рассчитанный в качестве примера для г. Коряжмы, в случае воздействия шквалистых усиления ветра составил  $6,4 \cdot 10^{-8}$ , что относится к пренебрежимым рискам (Быков и др., 2004). Экономический риск, создаваемый этим ОЯ, получается крайне малым (867 рублей) ввиду того, что на данной территории сосредоточено небольшое количество населения — 42 600 человек.

Другой особенностью Архангельской области и НАО является сама структура экономики, которая здесь сложилась исторически в соответствии с природными богатствами этих территорий.

На протяжении десятилетий основное внимание в регионе уделялось развитию лесопромышленного комплекса — вырубке леса и глубокой переработке древесины на деревообрабатывающих и целлюлозно-бумажных комбинатах. Поскольку на начальном этапе развития этого производства ущерб в основном связан с простоями по причине неблагоприятных погодных условий (сильные морозы, сильный ветер, шквалы), масштабы ущерба невелики даже в рамках области. На этапе переработки все же более вероятен вторичный ущерб.

В последние 15—20 лет лидирующие позиции в экономике региона стала занимать добыча полезных ископаемых. Особую актуальность в этом свете приобретает бережное отношение к природе северных территорий, и в частности территории Ненецкого автономного округа и прилегающих акваторий Баренцева и Карского морей, на шельфе которых идет интенсивная разработка углеводородных месторождений, активно развивается транспортная система, включая трубопроводные магистрали и морской транспорт. В этом случае размеры ущерба могут быть значительно больше.

В условиях Севера природные экосистемы характеризуются низкой устойчивостью к жесткому техногенному воздействию и слабовыраженной способностью к самоочищению и самовосстановлению. В связи с этим решение задачи своевременного предсказания ОЯ, которое позволит управленческим структурам соответствующим образом подготовиться и принять меры по предотвращению ущерба, приобретает особое значение.

Такие опасные явления, как сильный ветер, сильные метели и сильные туманы, в НАО отмечаются существенно чаще, чем на территории Архангельской области, и представляют реальную опасность, в особенности при транспортировке нефти.

Расчет риска, вызванного таким ОЯ, как сильный ветер, для территории, на которой производится добыча нефти (Южно-Хыльчужское месторождение), ее транспортировка до Варандейского отгрузочного терминала и затем перегрузка на танкеры, показы-

вает, что величина риска возрастает и становится равной  $1,1 \cdot 10^{-4}$ , что уже соответствует градации «приемлемый риск» (Быков и др., 2004). Соответственно и экономический риск будет возрастать.

При оценке ущербов и рисков немаловажное значение имеет повторяемость (вероятность) опасного явления. Как видно из анализа географического положения региона и его климата, приведенного выше, наиболее вероятные погодные угрозы сводятся для значимых отраслей экономики Архангельской области и НАО к трем-четырем видам ОЯ, которые, как правило, приурочены к конкретным сезонам (например, сильный мороз). При этом ущерб и риски, обусловленные этими ОЯ, могут быть больше, чем в случае ОЯ, повторяемость которых выше.

В частности, несмотря на то что по повторяемости среди ОЯ заморозки на территории Архангельской области занимают лидирующее положение, они не причиняют заметного ущерба. Это связано с тем, что число людей, занятых в сельском хозяйстве области, и соответственно площади, занятые посевами, невелики.

С начала 90-х годов доля сельского хозяйства в общем объеме экономики области неуклонно снижается. В последние годы, в частности с 2004 по 2008 г., посевные площади уменьшились с 148 до 111 тыс. га, в том числе наиболее распространенной культуры — картофеля — с 16,4 до 11,3 тыс. га. В 2008 г. валовой региональный продукт в сельском хозяйстве составил всего 2,6 % валового продукта области (Архангельская область в цифрах, 2009).

Таким образом, адекватная оценка рисков и ущерба, обусловленных метеорологическими ОЯ на территории Архангельской области и НАО, с учетом экономических особенностей каждой административной единицы и территории в целом может внести свой вклад в решение задачи предупреждения аварийных ситуаций и минимизации ущерба.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Архангельская область в цифрах (2009). Краткий статистический сборник. — Архангельск. 142 с.

Быков А. А., Акимов В. А., Фалеев М. И. (2004). Нормативно-экономические модели управления риском // Деловой экспресс. Т. 1, № 2. С. 125—137.

*Григорьев А. А., Кондратьев К. Я. (2001).* Экономика и геополитика. Т. 2. Экологические катастрофы. — СПб. 687 с.

*Грищенко И. В. (2009).* Шквалы и смерчи на территории Архангельской области и Ненецкого автономного округа // Вестник Поморского Университета. № 4. С. 5—10.

*Карлин Л. Н., Абрамов В. М. (2006).* Управление энвиронментальными и экологическими рисками. — СПб, с. 69.

*Кобышева Н. В., Галюк Л. П., Панфутова Ю. А. (2008).* Методика расчета социального и экономического рисков, создаваемых опасными явлениями погоды // Труды ГГО. Вып. 558. С. 162—171.

*Панфутова Ю. А., Самолетова Е. А., Макеева О. Д., Романова И. В. (2009).* Опасные явления погоды на равнинной части Российской Федерации // Труды ГГО. Вып. 556. С. 145—156.

РД 52.88.699—2008 (2008). Положение о порядке действий учреждений и организаций при угрозе возникновения и возникновении опасных природных явлений. — М.

## ОСОБЕННОСТИ ВАРИАЦИЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПРОВОДИМОСТИ ВОЗДУХА ВБЛИЗИ САНКТ-ПЕТЕРБУРГА

*И. Б. Попов*

Главная геофизическая обсерватория им. А. И. Воейкова  
194021 Санкт-Петербург, ул. Карбышева, 7  
E-mail: popov\_ib@mail.ru

Поступила в редакцию 3.02.2011  
Поступила после доработки 26.02.2011

Непрерывные измерения удельной полярной электрической проводимости воздуха  $\lambda_{\pm}$  на полевой экспериментальной базе ГГО в Воейково проводятся с момента ее основания в конце 1940-х годов. Накопленный материал, также включающий результаты измерений в Павловской обсерватории, охватывает почти столетие и является в своем роде уникальным.

В настоящее время измерения величины  $\lambda_{\pm}$  проводятся с помощью измерительного преобразователя (ИП) «Электропроводность-2», разработанного в ГГО в конце 1980-х (Соколенко, Шварц, 1990). В 1997 г. организована автоматическая регистрация данных и сохранение первичной информации на базе персонального компьютера. Контроль стабильности параметров ИП выполняется в соответствии с РД 52.04.168 (2001) с интервалом 10—20 дней. Окончательная обработка данных и расчет среднечасовых значений  $\lambda_{\pm}$  осуществляются в полуавтоматическом режиме. Полученные результаты заносятся в банк данных (БД) «Атмосферное электричество» и используются, в том числе, для режимно-справочных обобщений.

Результаты обобщения данных измерений  $\lambda_{\pm}$  в Воейково и на других станциях СССР представлены в ряде работ (Климин, Шварц, 1992; Русина и др., 2000; Шварц, Соколенко, 2004), в которых была показана существенная зависимость  $\lambda_{\pm}$  от уровня загрязнения атмосферы. В Воейково, например, в 1960—1980-х годах имела место тенденция к уменьшению суммарной удельной

электрической проводимости воздуха  $\lambda_{\Sigma} = \lambda_{+} + \lambda_{-}$ , которую Шварц и Огуряева (1987) объяснили увеличением концентрации в воздухе аэрозольных частиц с размерами в субоптическом диапазоне. Также в Воейково, а ранее в Павловске (Аллик, Леушин, 1939) наблюдалось значительное уменьшение  $\lambda_{\pm}$  при ветрах со стороны Ленинграда (Семенов, 1974; Семенов и др., 1986). В связи с установленной корреляцией между характеристиками электрической проводимости воздуха и характеристиками фонового загрязнения атмосферы было предложено использовать данные об изменении  $\lambda_{\pm}$  в качестве одной из характеристик фонового мониторинга.

В настоящей работе проводится обобщение полученных в период с 1989 по 2010 г. материалов наблюдений за электрической проводимостью воздуха в Воейково. Предпосылкой для проведения исследований послужили результаты упомянутых выше работ. Известно, что на 1990-е годы в нашей стране, и в частности в Ленинградской области, пришелся спад промышленного производства. С другой стороны, в последние годы увеличивается загрязнение атмосферы автомобильным транспортом. Поэтому одной из целей настоящей работы было исследование того, отразились ли изменения в структуре источников загрязнения атмосферы на фоновых значениях электрической проводимости воздуха. Исходной информацией для статистического анализа являлась выборка среднечасовых значений  $\lambda_{\pm}$ , а также значений скорости и направления ветра из БД «Атмосферное электричество». Анализ данных проводился с помощью статистического программного пакета SPSS.

На рис. 1 приведен ход среднемесячных значений  $\lambda_{\pm}$  за рассматриваемый период наблюдений. Кривые имеют достаточно четко выраженную сезонную зависимость с минимумом  $\lambda_{\pm}$  в холодный период года. Это связано с уменьшением интенсивности ионизации приземного слоя воздуха за счет того, что снежный покров и промерзание почвы препятствуют выходу с ее поверхности радиоактивных газов (Тверской, 1949).

Был проведен регрессионный анализ рядов среднемесячных значений  $\lambda_{\pm}$ , в которых с помощью процедуры сезонной декомпозиции пакета SPSS устранен сезонный ход. Сезонная декомпозиция и регрессионный анализ проводились отдельно для трех периодов наблюдений. Результаты анализа сведены в табл. 1.

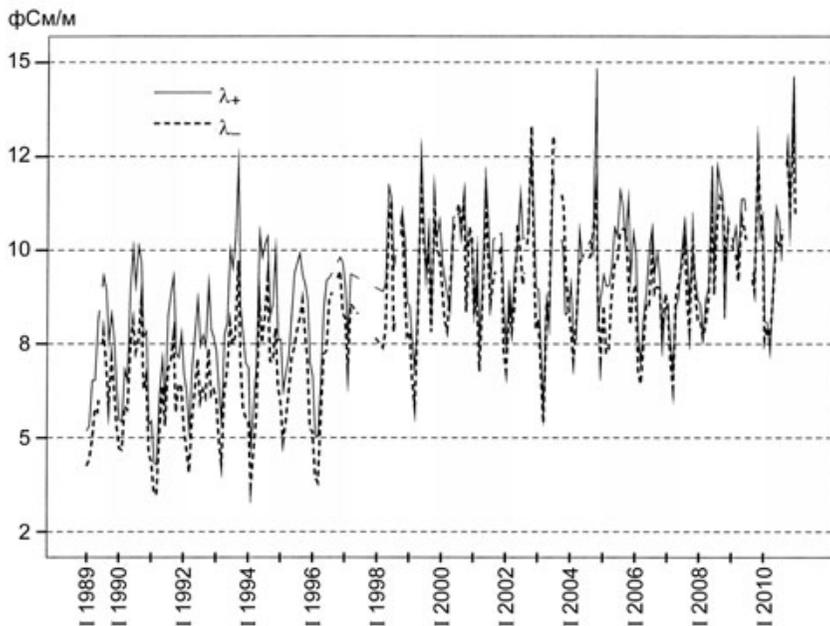


Рис. 1. Ход среднемесячных значений  $\lambda_{\pm}$  в период с 1989 по 2010 г.

Таблица 1

**Результаты регрессионного анализа для рядов  $\lambda_{\pm}$  по трем периодам наблюдений**

Период	Ряд	Коэф. лин. регрессии, фСм/(м · год)	$R^2$	Значимость по критерию Фишера
1989—1996	$\lambda_+$	0,16	0,126	Значим на уровне 95 %
	$\lambda_-$	0,14	0,143	Значим на уровне 95 %
1998—2010	$\lambda_+$	0,05	0,019	Не значим на уровне 95 %
	$\lambda_-$	0,07	0,06	Значим на уровне 95 %
2006—2010	$\lambda_+$	0,47	0,248	Значим на уровне 95 %
	$\lambda_-$	0,53	0,383	Значим на уровне 95 %

Из приведенных в таблице результатов следует, что на протяжении всего рассматриваемого периода в целом имело место статистически значимое увеличение электрической проводимости воздуха. В последние годы тренд стал более выраженным, хотя определенную роль в этом сыграло небольшое уменьшение  $\lambda_{\pm}$  в 2006—2007 гг. Коэффициенты линейной регрессии станут еще выше, если регрессионный анализ провести по данным за весь рассматриваемый период — с 1989 по 2010 г. Однако существенное влияние на результат оказывает резкое увеличение средних значений в рядах  $\lambda_{\pm}$  между 1996 и 1998 г., что хорошо видно из рис. 1. Скорее всего, в этот промежуток времени имело место нарушение однородности в рядах данных  $\lambda_{\pm}$ , поэтому считать надежными оценки общего тренда нельзя. Необходимо обсудить причины столь резкого увеличения средних значений в рядах  $\lambda_{\pm}$ .

Дело в том, что в 1997 г. пункт наблюдений АЭ со всей измерительной аппаратурой был перемещен из отдельно стоящего здания в павильон атмосферного электричества (на 100 м севернее). Способ установки выносного блока ИП при этом существенно не изменился (на наружной стене здания на высоте около 2,5 м), однако существенно различались конструкции самих зданий. Павильон атмосферного электричества двухэтажный, имеет глубокий бетонный подвал, тогда как здание, где прежде проводились наблюдения, было одноэтажным и стояло на небольшом бетонном фундаменте. Поэтому наблюдаемое увеличение значений  $\lambda_{\pm}$  может быть связано с локальным увеличением интенсивности ионизации воздуха  $q$  вблизи павильона как за счет высокой радиоактивности использовавшихся при строительстве материалов, так и в результате повышенной эманации радиоактивных газов из почвы вблизи здания.

Оценить величину изменения  $q$  можно исходя из следующей системы уравнений:

$$\begin{aligned} \lambda_{\pm} &= en_{\pm}\mu_{\pm}, \\ \frac{dn_{\pm}}{dt} &= q - \alpha n_{+}n_{-} - n_{\pm}\beta_{\pm}N. \end{aligned} \tag{1}$$

Первое уравнение выражает зависимость  $\lambda_{\pm}$  от счетной концентрации легких ионов  $n_{\pm}$  с подвижностью  $\mu_{\pm}$ , несущих элементарный электрический заряд  $e$ . Второе является уравнением ионизационно-рекомбинационного баланса, в котором  $\alpha$  — коэффициент рекомбинации легких ионов,  $\beta_{\pm}$  — эффективные коэффициенты присоединения ионов соответствующей полярности к незаряженным аэрозольным частицам со счетной концентрацией  $N$ . Решая второе уравнение в стационарном приближении в пренебрежении токами проводимости в атмосфере и турбулентным переносом (Атмосфера. Справочник, 1991), получаем:

$$\lambda_{\pm} = \frac{2qe\mu_{\pm}}{\beta_{\pm}N \left( 1 + \sqrt{1 + \frac{4\alpha q}{\beta_{+}\beta_{-}N^2}} \right)}. \quad (2)$$

Принимая  $\mu_{+} = 1,2 \text{ см}^2/(\text{В} \cdot \text{с})$ ,  $\mu_{-} = 1,4 \text{ см}^2/(\text{В} \cdot \text{с})$ ,  $\beta_{+} = \beta_{-} = 1,65 \cdot 10^{-6} \text{ см}^3/\text{с}$ ,  $\alpha = 1,6 \cdot 10^{-6} \text{ см}^3/\text{с}$ ,  $N = 10^3 \text{ см}^{-3}$  и фоновое значение  $q = 10 \text{ см}^{-3} \cdot \text{с}^{-1}$ , получаем, что имевшее место увеличение  $\lambda_{+}$  примерно на 2,5 фСм/м могло быть результатом увеличения  $q$  на  $3 \text{ см}^{-3} \cdot \text{с}^{-1}$ .

Однако наблюдаемые изменения в рядах  $\lambda_{\pm}$  нельзя объяснить только локальным усилением  $q$ , так как в соответствии со значениями статистических характеристик распределений  $\lambda_{\pm}$ , приведенными в табл. 2 отдельно по двум периодам измерений: 1989—1996 гг. (1-й период) и 1998—2010 гг. (2-й период), увеличение средних значений и дисперсий величин  $\lambda_{+}$  и  $\lambda_{-}$  после 1997 г. было непропорциональным (при этом форма распределений существенно не изменилась). В 1-й период отношение  $\lambda_{+}/\lambda_{-}$  равнялось в среднем 1,22, а во 2-й период оно уменьшилось до 1,06. Вместе с тем, из уравнения (2) следует, что если выполняются сделанные при его выводе допущения, то отношение  $\lambda_{+}/\lambda_{-}$  зависимости от  $q$  не имеет.

Качественное объяснение изменения  $\lambda_{+}/\lambda_{-}$  между 1-м и 2-м периодами может быть дано в рамках теории «электродного эффекта» (Куповых и др., 1998), который проявляется в том, что в приземном слое вертикальное распределение счетной концентра-

Таблица 2

Статистические характеристики распределения  $\lambda_{\pm}$ 

Характеристика	$\lambda_{+}$		$\lambda_{-}$	
	1989—1996	1998—2010	1989—1996	1998—2010
Среднее, фСм/м	7,7	9,6	6,3	9,1
Медиана, фСм/м	7,0	9,0	6,0	8,0
Стандартное отклонение, фСм/м	3,5	4,2	3,0	4,1
Коэффициент вариации	0,45	0,44	0,48	0,45
Асимметрия	0,82	0,89	0,89	0,92
Экссесс	0,54	0,76	1,02	0,91

ции ионов  $n_{\pm}$  существенно зависит от знака и величины напряженности электрического поля атмосферы  $E$ . В отсутствие осадков вектор  $E$  ориентирован практически всегда вниз, т. е. земная поверхность является «отрицательным электродом», поэтому в приземном слое концентрация отрицательных ионов ниже и выполняется соотношение  $\lambda_{-} < \lambda_{+}$ .

Имеются аналитические решения задачи распределения  $n_{\pm}$  вблизи плоской поверхности в ряде предельных случаев (Hoppel, 1967; Куповых и др., 1998), однако вблизи стены здания, где проводятся измерения  $\lambda_{\pm}$ , результаты расчета могут существенно отличаться от реального распределения. Как показано в работе Tuomi (1982), вблизи основания вертикальной стены за счет экранирования  $E$  электродный эффект уменьшается, и отношение  $n_{+}/n_{-}$  стремится к единице. Таким образом, более существенный рост  $\lambda_{-}$  по сравнению с  $\lambda_{+}$  после переноса измерений в павильон атмосферного электричества можно объяснить тем, что электродный эффект у основания двухэтажного павильона ниже, чем у одноэтажного здания, где ранее проводились измерения  $\lambda_{\pm}$ .

Дополнительным фактором существенного увеличения средних значений  $\lambda_{\pm}$  после 1997 г. могло также стать достаточно быстрое уменьшение фоновой концентрации аэрозоля в атмосфере, выражаемое параметром  $N$  в формуле (2). В отсутствие результатов прямых измерений  $N$  нельзя полностью исключить это предположение,

однако косвенно, на основании анализа изменений среднегодового хода  $\lambda_{\pm}$ , подтверждение получает обратная тенденция — увеличение  $N$  в Воейково, по крайней мере, в теплый период года.

Из рис. 2 видно, что средний годовой ход  $\lambda_{\pm}$  в период с 1989 по 1996 г. имел вид простой полуволны с максимумом, приходящимся на летние месяцы, объяснение чему было дано выше. Однако в последнее время наблюдается устойчивая тенденция относительного уменьшения  $\lambda_{\pm}$  в теплый период, так что годовой ход имеет два максимума — в конце весны и середине осени. Об этой деформации среднего годового хода в Воейково и Иркутске ранее уже сообщалось в работе Шварца и Соколенко (2003). Причину ее авторы работы связали с летним увеличением интенсивности движения автомобильного транспорта, который, как известно, в последние годы становится одним из основных источников выбросов аэрозолеобразующих газов в атмосферу.

Также устойчивой, хотя и менее выраженной характеристикой является суточный ход  $\lambda_{\pm}$ , приведенный на рис. 3 отдельно для холодного (ноябрь—март) и теплого (май—сентябрь) сезонов года и также по двум периодам наблюдений. Из приведенных графиков видно, что значительное изменение за последние годы

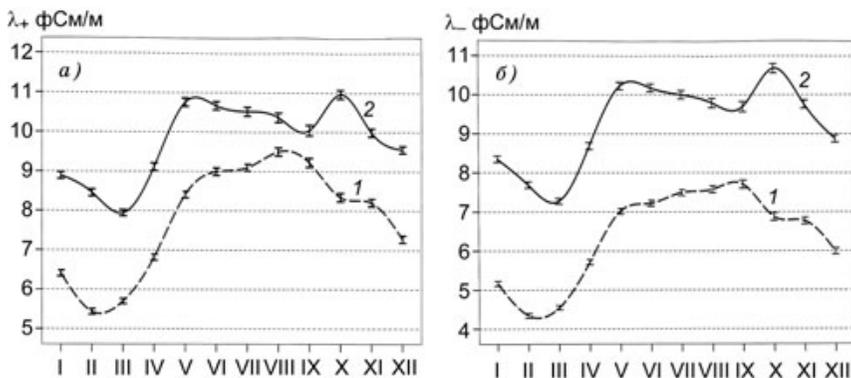


Рис. 2. Средний годовой ход  $\lambda_{+}$  (а) и  $\lambda_{-}$  (б) по двум периодам наблюдений. 1) 1989—1996 гг., 2) 1998—2010 гг.

Вертикальными отрезками обозначены 95 %-ные доверительные интервалы для средних значений.

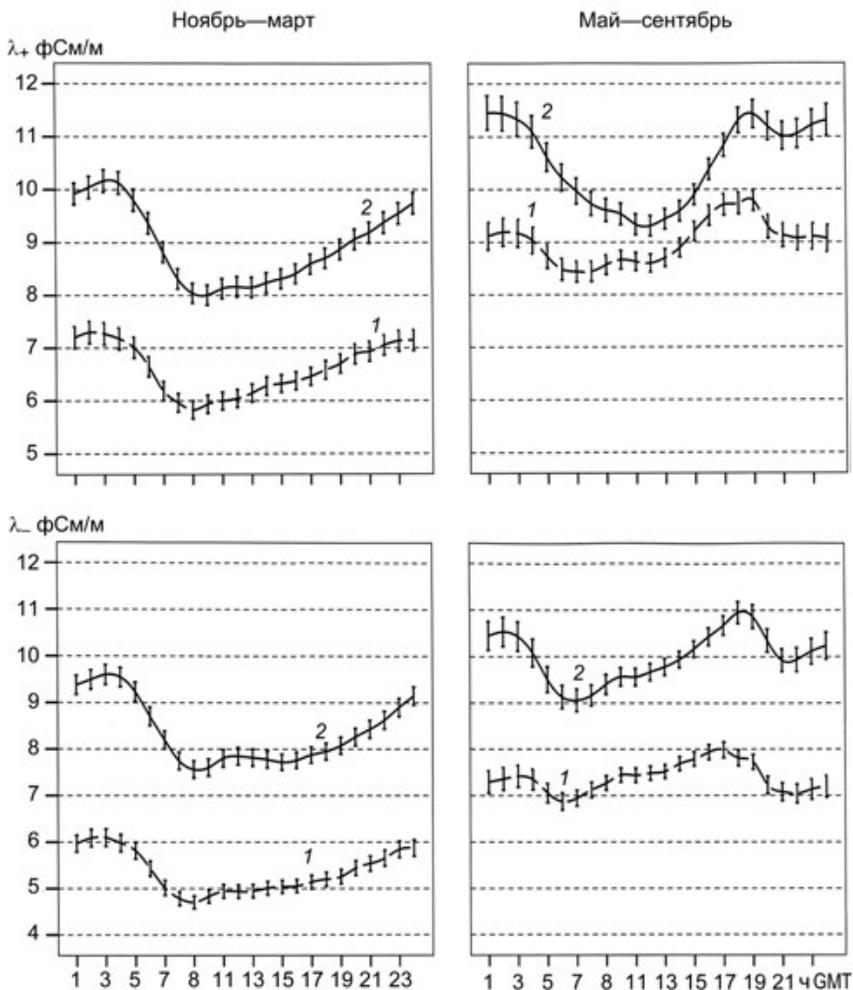


Рис. 3. Средний суточный ход  $\lambda_+$  (вверху) и  $\lambda_-$  (внизу) для холодного (ноябрь—март) и теплого (май—сентябрь) сезона года по двум периодам наблюдений.

Усл. обозначения см. рис. 2.

претерпела лишь форма суточного хода  $\lambda_+$  в теплый сезон года: минимум кривой сместился с 7 на 12 ч GMT (16 ч местного времени) и стал более глубоким. Форма распределений  $\lambda_+$  в холодный сезон и  $\lambda_-$  независимо от сезона практически не изменились. В настоящий момент имеющейся информации недостаточно для того, чтобы объяснить наблюдаемый эффект изменения суточного хода  $\lambda_+$  в летний период.

Таким образом, изменившиеся локальные условия — повышенный радиоактивный фон и искажение электрического поля атмосферы в месте установки выносного блока ИП — следует считать наиболее вероятной причиной увеличения значений  $\lambda_{\pm}$  после переноса наблюдений в 1997 г. Остается открытым и требует дальнейших исследований вопрос, каким образом следует ввести корректировки в результаты измерений, для того чтобы учесть указанные локальные изменения и привести данные к однородным рядам. Без такой корректировки нельзя получить надежные оценки возможных трендов в рядах  $\lambda_{\pm}$  за рассматриваемый период времени с 1989 по 2010 г.

Далее на этом же материале и с привлечением метеорологической информации были получены зависимости  $\lambda_{\pm}$  от направления ветра в Воейково. Данные измерений делились на 16 групп по направлениям ветра, расчет велся отдельно для периодов наблюдений со слабым (1—2 м/с) и сильным (3—6 м/с) ветром. Поскольку метеорологическая информация получена по результатам стандартных трехчасовых наблюдений, то данные по скорости и направлению ветра распространялись на час проведения наблюдений и последующий за ним. Для сопоставления исследования были проведены отдельно по двум периодам измерений (как и ранее), а также отдельно для теплого (май—сентябрь) и холодного (ноябрь—март) сезонов года. Графики полученных зависимостей  $\lambda_+$  и  $\lambda_-$  приведены на рис. 4 и 5 соответственно.

Из рисунков видно, что понижение электрической проводимости воздуха соответствует сектору направлений ветра ЮЮЗ—ЮЗ—ЗЮЗ—З, наибольшие значения приходятся на направления ЗСЗ—СЗ—ССЗ—С—ССВ—СВ—ВСВ и превышают минимум примерно в 1,5—2,0 раза. Форма распределения  $\lambda_{\pm}$  по направле-

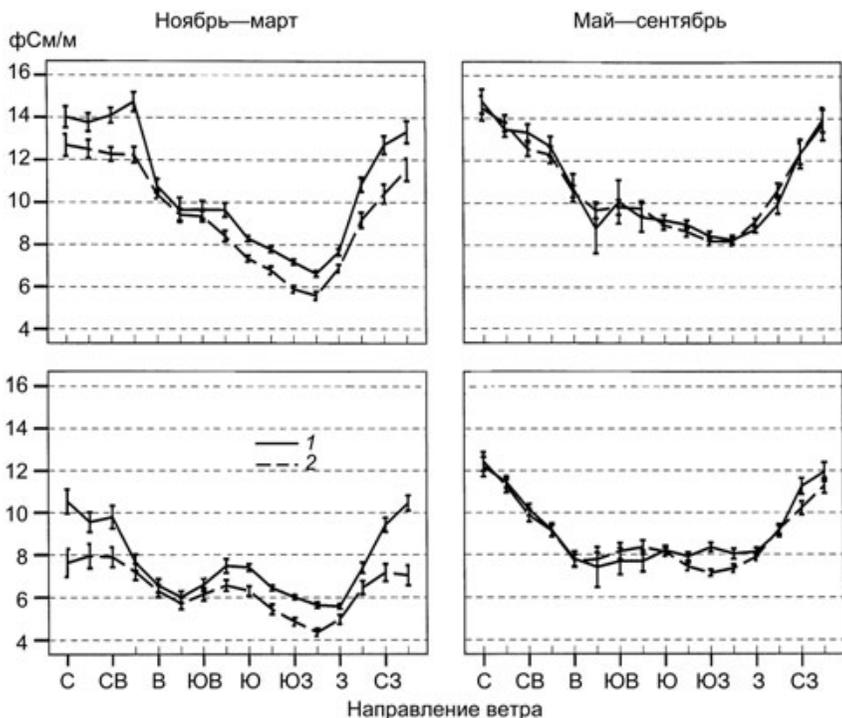


Рис. 4. Зависимость средних значений  $\lambda_+$  от направления и скорости ветра для холодного (ноябрь—март) и теплого (май—сентябрь) сезона года по двум периодам наблюдений: 1998—2010 гг. (вверху) и 1989—1996 гг. (внизу).

1 — слабый ветер (1—2 м/с), 2 — сильный ветер (3—6 м/с).

Вертикальными отрезками обозначены 95 %-ные доверительные интервалы для средних значений.

ниям ветра за два рассмотренных периода практически не изменилась — такая же зависимость наблюдалась в предыдущие годы (Семенов, 1974).

На рис. 6 для наглядности на картографическую основу наложен график распределения  $\lambda_\Sigma = \lambda_+ + \lambda_-$  в полярной системе координат для двух периодов наблюдений. Угловые координаты точек соответствуют направлениям ветра, а радиальные — средним зна-

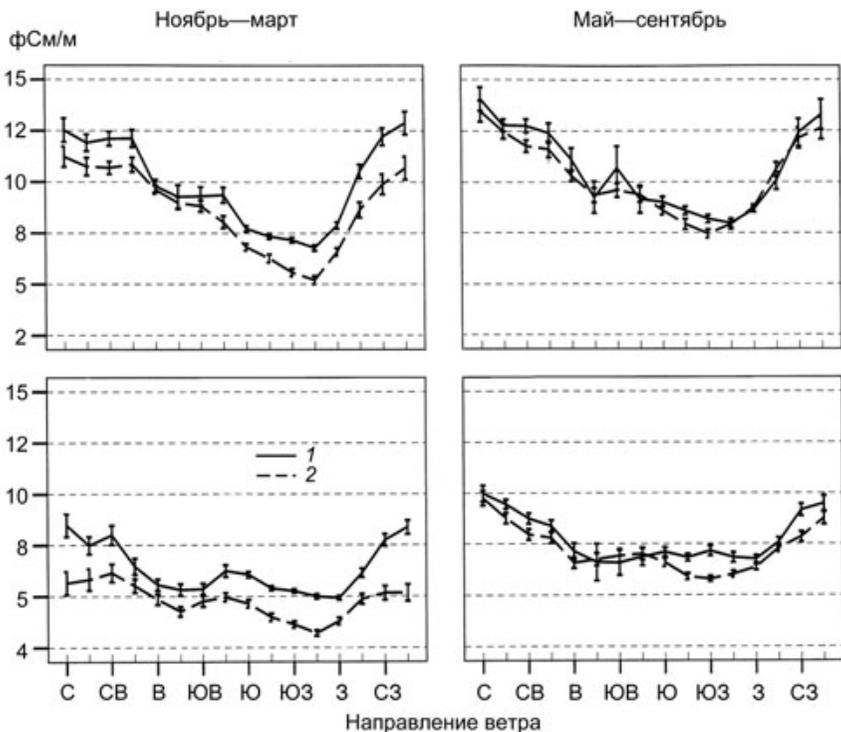


Рис. 5. Зависимость средних значений  $\lambda_{\Sigma}$  от направления и скорости ветра для холодного (ноябрь—март) и теплого (май—сентябрь) сезонов года по двум периодам наблюдений: 1998—2010 гг. (вверху) и 1989—1996 гг. (внизу).

Усл. обозначения см. рис. 4.

чениям  $\lambda_{\Sigma}$  для данного направления ветра; центр графика соответствует координатам п. Воейково. При анализе рисунка следует иметь в виду тот факт, что разница в абсолютных значениях двух кривых связана с нарушением неоднородности в рядах данных после переноса места измерений, поэтому сопоставлять следует только форму распределений. Хорошо видно, что сектор низких значений  $\lambda_{\Sigma}$  приблизительно соответствуют северной границе Санкт-Петербурга и южному берегу Ладожского озера, т. е. включает районы с относительно высокой промышленной активностью.

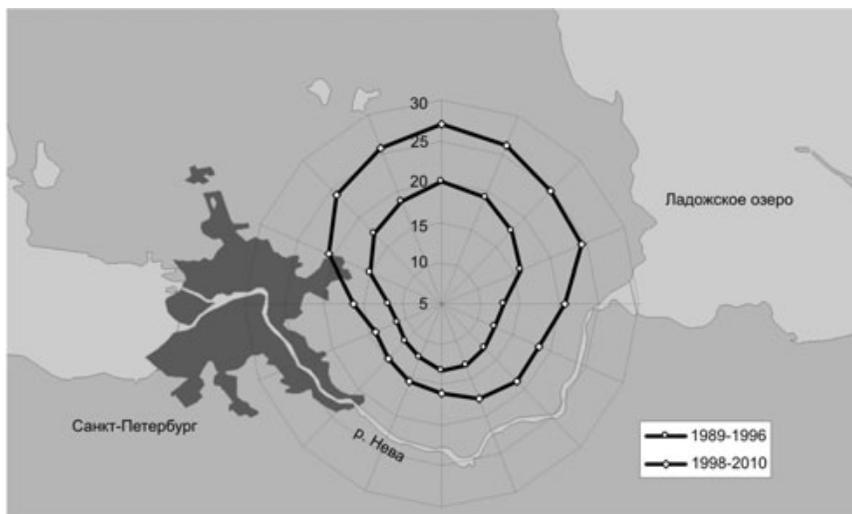


Рис. 6. Распределение  $\lambda_\Sigma$  по направлениям ветра за два периода наблюдений.

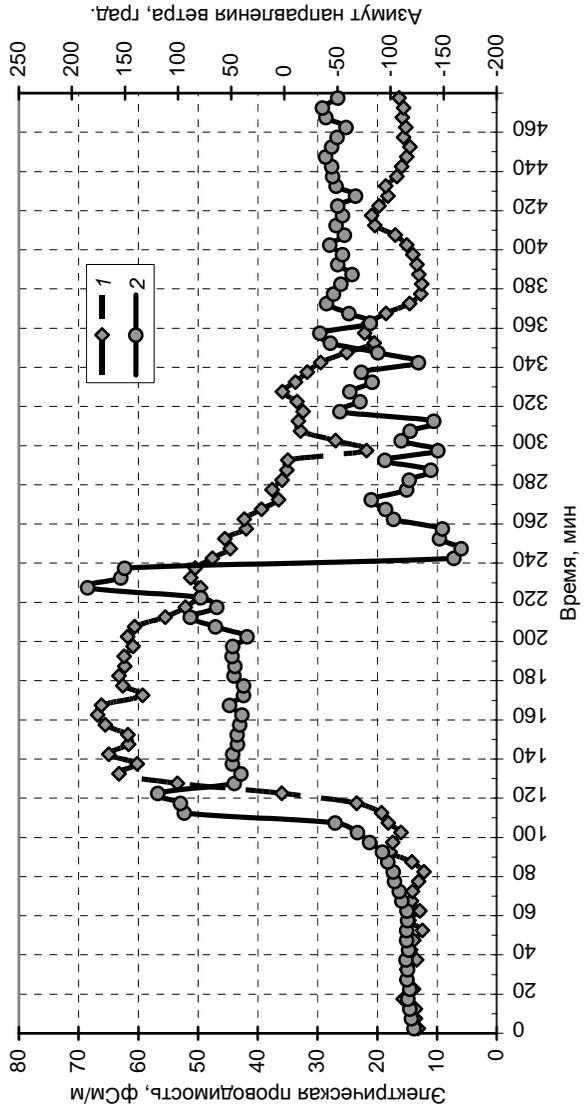
Обратившись к рис. 5, можно отметить, что зимой с усилением ветра значения  $\lambda_\pm$  в среднем увеличиваются (за исключением сектора В—ВЮВ—ЮВ), очевидно, за счет того, что вертикальное перемешивание препятствует накоплению аэрозоля в приземном слое. Летом же этот эффект практически незаметен. Объяснить это можно тем, что в условиях слабого перемешивания в летний период одновременно с аккумуляцией аэрозоля в приземном слое существенно увеличивается концентрация радиоактивных газов. В результате повышение интенсивности ионообразования в определенной мере компенсирует убыль легких ионов за счет их присоединения к аэрозольным частицам. Более того, выполненные Смирновым и др. (2007) измерения на границе Калужской и Орловской областей показали, что в условиях летних температурных инверсий может наблюдаться синфазное увеличение электрической проводимости воздуха и концентрации приземного радона с одновременным увеличением аэрозольного загрязнения атмосферы.

Для иллюстрации динамики изменчивости электрической проводимости воздуха на рис. 7 представлены графики хода  $\lambda_{\Sigma}$  и нескольких непрерывно регистрируемых метеорологических параметров при резкой смене направления ветра 24 ноября 2007 г. Анализ рисунка позволяет выделить следующие особенности. Во-первых, резкое увеличение  $\lambda_{\Sigma}$  после смены направления ветра на противоположное (с ЮЗ на СВ) произошло практически в момент увеличения скорости ветра от 0 до 5 м/с на отметке 120 мин. Здесь возникает вопрос: действительно ли за столь короткий промежуток времени (примерно 10 мин) имело место резкое изменение характеристик воздушной массы, в том числе ее аэрозольного состава, или же низкие начальные значения  $\lambda_{\Sigma}$  были связаны с локальным источником загрязнения, облако примесей которого сразу же было рассеяно при смене направления ветра? В пользу первого предположения свидетельствует наблюдаемое столь же значительное изменение температуры (а также не указанный на графиках рост атмосферного давления), т. е. имело место вторжение холодного воздуха с существенно более низкой концентрацией аэрозольных частиц.

Далее, в интервале между 130-й и 200-й минутами анализируемого периода наблюдалось стабильно высокое значение  $\lambda_{\Sigma}$  на фоне уменьшения в два раза скорости и порывов северо-восточного ветра. Отсюда можно заключить, что территория к северо-востоку от Воейково имеет достаточно однородный характер по уровню интенсивности аэрозольных и ионизирующих источников.

В районе отметки 240 мин направление ветра вновь сменилось на юго-западное, и за следующий час произошло постепенное уменьшение  $\lambda_{\Sigma}$  примерно в два раза. Затем, после 340-й минуты (8 ч 40 мин по местному времени) значение  $\lambda_{\Sigma}$  резко уменьшилось — до 10—15 фСм/м, а направление ветра сменилось на северо-западное. Некоторое влияние здесь могли оказать утренний пик движения транспорта и увеличение выбросов промышленных предприятий.

Приведенные результаты исследований служат подтверждением того, что электрическая проводимость воздуха может выступать одним из индикаторов аэрозольного загрязнения атмосферы. Обработка наблюдений за продолжительный период вре-



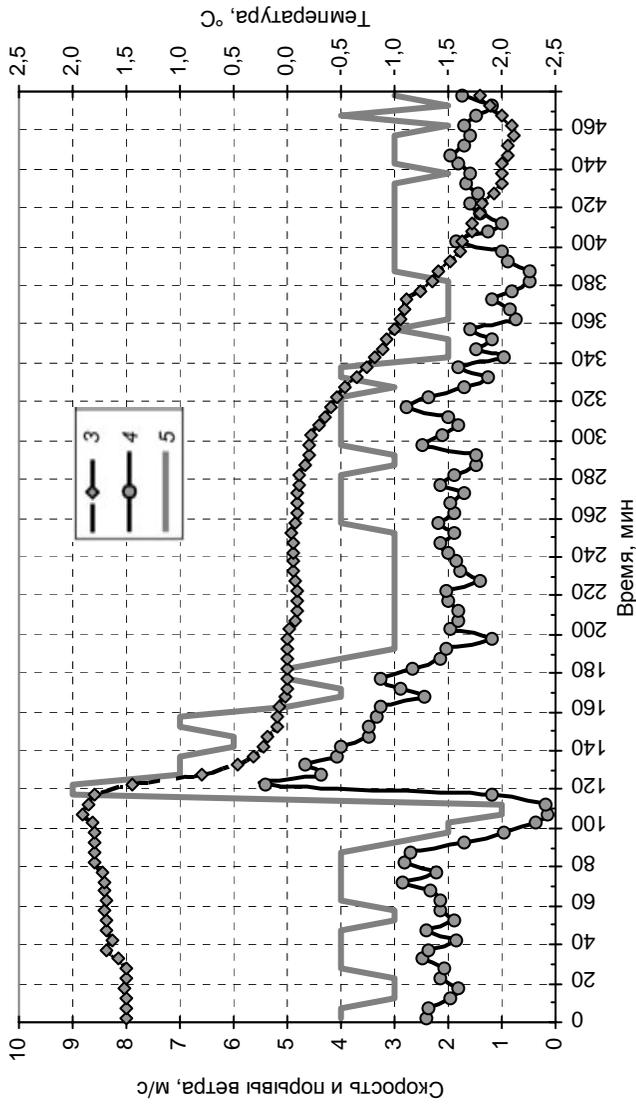


Рис. 7. Ход суммарной электрической проводимости воздуха (1) и направления ветра (2), а также температуры (3), средней скорости ветра (4) и порывов ветра (5).

Начало записи 24 ноября 2007 г., 00 GMT; осадки в течение всего периода отсутствовали.

мени позволила выделить закономерности изменчивости электрической проводимости воздуха, вызванные действием загрязняющих атмосферу источников регионального масштаба — в случае Воейково это влияние Санкт-Петербурга.

Вместе с тем, при организации измерений  $\lambda_{\pm}$  для задач фоновый мониторинга нужно тщательно подходить к выбору места проведения измерений, учитывая, в том числе, возможное влияние локальных искажающих факторов на результаты измерений. Перспективным также является включение непрерывных измерений  $\lambda_{\pm}$  в системы оперативных оценок загрязненности атмосферы. При этом для получения достоверных оценок необходимы привлечение дополнительной (в том числе метеорологической) информации и развитие методов комплексного анализа данных.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Атмосфера. Справочник (1991). — Л.: Гидрометиздат. 509 с.
- РД 52.04.168 (2001). Методические указания. Наблюдения за атмосферным электричеством. — СПб.: Гидрометиздат. 58 с.
- Алик Р. А., Леушин Н. И.* (1939). Некоторые выводы из наблюдений над электрическим состоянием атмосферы в Слуцке (б. Павловске) за 20 лет (1916—1935 гг.) // Труды ГГО. Вып. 30. С. 34—59.
- Климин Н. Н., Шварц Я. М.* (1992). Оценка трендов в рядах данных приземного атмосферного электричества за 1916—1992 годы // Метеорология и гидрология. № 11. С. 20—28.
- Куповых Г. В., Морозов В. Н., Шварц Я. М.* (1998). Теория электродного эффекта в атмосфере. — Таганрог.: Изд-во ТРГУ. 122 с.
- Русина Е. Н., Хлебникова Е. И., Шварц Я. М.* (2000). Электрическая проводимость воздуха и ее связь с характеристиками фонового загрязнения атмосферы // Труды НИЦ ДЗА. Вып. 2 (548). С. 3—10.
- Семенов К. А., Шварц Я. М., Жукова М. П., Соколенко Л. Г., Камышанова В. А.* (1986). Особенности результатов измерений величин атмосферного электричества в Воейково // Труды ГГО. Вып. 458. С. 3—9.
- Семенов К. А.* (1974). Влияние локальных условий на элементы атмосферного электричества // Труды ГГО. Вып. 323. С. 109—118.
- Смирнов В. В., Панютин А. А., Клименко В. В.* (2007). Новые технологии моделирования взаимодействия электрических и аэрозольных компонентов в нижней атмосфере // Сборник трудов VI Всероссийской конференции по атмосферному электричеству. — Нижний Новгород, с. 273—275.

*Соколенко Л. Г., Шварц Я. М. (1990).* Датчик электрической проводимости воздуха // Труды ГГО. Вып. 527. С. 33—35.

*Таммет Х. Ф. (1977).* Электрические параметры загрязненности воздуха // Уч. зап. ТГУ. Вып. 443. С. 48—51.

*Тверской П. Н. (1949).* Атмосферное электричество. — Л.: Гидрометеиздат. 252 с.

*Шварц Я. М., Огуряева Л. В. (1987).* Многолетний ход величин атмосферного электричества в приземном слое. — Метеорология и гидрология. № 7. С. 59—64.

*Шварц Я. М., Соколенко Л. Г. (2004).* Результаты многолетних измерений градиента потенциала электрического поля атмосферы и удельных полярных электрических проводимостей воздуха в приземном слое на территории России // Проектирование и технология электронных средств. Спец. вып.: Атмосферное электричество. С. 55—60.

*Hoppel W. A. (1967).* Theory of electrode effect // J. Atm. and Terr. Phys. V. 29. P. 709—721.

*Tuomi T. J. (1982).* The atmospheric electrode effect over snow // J. Atm. and Terr. Phys. V. 44. P. 737—745.

**ИССЛЕДОВАНИЕ СУТОЧНОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ  
КОНЦЕНТРАЦИИ АТМОСФЕРНОГО ВОДОРОДА  
В ОКРЕСТНОСТЯХ САНКТ-ПЕТЕРБУРГА  
И ОЦЕНКА ЕГО ЭМИССИИ С ГОРОДСКОЙ ТЕРРИТОРИИ**

*А. А. Образцова, Н. Н. Парамонова, В. И. Привалов*

Главная геофизическая обсерватория им. А. И. Воейкова  
194021 Санкт-Петербург, ул. Карбышева, 7  
E-mail: reshal@peterlink.ru

Поступила в редакцию 24.01.2011  
Поступила после доработки 21.02.2011

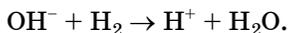
**Введение**

Повышенный интерес к содержанию молекулярного водорода ( $H_2$ ) в атмосфере возник в связи с перспективами его использования в качестве альтернативного вида топлива. Переход на так называемую водородную энергетику неизбежно приведет к увеличению эмиссии водорода в атмосферу. Водород является одним из парниковых газов непрямого действия. Он нетоксичен.

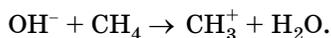
Продолжительность жизни молекулярного водорода в атмосфере составляет около двух лет, его глобальное содержание оценивается приблизительно в 140 млн тонн. Основное количество водорода (около 50 %) образуется в атмосфере при фотолизе формальдегида ( $CH_2O$ ), который сам является продуктом окисления метана и летучих органических соединений. Около 10 % вклада в концентрацию тропосферного  $H_2$  связано с биохимией морской растительности и процессами фиксации азота в почве. Неполное сжигание ископаемого топлива, т. е. выбросы, обусловленные деятельностью человека, составляет примерно 25 % общей эмиссии. Еще 20 % водорода поступает в атмосферу в результате сжигания биотоплива. Основным механизмом удаления водорода из атмосферы является его сток в почву, где он разрушается почвенными

микроорганизмами. Этот механизм определяет около 80 % общего стока. Примерно 20 % стока обусловлено разрушением  $\text{H}_2$  путем его реакции с гидроксильными радикалами (Price et al., 2007).

Влияние водорода на содержание в атмосфере основных парниковых газов осуществляется посредством реакции с гидроксильными радикалами:



Потенциальным последствием увеличения выбросов  $\text{H}_2$  может стать сокращение глобальной окислительной способности атмосферы. По данным авторов IV Оценочного доклада Международной группы экспертов по изменению климата, в настоящее время молекулярный водород обеспечивает 5—10 % глобального стока гидроксильных радикалов (IPCC, 2007). Снижая содержание гидроксильных радикалов в атмосфере, водород увеличивает время жизни некоторых парниковых газов прямого действия, например метана, который разрушается в результате взаимодействия с гидроксильными радикалами:



Повышение концентрации молекулярного водорода в атмосфере способствует образованию водяного пара в стратосфере, который может оказывать влияние на изменение климата, а также на фотохимические процессы, в том числе связанные с образованием озона (Atkinson, 2000; Schultz et al., 2003).

## 1. Место и метод измерений

Измерения концентрации молекулярного водорода проводились на экспериментальной базе Главной геофизической обсерватории им. А. И. Воейкова, расположенной в поселке Воейково (59°57' с. ш., 30°42' в. д.). Данное место измерений благоприятно для изучения антропогенных выбросов в районе Санкт-Петербурга, поскольку в северо-западном и юго-западном секторах

горизонта (210—320°) находится территория города, а в восточном (0—175°) — малонаселенная заболоченная низменность, практически свободная от антропогенных источников. Это позволяет, с одной стороны, регистрировать фоновые значения концентрации водорода, а с другой, изучать влияние на концентрацию водорода такого крупного промышленного центра, как Санкт-Петербург.

Измерения концентрации молекулярного водорода в атмосферном воздухе производились газохроматографическим методом. Установка для измерения концентрации водорода была создана на базе хроматографа «Кристалл-5000.2» фирмы ХРОМАТЭК с использованием импульсного газоразрядного детектора (Привалов и др., 2010). Погрешность измерений, подтвержденная результатами международных сравнений, не превышала 1 %.

Измерения концентрации молекулярного водорода с дискретностью 20 минут проводились в период с 16 августа 2007 г. по 30 июня 2009 г. При анализе причин наблюдавшихся изменений концентраций водорода в приземном слое атмосферы была привлечена метеорологическая информация (данные о направлении и скорости ветра, атмосферном давлении, а также температуре и относительной влажности воздуха).

## **2. Суточные вариации концентрации водорода в Воейково**

Задача данного исследования заключалась в получении характеристик суточной изменчивости концентрации молекулярного водорода в атмосфере. Суточные вариации определяются действующими в окрестностях места наблюдений источниками и стоками исследуемого газа и условиями переноса и разбавления примеси.

Изменение со временем как интенсивности выбросов, так и условий перемешивания примеси в атмосфере, приводит к сильной изменчивости суточного хода концентрации водорода. Примеры суточного хода по результатам измерений в Воейково приведены на рис. 1.

При направлении ветра из сектора, свободного от антропогенных источников (0—175°), концентрация водорода остается

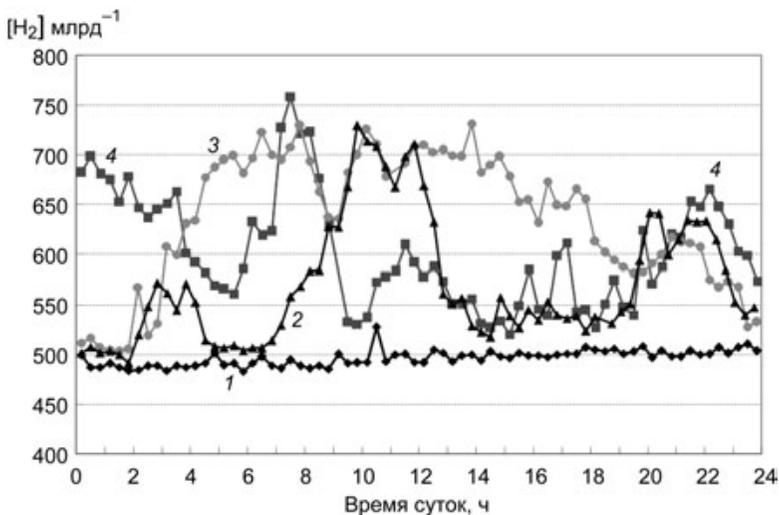


Рис. 1. Примеры суточного хода концентрации водорода для станции Воейково.

1 — 15 сентября 2008 г., 2 — 24 сентября 2008 г., 3 — 1 февраля 2009 г., 4 — 2 мая 2009 г.

практически неизменной в течение суток (15 сентября 2008 г., см. рис. 1, кривую 1). Вариации концентрации водорода за 15 сентября 2008 г. характеризуются среднеквадратическим отклонением, равным  $7 \text{ млрд}^{-1}$ .

При направлении ветра со стороны Санкт-Петербурга ( $210\text{—}320^\circ$ ) суточный ход концентрации водорода отличаются большой изменчивостью. Наблюдаемые вариации концентрации водорода достигают  $200\text{—}250 \text{ млрд}^{-1}$ , причем максимумы концентрации водорода наблюдались в разное время суток.

Для анализа суточных вариаций концентрации водорода из общего массива данных были сформированы две выборки: значения концентрации водорода, полученные при направлении ветра из «чистого» сектора ( $0\text{—}175^\circ$ ), свободного от антропогенных источников, и значения, зарегистрированные при направлении ветра со стороны Санкт-Петербурга ( $210\text{—}320^\circ$ ). Каждый из ука-

занных массивов, в свою очередь, был разделен на четыре массива по сезонам года. Для указанных массивов вычислялись среднечасовые значения концентрации водорода и их среднеквадратические отклонения (СКО). Полученные осредненные результаты представлены на рис. 2, из которого следует, что при направлении ветра из «чистого» сектора концентрация водорода изменяется в течение суток незначительно. Колебания в течение суток средней концентрации составляют в различные сезоны года от 6 до 16 млрд<sup>-1</sup>. Среднеквадратическое отклонение средних значений варьирует в пределах от 9 до 36 млрд<sup>-1</sup>.

При отсутствии воздействия антропогенных источников можно проследить влияние стока водорода в почву. Величина стока зависит от структуры почвы, ее температуры и влажности и достигает наибольшего значения летом и осенью (Hammer and Levin, 2009). Влияние стока на результирующую концентрацию водорода изменяется в течение суток не за счет изменений величины самого стока, а за счет резкого изменения условий перемешивания. Такие ситуации реализуются в теплое время года в антициклонических условиях. Формирующаяся при этом приземная температурная инверсия создает устойчивую стратификацию в приземном слое атмосферы, затрудняя вертикальный воздухообмен и уменьшая в несколько раз высоту слоя перемешивания, что приводит к уменьшению концентрации водорода за счет его стока в почву.

Прогрев подстилающей поверхности в дневное время приводит к формированию развитой турбулентности. По мере прогрева у подстилающей поверхности формируется хорошо перемешанный слой, толщина которого возрастает. После полудня высота слоя перемешивания может превышать 1000 м (Климатические характеристики, 1983). Сильное вертикальное перемешивание (неустойчивая стратификация) приводит к ослаблению действия стока на результирующую концентрацию в слое перемешивания.

Тенденция к снижению концентрации водорода в утренние часы для летнего и осеннего сезонов (см. рис. 2 б и в, чистый сектор) обусловлена описанным выше фактором. Осреднение большого числа данных сглаживает эту зависимость, поскольку не весь летний период характеризуется четко выраженным изменением условий перемешивания в течение суток.

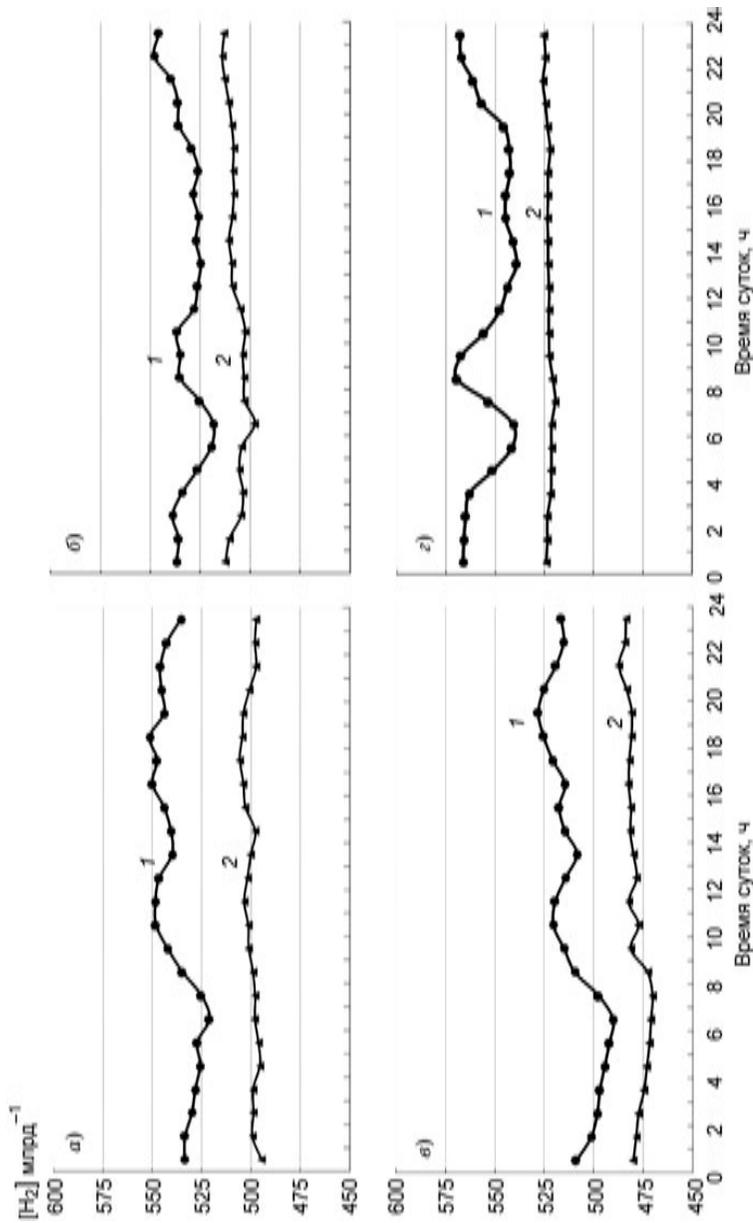


Рис. 2. Суточный ход концентрации водорода на станции Воейково в различные сезоны года.

*a* — зима, *б* — лето, *в* — осень, *г* — весна.

*1* — ветер со стороны Санкт-Петербурга, *2* — ветер из «чистого» сектора.

Осредненный суточный ход при направлении ветра со стороны Санкт-Петербурга и его окрестностей отличается гораздо большей изменчивостью. Вариации средней за сезон концентрации водорода в течение суток составляют около 30 млрд<sup>-1</sup>, а осенью достигают 38 млрд<sup>-1</sup>. Величина СКО для данных рядов изменяется в пределах от 15 до 72 млрд<sup>-1</sup>.

Из рис. 2 видно, что во все сезоны года минимум концентрации Н<sub>2</sub> наблюдается около 6 часов утра. После этого концентрация водорода начинает возрастать и достигает своего пика к 10—11 часам в осенне-зимний сезон и к 9—10 часам — в весенне-летний. Это увеличение концентрации водорода, по-видимому, связано с повышением интенсивности движения автотранспорта на дорогах Санкт-Петербурга и его пригородов в утренние часы. Следует отметить, что в различные сезоны года суточный ход концентрации водорода имеет свою специфику. В осенне-зимний период после утреннего пика концентрация водорода незначительно понижается (около 13 часов), а затем вновь начинает возрастать и остается достаточно высокой до конца суток.

Весной и летом уменьшение концентрации водорода к 13 часам более существенно. Концентрация водорода остается пониженной до 18—19 часов вечера, после чего вновь возрастает. Такой тип изменения концентрации примеси может быть обусловлен переходом к интенсивному дневному перемешиванию и уменьшению влияния антропогенной эмиссии на результирующую концентрацию примеси в слое перемешивания.

Очень отчетливо указанные закономерности (выраженный максимум концентрации в утренние часы и минимум с 16 до 19 часов) проявились в суточном ходе концентрации метана, полученном по измерениям, выполненным в Воейково (Zinchenko и др., 2002; Макарова и др., 2006). Суточный ход концентрации метана обусловлен практически одним фактором, а именно изменением условий перемешивания в течение суток. В работах Zinchenko et al. (2002), Макаровой и др. (2006) высказывается мнение о том, что эмиссия метана с территории Санкт-Петербурга мало меняется со временем, поскольку ее основным источником является газораспределительная система.

Таким образом, проведенный анализ позволил выявить основные закономерности суточной изменчивости концентрации водорода, а также показать влияние антропогенных источников и естественного стока водорода в почву на его концентрацию в атмосферном воздухе.

### **3. Оценка эмиссии водорода с территории Санкт-Петербурга и ее межгодовая изменчивость**

В настоящее время оценки эмиссии молекулярного водорода на основе измерений или инвентаризации выбросов в России отсутствуют, поскольку повышенный интерес к нему возник относительно недавно. Охарактеризовать Санкт-Петербург как источник молекулярного водорода можно косвенным путем, ориентируясь на объемы выбросов оксида углерода (CO), которые определяются ежегодно, поскольку оксид углерода является загрязняющим веществом (Ежегодник, 2001—2008).

Экспериментально показано, что [CO] и [H<sub>2</sub>] в атмосфере демонстрируют достаточно тесную корреляцию, поскольку эти газы фактически имеют общие антропогенные источники. Прирост концентрации рассматриваемых газов ( $\Delta[H_2]$  и  $\Delta[CO]$ ) пропорционален их эмиссии в окрестностях места наблюдений. Отношение  $\Delta[H_2]/\Delta[CO]$  определяет наклон кривой зависимости концентрации водорода от концентрации оксида углерода. Как показали экспериментальные исследования, отношение  $\Delta[H_2]/\Delta[CO]$ , т. е. отношение объемов эмиссии указанных газов, изменяется от 0,33 (Steinbacher et al., 2007) до 0,48 (Hammer et al., 2009; Vollmer et al., 2007).

Для оценки эмиссии молекулярного водорода с территории Санкт-Петербурга использовались данные инвентаризации выбросов оксида углерода стационарными источниками и автотранспортом за период с 2000 по 2008 г., взятые из Ежегодников (Ежегодник выбросов, 2001—2008).

Расчет эмиссии водорода ( $E_{H_2}$ ) производился по следующей формуле:

$$E_{\text{H}_2} = E_{\text{CO}} \frac{\Delta[\text{H}_2]}{\Delta[\text{CO}]} \frac{M_{\text{H}_2}}{M_{\text{CO}}}, \quad (1)$$

где  $E_{\text{H}_2}$  — эмиссия водорода (кг/год),  $E_{\text{CO}}$  — эмиссия оксида углерода (кг/год),  $M_{\text{H}_2}$  — молярная масса водорода (а.е.м.),  $M_{\text{CO}}$  — молярная масса оксида углерода (а.е.м.).

Динамика изменения полученных объемов антропогенной эмиссии молекулярного водорода с территории Санкт-Петербурга представлена на рис. 3.

Поскольку отношение  $\Delta[\text{H}_2]/\Delta[\text{CO}]$ , равное 0,33 (Steinbacher et al., 2007), получено без учета стока водорода в почву, оценка эмиссии водорода, произведенная по этому отношению, является несколько заниженной. Более обоснованной можно считать оценку эмиссии водорода, произведенную по отношению  $\Delta[\text{H}_2]/\Delta[\text{CO}]$ , равному 0,48 (Hammer et al., 2009; Vollmer et al., 2007). В соответствии

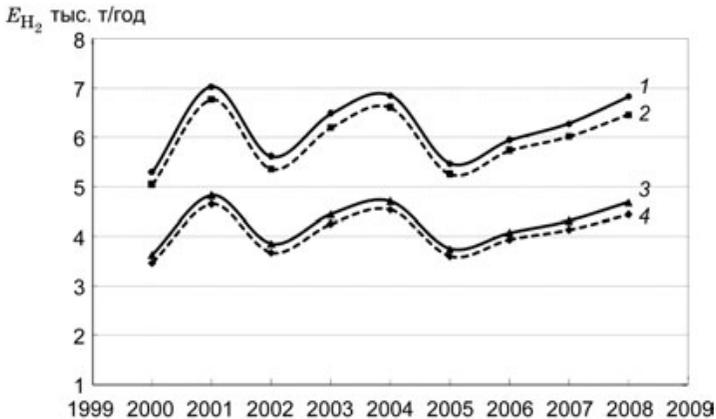


Рис. 3. Динамика изменения расчетной антропогенной эмиссии водорода ( $E_{\text{H}_2}$ ) за период с 2000 по 2008 г.

1 и 2 — общие выбросы при  $\Delta[\text{H}_2]/\Delta[\text{CO}]$ , равном 0,48 (1) и 0,33 (2);  
 2 и 4 — выбросы автотранспорта при  $\Delta[\text{H}_2]/\Delta[\text{CO}]$ , равном 0,48 (2)  
 и 0,33 (4).

с этой оценкой объемы эмиссии молекулярного водорода с территории Санкт-Петербурга в 2008 г. возросли по сравнению с 2000 г. на 1,5 тыс. т/год. Максимальное значение суммарной эмиссии (7 тыс. т/год) соответствует 2001 г., а наименьшее значение приходится на 2000 г. и составляет 5 тыс. т/год.

Доля выбросов автотранспорта в общем объеме выбросов водорода варьирует в течение рассматриваемых девяти лет в пределах от 95 до 97 %. В 2008 г. доля водорода снизилась до 95 %, что обусловлено увеличением выбросов стационарных источников на 3 тыс. т/год по сравнению с 2007 г.

В 2006 г. оценка эмиссии молекулярного водорода с территории всей Европы на основе определения отношения  $\Delta[\text{H}_2]/\Delta[\text{CO}]$  производилась по данным одной из станций швейцарской Национальной сети мониторинга загрязнения воздуха (NABEL) (Steinbacher et al., 2007). В расчетах использовались данные инвентаризации выбросов CO, предоставленные ЕМЕП (European Monitoring and Evaluation Program), и диапазон значений отношения  $\Delta[\text{H}_2]/\Delta[\text{CO}]$  от 0,33 до 0,46. Полученные значения суммарной антропогенной эмиссии водорода с территории Европы за 2003 г. составили 750—950 тыс. т/год, из которых 370—480 тыс. т/год обусловлено автотранспортом. Таким образом, доля выбросов автотранспорта составляет около 50 % всей антропогенной эмиссии водорода с территории Европы, тогда как по результатам оценок, проведенных в Санкт-Петербурге, эта доля может достигать 97 %.

### Заключение

Непрерывные измерения концентрации водорода в атмосферном воздухе, проводившиеся в период с 16 августа 2007 г. по 30 июня 2009 г на станции Воейково, расположенной в окрестностях Санкт-Петербурга, позволили получить основные закономерности суточной изменчивости концентрации водорода, обу-

словленные влиянием как антропогенных, так и естественных источников/стоков водорода.

На основе анализа суточных вариаций концентрации водорода, наблюдаемых в Воейково, показано существенное влияние антропогенных источников на концентрацию водорода в атмосферном воздухе. Возрастание концентрации водорода к 9—11 часам утра, наблюдаемое в разные сезоны года, связано с повышением интенсивности движения автотранспорта на дорогах Санкт-Петербурга и его пригородов в утренние часы. В зимний период достигнутый к указанному времени уровень концентрации сохраняется до конца суток. В летний и весенний сезоны года влияние антропогенных выбросов существенно ослабевает в период с 13 до 19 часов, когда происходит интенсивное дневное перемешивание. Среднее превышение концентрации водорода над фоновым уровнем за счет антропогенных источников изменяется от  $20 \text{ млрд}^{-1}$  в условиях интенсивного дневного перемешивания до  $50 \text{ млрд}^{-1}$  при ограничении процессов перемешивания.

При направлениях ветра из сектора, свободного от антропогенных источников, концентрация водорода незначительно изменяется в течение суток. В отсутствие действия антропогенных источников можно проследить снижение концентрации водорода в утренние часы, обусловленное его стоком в почву. Указанная особенность суточного хода наблюдается в сезоны максимальной интенсивности стока водорода в почву, а именно летом и осенью.

Оценка эмиссии водорода с территории Санкт-Петербурга за период с 2000 по 2008 г. выполнена на основе установленной по результатам измерений эмпирической связи концентрации  $\text{H}_2$  и  $\text{CO}$  и данных инвентаризации антропогенных выбросов оксида углерода. Общая эмиссия водорода в течение рассматриваемого периода варьирует в пределах от 5 до 7 тыс. т/год. При этом доля выбросов автотранспорта превышает 95 %.

*Работа выполнена при поддержке гранта ЕС «EUROHYDROS», контракт № 036916.*

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Ежегодники выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферный воздух городов и регионов Российской Федерации за 2000—2008 гг. (2001—2009) / Под ред. В. Б. Миляева, А. Н. Ясенского. — СПб.: НИИ Атмосфера.

Климатические характеристики условий распространения примесей в атмосфере (1983). Справочное пособие / Под ред. Э. Ю. Безуглой, М. Е. Берлянда. — Л.: Гидрометеиздат. 328 с.

*Макарова М. В., Поберовский А. В., Яговкина С. В., Кароль И. Л., Лагун В. Е., Парамонова Н. Н., Решетников А. И., Привалов В. И.* (2006). Исследование процессов формирования поля метана в атмосфере Северо-Западного региона Российской Федерации // Известия РАН. Физика атмосферы и океана. Т. 42, № 2. С. 237—249.

Охрана окружающей среды в России (2008). Статистический сборник. — М.: Росстат. 253 с.

*Привалов В. И., Парамонова Н. Н.* (2010). Газохроматографические измерения концентрации водорода в атмосферном воздухе // Труды ГГО. Вып. 561. С. 266—275.

*Atkinson R.* (2000). Atmospheric chemistry of VOCs and NO<sub>x</sub> // *Atm. Environ.*, 34(12—14). P. 2063—2101.

*Hammer S., Levin I.* (2009). Seasonal variation of the molecular hydrogen uptake by soil inferred from continuous atmospheric observations in Heidelberg, Southwest Germany // *Tellus*. 61B. P. 556—565.

*Hammer S., Vogel F., Kaul M., Levin I.* (2009). The H<sub>2</sub>/CO ratio of emissions from combustion sources: comparison of top-down with bottom-up measurements in Southwest Germany // *Tellus*. 61B. P. 547—555.

IPCC, Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change / S. Solomon, D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K. B. Averyt, M. Tignor, H. L. Miller. — Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, Cambridge University Press. 996 p.

*Price H., Jaegle L., Rice A., Quay P., Novelli P.C. and Gammon R.* (2007). Global budget of molecular hydrogen and its deuterium content: constraints from ground station, cruise and aircraft observations // *J. Geophys. Res.*, 112, D22108.

*Schultz M. G., Diehl T., Basseur G. P., Zittel W.* (2003). Air pollution and climate-forcing impacts of a global hydrogen economy // *Science*, 302. P. 624—627.

*Steinbacher M., Fischer A., Vollmer M. K., Buchmann B., Reimann S.* (2007). Perennial observations of molecular hydrogen (H<sub>2</sub>) at a suburban site in Switzerland // *Atm. Environ.*, 41(10). P. 2111—2124.

*Vollmer M. K., Juergens N., Steinbacher M., Reimann S., Weilenmann M.* (2007). Road vehicle emissions of molecular hydrogen ( $H_2$ ) from a tunnel study // *Atm. Environ.*, 41. P. 8355—8369.

*Zinchenko A. V., Paramonova N. N., Privalov V. I., Reshetnikov A. I.* (2002). Estimation of methane emissions in the St. Petersburg, Russia, region: An atmospheric nocturnal boundary layer budget approach // *Geophys. Res. V.* 107(D20). 4416.

## **РАЗВИТИЕ АРХИВНОЙ СИСТЕМЫ ДАННЫХ О СОСТОЯНИИ ОКРУЖАЮЩЕЙ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ НА БАЗЕ СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ**

*В. М. Шаймарданов*

Всероссийский научно-исследовательский институт  
гидрометеорологической информации — Мировой центр данных  
249039 г. Обнинск, ул. Королева, 6  
E-mail: vlad@meteo.ru

Поступила в редакцию 20.12.2010

В Росгидромете создан уникальный Государственный фонд данных о состоянии окружающей природной среды (Госфонд). В нем сосредоточены документы и данные наблюдений за состоянием природной среды по территории России, зарубежным территориям и акватории Мирового океана по различным разделам изучения природной среды, полученные в результате деятельности станций и постов гидрометеорологической сети, морских судов и других организаций.

Долговременное хранение данных Фонда на машиночитаемых носителях осуществляется централизованно во ВНИИГМИ—МЦД. Объем накопленных Росгидрометом данных к настоящему моменту превышает 5 Пб. Эти данные хранятся на магнитных лентах, картриджах, CD-ROM, в виде микрофильмов и на бумажных носителях. Имеется большое количество данных, полученных в рамках международных проектов и обменов на различных технических носителях (магнитооптические диски, магнитные картриджи и др.). Фонд данных на машиночитаемых носителях пополняется также путем международного обмена данными, через Интернет и другими способами (Шаймарданов и др., 2007). Ежегодное минимальное увеличение данных составляет: 700 Гб информации — с сети наблюдения Росгидромета, 200 Гб — по каналам связи и более 8 Тб — с ИСЗ.

В фонде ВНИИГМИ—МЦД хранятся документы с данными наблюдений за состоянием окружающей среды, полученные в

результате деятельности УГМС, НИУ, других государственных и негосударственных организаций, данные наблюдений с метеорологических искусственных спутников Земли. Большая часть фонда хранится на устаревших носителях — полудюймовых магнитных лентах, большинство из которых находится под угрозой физической деградации. Некоторая часть данных перенесена на картриджи IBM 3480, которые также являются устаревшим носителем, и компакт-диски, которые нельзя рассматривать как носители для долговременного хранения.

Из сказанного выше следует, что задача обеспечения бессрочного и безопасного хранения данных, их систематизации, описания для получения сведений о наличии, поиска и обеспечения эффективного доступа к данным с такими объемами является чрезвычайно актуальной.

Сегодня мы стали свидетелями того, как в развитых странах мира реализуется программа построения глобального информационного общества, в основе концепции которого лежат новые принципы информационного взаимодействия и сотрудничества. Создана и проводит ежегодные форумы Международная комиссия по глобальной информационной структуре. В резолюции одного из форумов говорится: «Комиссия считает, что для расширения географии предоставления услуг связи, применения средств информационных технологий в образовании, науке и повышения эффективности и расширения международной торговли на основе систем электронной торговли необходимы согласованные действия коммерческих и государственных организаций как развитых, так и развивающихся стран». Поэтому проявляется большой интерес к обеспечению сохранности данных, их управлению и обработке. С этой целью развиваются соответствующие информационные системы, направленные на обеспечение сохранности данных, а также организацию доступа к ним с целью обслуживания потребителей информационной продукцией (Вязилов, 2001; Шаймарданов и др., 2007).

Существовавшая до настоящего времени во ВНИИГМИ—МЦД система архивного хранения не обеспечивала ни полноценного хранения данных, ни приемлемого времени доступа к ним: реальное время доступа к отдельным файлам могло достигать не-

скольких суток из-за несоответствия технических средств и методов хранения современному уровню развития систем архивации данных.

Как сказано выше, большая часть фонда хранилась в основном на устаревших носителях — полудюймовых магнитных лентах — и находилась под угрозой физической деградации из-за старения самих лент. Производство магнитных лент прекращено, так что в случае необходимости заменить их не представлялось возможным. Прекращен также выпуск накопителей на магнитных лентах, что усугубляет ситуацию. Поэтому существенны накладные расходы и стоимость эксплуатации, поскольку вспомогательная часть работы на порядок больше содержательной.

Для обеспечения сохранности данных и более оперативного обслуживания необходимо было существенное улучшение технических и технологических возможностей системы обработки и хранения данных о состоянии природной среды.

Отсутствие унификации типовых технологических операций и структур обмена данными на этапах сбора и размещения информации в архиве не позволяло реализовать требуемое качество предоставления информации пользователям. Необходимо также отметить, что в настоящее время имеется много видов наблюдений, результаты которых не архивируются, например авиационные метеорологические наблюдения и прогнозы по аэропортам и трассам, поля анализов и прогнозов отечественных и ведущих мировых центров анализа и прогноза, большая часть отечественных и зарубежных спутниковых данных. Из 160 МБ сообщений, ежедневно циркулирующих сегодня в Глобальной сети телесвязи (ГСТ), в архив поступает только около 10 % (Шаймарданов, 1999). Относительно низкий объем пополнения архива был в значительной степени связан с отсутствием технических средств хранения данных большого объема.

В целом можно отметить, что к настоящему времени образовался значительный разрыв между современными ИТ-технологиями и существующим уровнем обслуживания Госфонда, что может привести к невосполнимой потере уникальной информации и фактически утрате научного наследия Росгидромета.

## Выбор технических средств хранения данных

Существовавшие технические средства Госфонда, а также технологии и решения по информационному обслуживанию являются морально и физически устаревшими. В этой связи главной задачей модернизации Архивной системы на базе ВНИИГМИ—МЦД является создание такой инфраструктуры, которая позволила бы обеспечить:

бессрочное защищенное хранение данных с гарантией их логической целостности и физической сохранности путем размещения на *современных* машиночитаемых носителях;

возможность включения в состав автоматизированной Архивной системы большого объема информации, хранящейся в настоящее время в твердых копиях на бумажных и фотоносителях, массивов спутниковой информации, информации, полученной по линии международного и двустороннего обмена, производных и специализированных массивов;

централизованное управление хранением данных на основе современных программных технологий;

безопасный и оперативный доступ к данным пользователей на основе Web-технологий;

возможность адаптации архитектуры Архивной системы к новым задачам информационного обслуживания;

совместимость с перспективными технологиями хранения и обработки данных;

преемственность с существующими технологиями архивного хранения, используемыми во ВНИИГМИ—МЦД;

масштабируемость, производительность, надежность и удобство обслуживания.

Для решения этих задач необходимо полное переоснащение Архивной системы, в первую очередь техническое, которое позволит обеспечить (Николаев, 2010; Шаймарданов, 2007):

- долгосрочную сохранность информации — базовый архив;
- своевременное пополнение и обеспечение сохранности данных — оперативный архив;
- перенос информации с твердых копий на технические носители;
- оперативную доступность к необходимым данным;

включение в Фонд новых видов информации, в том числе на основе теледоступа;

ввод в эксплуатацию программного обеспечения ведения оперативного и базового архивов, обеспечения потребителей информацией, в том числе НТИ.

При этом необходимо также обновление и расширение комплекта нормативно-методических документов по сбору и пополнению фонда различными видами гидрометеорологических данных.

Для обеспечения эксплуатации переоснащенного архива необходимо разработать технологии:

создания и ведения оперативного архива;

обеспечения связи и телекоммуникации формирования архива;

обработки архивных данных и формирования вторичных информационных продуктов;

ведения информационного хранилища с возможностями OLAP обработки;

доступа к архивным данным;

бессрочного хранения данных в архиве;

перезаписи данных с различных носителей на долговременный: полудюймовых МЛ с плотностью записи 800/1600/3200/6250 бит/дюйм, картриджей IBM 3480, стриммерных лент различных типов, дискет 3,5 дюйма, компакт-дисков, магнитооптических дисков, микрофильмов таблиц и бумажных носителей;

формирования и вывода информационной продукции.

При выборе технических средств, необходимых для переоснащения, был проведен анализ средств, имеющихся и используемых в основных мировых центрах данных, обладающих большим объемом информации.

Около 25 лет назад появились на свет ленточные системы хранения в своем современном виде, первый накопитель IBM 3480 емкостью 200 МБ. Несмотря на стремительное развитие информационных технологий хранения больших массивов данных, основной средой для длительного хранения данных фонда остается магнитная лента, использовавшаяся как основная архивная сре-

да. До тех пор пока не произойдет радикальная смена технологии архивного хранения в фонде, централизованное хранение данных на магнитных лентах в специализированных хранилищах остается единственной разумной альтернативой существующим на данный момент решениям для длительного хранения данных по целому ряду показателей ([www.ibm.com](http://www.ibm.com)):

- лента является неотъемлемой частью иерархических систем хранения;

  - лента позволяет хранить больший объем данных, чем диски;

  - лента примерно в два-три раза дешевле, чем дисковая система SATA аналогичного объема;

  - ленты портативны и переносимы;

  - существует преемственность: например, новый стандарт IBM TS1130 может читать предыдущие стандарты IBM TS1120 и IBM 3592;

  - ленточные библиотеки большой емкости легко наращиваются путем простого добавления стоек, приводов и картриджей;

  - ленты спроектированы и протестированы для долгосрочного хранения.

У ленточных библиотек более низкое энергопотребление в сравнении с дисковыми хранилищами. В случае долгосрочного хранения это особенно важно.

Ленты идеально подходят для:

- управления жизненным циклом информации,

- упрощения инфраструктуры хранения,

- бэкапа и аварийного восстановления,

- долгосрочного хранения и ведения архивов,

- соответствия законодательству — WORM.

Поэтому в качестве технического носителя выбрана магнитная лента, а с учетом обеспечения сохранности данных, их объемов и автоматизации работы принята роботизированная ленточная библиотека. Например, начиная с 1952 г. ленточный привод IBM 726 имеет скорость передачи 7,500 знаков в секунду и емкость 100 битов на дюйм. А с 2010 г. ленточный привод IBM TS1130 уже имеет скорость передачи до 350 МБ/с, а емкость без компрессии до 1 Тб ([www.ibm.com](http://www.ibm.com); Шаймарданов, 2007).

Среди существующих в настоящее время ленточных библиотек, предлагаемых различными производителями (IBM, HP, SUN, Quantum), при прочих равных условиях нами выбрана библиотека фирмы IBM TS3500. Именно данная библиотека удовлетворяет требованиям по емкости, масштабируемости, а также, что не менее важно, учитывает опыт сервисного обслуживания. К тому же после приобретения SUN компанией Oracle новым руководством было поставлено под сомнение дальнейшее развитие собственных ленточных устройств. Отметим, что 16 мая 2006 г. IBM установлен мировой рекорд по плотности записи данных на магнитную ленту — 6,67 млрд бит на квадратный дюйм. Этот показатель более чем в 10 раз превосходит показатели самых популярных сегодня стандартных устройств хранения на магнитной ленте; картридж стандартных габаритов сможет вмещать до 8 ТБ информации без сжатия, что соответствует восьми миллионам книг (книжные полки общей длиной свыше 90 км).

На основе сказанного выше разработан и предлагается вариант структуры архивной системы Росгидромета (рис. 1).

При этом следует отметить, что для защиты архивов от катастроф, которая обеспечивает сохранность данных в случае стихийных бедствий, потери электропитания на одной из площадок, аппаратных сбоев, предусмотрено дублирование библиотек, размещенных в территориально разнесенных площадках.

В настоящее время в рамках реализации проекта «Модернизация и техническое перевооружение учреждений и организаций Росгидромета» во ВНИИГМИ—МЦД установлена большая часть оборудования предлагаемой системы:

две роботизированные ленточные библиотеки IBM TS3500, каждая объемом более 4 Пб;

дисковый массив IBM DS8300 объемом более 100 Тб;

сервер управления архивной системой IBM z9 BC с тремя процессорами IFL под управлением ОС z\VM и zLinux SUSE 10;

оборудование для создания сети хранения данных (SAN);

конверторы для подключения устаревших лентопротяжных устройств и подсистем на картриджах.



Рис. 1. Структура архивной системы объемом более 4Птб.

### Назначение основных программных средств

На базе вышеперечисленного оборудования создана программно-аппаратная инфраструктура, которая позволила обеспечить перезапись данных наблюдений с устаревших МЛ в новую роботизированную ленточную библиотеку.

Для повышения эффективности использования оборудования и управления данными, а также для разработки новых технологий обслуживания потребителей гидрометеорологической информацией было установлено общесистемное и доработано прикладное программное обеспечение, одна часть которого была раз-

вернута на базе IBM z9, а другая — на серверах под управлением ОС Windows. Основные ОС IBM z/VM 5.3 (5.4) и zLinux RedHat развернуты на сервере IBM z9 (рис. 2).

z/VM применяется для создания виртуальных машин в каждом логическом разделе (LPар) IBM z9 BC. Такой подход обусловлен необходимостью изолировать различные процессы, запущенные и выполняемые на сервере отдельно. В серверах компании IBM System Z, к которой относятся z9 BC, это реализовано наиболее удачно: все процессы почти «физически» разделены.

Для управления данными архива, обеспечения их перемещения между системами хранения и создания резервных копий используется IBM Tivoli Storage Manager. Это ПО применяется также для восстановления информации в сложных распределенных информационных корпоративных вычислительных средах, имеет собственную базу метаданных хранимой информации, позволяет автоматизировать функции резервного копирования и восстановления данных.

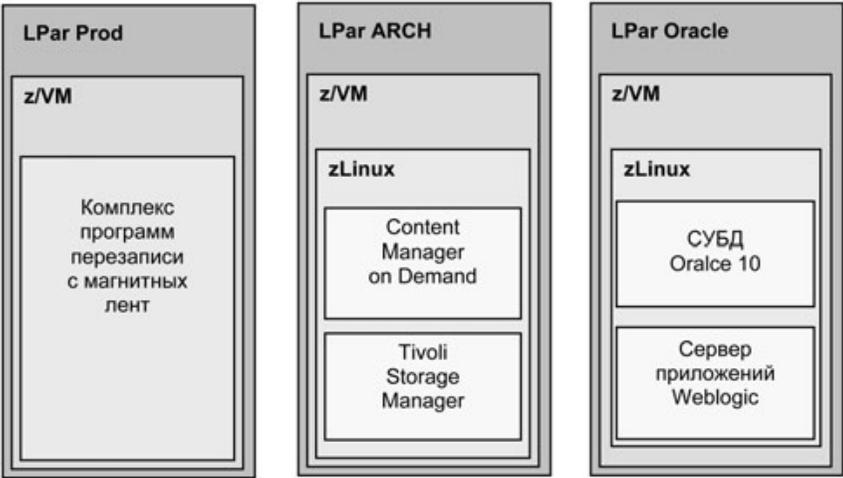


Рис. 2. Программная структура IBM z9 BC.

Оцифрованные бумажные носители, производные массивы, тематические и авторские массивы описываются с помощью программного обеспечения индексации данных IBM Content Manager on Demand, которое позволяет производить контекстный поиск. Это ПО предназначено для работы со структурированной информацией (контентом, хранящимся в файлах), создания различных отчетов, выборки информации из архивов и внесения информации в архивы; содержит с своей основе СУБД IBM DB2 в качестве хранилища данных (контента).

SAS — комплекс программных средств, предназначенных для статистической обработки данных и визуализации. Предоставляет возможности по организации доступа к данным, их хранению и анализу, управлению данными и созданию отчетов, т. е. выполнению различных задач на каждом из четырех основных этапов процесса преобразования «сырых» данных в полезную информацию.

Также имеется ряд программных средств, являющихся средством разработки целого ряда модулей программного обеспечения:

Visual Studio Professional — универсальная интегрированная среда разработки, которая включает в себя полный набор функций, упрощающих все этапы процесса разработки — от проектирования до развертывания.

Borland C++ Builder — это мощная и надежная среда быстрой разработки высокоэффективных web-служб и приложений для электронного бизнеса.

Сервер приложений Oracle Weblogic является наиболее полной Java-платформой для разработки, внедрения и интегрирования различных приложений. Weblogic служит основой для реализации серверов приложений. Он особенно эффективен в тех случаях, когда приложения и сервисы становятся необходимыми и имеют функциональные возможности высокой доступности.

В состав программного обеспечения, имеющегося на IBM Z9, входит также СУБД Oracle в полном комплекте, ориентированном на пользовательскую эксплуатацию, и СУБД DB2, предназначенная для сопровождения роботизированной библиотеки (ведение каталогов картриджей).

## **Организация обслуживания информацией потребителей**

При разработке программного обеспечения большое внимание уделяется созданию технологии получения и выдачи потребителям информации и информационной продукции.

Наиболее перспективным является комплексный подход к решению этой задачи — от подготовки специализированных массивов данных высокого качества и вплоть до использования современных систем коммуникации для распространения климатической информации и ее практического применения.

Для обслуживания пользователей не используются напрямую архивные данные. К ним доступ ограничен, поэтому на базе архивных данных для обслуживания создаются специализированные информационные массивы (базы). Состав элементов и периоды наблюдений определены на основе анализа имеющихся за много лет запросов потребителей.

Для создания информационной базы данных из роботизированной библиотеки выгружают необходимые архивные файлы и производят выборку (импорт) данных средствами СУБД в соответствующую часть базы.

Все операции (по возможности) производятся штатными средствами имеющегося на IBM Z9 программного обеспечения.

### **Заключение**

Для обеспечения надежного и бессрочного хранения гидрометеорологических данных выбраны новые технические средства и программное обеспечение. Они позволяют обеспечить полноценную сохранность данных, а главное, сделать информацию более доступной для потребителей.

### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

*Вязилов Е. Д.* (2001). Информационные ресурсы о состоянии природной среды. — М.: Эдитория УРСС. 312 с.

Данные производителя, IBM, [www.ibm.com](http://www.ibm.com).

*Николаев Е. А., Шаймарданов В. М. (2010). Развитие архивной системы Росгидромета // Труды ВНИИГМИ—МЦД. Вып. 174. С. 3—10.*

*Шаймарданов В. М., Сомов С. В., Цимбалов С. Н. (1999). Технология приема и обработки гидрометеорологических данных, поступающих по каналам связи, и их визуальное представление на основе WWW-технологий / Материалы Конференции молодых ученых национальных гидрометслужб стран СНГ. — М.*

*Шаймарданов М. З., Веселов В. М., Стерин А. М., Шаймарданов В. М. (2007). Концепция модернизации архивной системы Мирового метеорологического центра // Труды ВНИИГМИ—МЦД. Вып. 172. С. 3 — 37.*

**ОБЕСПЕЧЕНИЕ СОХРАННОСТИ ДАННЫХ,  
НАКОПЛЕННЫХ НА БУМАЖНЫХ НОСИТЕЛЯХ,  
И ОРГАНИЗАЦИЯ ОБСЛУЖИВАНИЯ**

*В. М. Шаймарданов*

Всероссийский научно-исследовательский институт  
гидрометеорологической информации — Мировой центр данных  
249039 г. Обнинск, ул. Королева, 6  
E-mail: vlad@meteo.ru

Поступила в редакцию 20.12.2010

Всероссийский научно-исследовательский институт гидрометеорологической информации — Мировой центр данных (ВНИИГМИ—МЦД), выполняя функции Мирового центра данных по гидрометеорологии и Единого государственного фонда данных о состоянии окружающей природной среды, накопил большое количество информационных ресурсов по различным видам наблюдений в области гидрометеорологии и смежных с ней областях как по всей территории РФ, так и по другим регионам земного шара. Помимо результатов наблюдений, фонд содержит результаты обобщений этих данных за различные периоды времени в виде климатических оценок и статистических параметров, которые опубликованы в различных справочных пособиях и содержатся на бумажных носителях. Кроме того, на бумажных носителях находятся данные, накопленные за очень ранний исторический период, а также вся периодика отраслевой библиотеки.

Ведение фонда на бумажных носителях, особенно обслуживание этими данными потребителей, является достаточно трудоемкой и ресурсозатратной деятельностью. Для обеспечения длительного хранения данных на бумажных носителях в специальных хранилищах фонда должны постоянно поддерживаться заданные климатические параметры — температура и влажность воздуха. Доступ к такой информации, как правило, очень затруднен. По истечении определенного периода времени бумаж-

ные носители претерпевают физический износ, что приводит к потере данных. Все это делает задачу переноса информации с бумажных носителей на современные электронные носители крайне актуальной.

В рамках проекта «Модернизация и техническое перевооружение учреждений и организаций Росгидромета» во ВНИИГМИ—МЦД была поставлена роботизированная библиотека для обеспечения бессрочного хранения данных, сервер управления, дисковый массив, сканеры и другое оборудование. В связи с этим возникли предпосылки для создания технологии массового переноса больших объемов данных фонда на электронный носитель информации и создания автоматизированной системы долговременного хранения. Преимущества работы с электронными архивами очевидны, поэтому все данные целесообразно переводить в электронный вид.

Основным способом перевода бумажных документов является сканирование с индексированием, оцифровкой и полнотекстовым поиском. На рис. 1 представлена схема сканирования информации с листовых материалов. Для выполнения данной задачи используется система массового ввода документов и сформированы технологические цепочки по формату и типу документов. Создание электронного архива документов, хранящихся в настоящее время на старых бумажных и фотоносителях, обеспечит сохранность уникальных исторических данных наблюдений о состоянии окружающей природной среды. Хранение документов в электронном архиве обеспечит повышение надежности, снижение времени доступа к данным, реализацию многопользовательской работы с документами, а также возможность автоматизированного учета, администрирования и пополнения архива. При необходимости весь отсканированный документ или прицельно выбранные области документа (содержащие номера, даты, фамилии или, например, идентифицирующие штрих-коды) должны переводиться в символьный вид с помощью средств оптического распознавания (OCR). Символьный эквивалент информации, записанной или отпечатанной на бумаге, включается в индекс, позволяющий быстро найти нужный документ.



Рис. 1. Схема сканирования информации с листовых материалов.

Следует отметить, что структурированные данные, представленные в виде табличных материалов на бумажных и фотоносителях, требуют переноса на машиночитаемые носители в форматах графических файлов (имиджей страниц с последующей оцифровкой — ручной или с помощью алгоритмов оптического распознавания символов). Оцифровка позволит вовлечь в автоматизированную обработку значительную часть фонда данных, которая на сегодняшний день не доступна для пользователей.

При этом надо учесть, что возможности применения универсальных алгоритмов и программных средств оптического распознавания символов для задач массовой оцифровки данных, особенно табличных и имеющих нестандартные символы, ограничены. Поэтому должно предусматриваться создание или приобретение (если оно есть) специализированного программного обеспечения, применимого для решения таких специфических задач. Неизбежен также перенос значительной части документов в электронный архив путем ручной оцифровки.

Одной из важных задач этой работы является разработка технологии перезаписи данных с бумажного носителя на электронный и их комплектование в автоматизированной архивной системе.

В настоящее время во ВНИИГМИ—МЦД имеются три промышленных сканера, с помощью которых развернута пилотная технология оцифровки. Технология предусматривает постраничное сканирование документов в формате tif (страница—файл), преобразование данных в формат pdf (документ—файл), подготовку файла учета и передачу файла данных и файла учета в роботизированную библиотеку.

Абонементное обслуживание является традиционной формой обслуживания клиентов информацией, находящейся на бумажных носителях. Поскольку процесс перевода данных с бумажных носителей на электронные занимает определенное время, такой способ обслуживания будет существовать параллельно. Для повышения эффективности обслуживания необходимо совершенствование его организационно-технологической структуры на основе современных вычислительных и телекоммуникационных средств.

Основой абонентского обслуживания является автоматизированное рабочее место (АРМ) клиента, которое предоставляется ему при обращении в фонд за получением данных и обеспечивает оперативный поиск данных. Для этого необходимо создание автоматизированного каталога фонда, в котором указываются состав и место размещения на носителях с привязкой к месту хранения информации. Используя эти средства, клиент оперативно определяет наличие данных и подготавливает необходимую информацию для извлечения их из фонда.

Перенос информации с твердых носителей в электронную форму должен составить основу программно-аппаратной среды для перевода бумажных документов Госфонда в электронный вид, для чего должны быть выполнены процессы сканирования, распознавания и занесения в электронное хранилище.

При этом структурированные данные, представленные в виде табличных материалов на бумажных и фотоносителях, требуют как переноса на машиночитаемые носители в форматах графических файлов (имиджей страниц), так и оцифровки (ручной или с помощью алгоритмов оптического распознавания символов).

Необходимо учесть, что возможности применения универсальных алгоритмов и программных средств оптического распознавания символов для задач массовой оцифровки данных, особенно табличных и имеющих нестандартные символы, ограничены. Поэтому должен предусматриваться заказ специализированного программного обеспечения, применимого для таких специфических задач. Неизбежен также перенос значительной части документов в электронный архив путем ручной оцифровки.

Следует отметить, что технология сканирования должна обеспечивать:

- адекватное отображение документа в электронном виде,
- формирование базы сканированных документов,
- поиск документов в базе,
- создание метабазы сканированных документов,

возможность использования методов распознавания образов для восстановления информации в электронном образе сканированного документа.

Технологические операции складываются из подготовительных стадий, непосредственного сканирования документов (производство сканирования) и работ со сканированным документом по восстановлению и распознаванию информации.

## **АЛГОРИТМ КРИТИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ СРЕДНИХ ЗА МЕСЯЦ СУТОЧНЫХ ЗНАЧЕНИЙ РАДИАЦИОННОГО БАЛАНСА ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ**

*И. В. Морозова*

Главная геофизическая обсерватория им. А. И. Воейкова  
194021 Санкт-Петербург, ул. Карбышева, 7  
E-mail: wrdc@main.mgo.rssi.ru

Поступила в редакцию 12.03.2010

Поступление солнечной радиации на поверхность Земли во многом определяет ее климат. Для проведения надежных климатических исследований, а также для решения ряда исследовательских и прикладных задач, в которых активно используется информация о солнечной радиации и радиационном балансе земной поверхности, необходимо располагать достоверной базой данных по всем параметрам солнечной радиации. С этой целью в Мировом центре радиационных данных (МЦРД, Санкт-Петербург, Россия), который с 1964 г. осуществляет централизованный сбор с мировой радиометрической сети результатов наблюдений за солнечной радиацией, их архивацию и публикацию, разрабатываются новые и совершенствуются уже существующие приемы контроля, а также проводится контроль качества поступающих данных.

Необходимость проведения в МЦРД дополнительного контроля радиационных данных подтверждается многолетней практикой — в поступающих данных обнаруживается немалое количество некачественных значений. По технологии, разработанной и практикуемой в МЦРД, все поступающие данные пропускаются через систему автоматизированной обработки, которая включает процедуры технического и критического контроля. На этапе технического контроля, который предваряет критический контроль, по каждому радиационному параметру выявляются: значения, превышающие физические пределы; ошибки, возникающие за

счет несоблюдения методики обработки данных; арифметические погрешности в расчетах сумм и средних; ошибки, появляющиеся при передаче радиационных данных в МЦРД, и т. д.

Практика показывает, что национальные метеослужбы применяют различные методики при обработке радиационных данных, в частности при расчетах месячных сумм и средних значений при наличии пропусков в результатах наблюдений и (или) сомнительных значений. Естественно, что различия в подходе к обработке данных ограничивают возможность их совместного использования.

В МЦРД была разработана единая методика обработки радиационной информации, придерживаться которой обязаны страны, участвующие в международной системе обмена радиационными данными (МЦРД). Однако, как показывает опыт многолетнего функционирования МЦРД, случаи несоблюдения этой методики встречаются довольно часто. Практика показала также, что нередко случаи некорректного определения средних значений и сумм за месяц (сутки). Причины этого могут быть разные. Приведем некоторые из них:

- определение суточной суммы при отсутствии данных за отдельные часовые интервалы;

- осреднение по числу дней в месяце, отличному от календарного;

- учет значения параметра, равного нулю, как факта отсутствия наблюдений;

- ошибки при арифметических расчетах.

Задача технического контроля — выявление ошибок, возникающих из-за несогласованности методик обработки данных, применяемых национальными метеослужбами, а также вследствие некорректного расчета сумм и средних, ошибок, возникающих при записи на технические носители, и т. д.

Целью критического контроля радиационных данных является определение соответствия их величины физико-географическим условиям станции, погодным условиям наблюдения, а также информации по другим параметрам климата. Способы контроля качества данных определяются свойствами самого контролируемого элемента, связями этого элемента с другими, а

также его пространственно-временными характеристиками. Однако отсутствие в МЦРД данных по ряду радиационных параметров, а также сопутствующей информации о погодных условиях наблюдения и наряду с этим весьма скудная освещенность территории земного шара результатами наблюдений за радиационным балансом (мировая сеть насчитывает порядка 200 станций, в программу которых включена регистрация этого параметра) ограничивают возможности критического контроля данных по радиационному балансу. С учетом вышеизложенного предлагаемый алгоритм критического контроля средних месячныхточных значений радиационного баланса предусматривает в соответствии с классификацией, предложенной в работе Гандина и Кагана (1976), проведение процедур контроля в три этапа:

контроль правдоподобия,

контроль на физико-климатические пределы изменения контролируемого параметра,

контроль согласованности.

Первый этап контроля основан на задании возможного предела для значений контролируемого параметра. Он позволяет выявить лишь самые грубые ошибки, так как задаваемый предел перекрывает весь диапазон естественной изменчивости данного параметра. На этом этапе контроля возможна отбраковка данных, и в этом случае второй и третий этапы контроля не выполняются.

На втором этапе контролируемое значение сравнивается со средним многолетним и экстремальными значениями этого параметра за контролируемый месяц. Решение о качестве контролируемого значения принимается на основе информации о естественной изменчивости данного параметра.

На этапе контроля согласованности используются уравнения связи между радиационными параметрами при условии, что связь между контролируемым параметром и параметром, по которому производится контроль, оценивается коэффициентом корреляции 0,70 и выше. Решение о качестве контролируемого значения принимается в соответствии с величиной относительной невязки между фактическим значением, т. е. рассчитанным по результатам регистрации, и определенным по уравнению связи.

На данном этапе контроля выявляются, как правило, сомнительные значения.

Необходимо отметить, что критическому контролю средних месячных значений радиационного баланса должен предшествовать критический контроль часовых и суточных значений этого параметра.

Три этапа контроля выполняются следующим образом.

### ***I. Контроль правдоподобия***

Этот этап контроля выполняется путем проверки выполнения соотношения между радиационным балансом и суммарной солнечной радиацией:

$$Q_{\text{сред. сут}} < G_{\text{сред. сут}}, \quad (1)$$

где  $Q_{\text{сред. сут}}$  — контролируемое значение средней за месяц суточной суммы радиационного баланса,  $G_{\text{сред. сут}}$  — средняя за контролируемый месяц суточная сумма суммарной солнечной радиации.

Если соотношение (1) не выполняется, то значение радиационного баланса бракуется в том случае, когда значение  $G_{\text{сред. сут}}$  не является сомнительным. В противном случае решение принимает специалист. Необходимо отметить, что значение суммарной радиации, используемое на данном этапе контроля, должно быть предварительно проверено на достоверность. Для этой цели предлагается использовать методику контроля, разработанную и практикуемую в МЦРД (Морозова, Мясников, 1993).

### ***II. Контроль на физико-климатические пределы***

На данном этапе контроль осуществляется путем проверки выполнения следующих соотношений:

$$Q_{\text{сред. сут}} < Q_{\text{сред. сут н}} \pm 2\sigma, \quad (2)$$

$$Q_{\text{сред. сут min}} < Q_{\text{сред. сут}} < Q_{\text{сред. сут max}}, \quad (3)$$

где  $Q_{\text{сред. сут}}$ ,  $Q_{\text{сред. сут max}}$ ,  $Q_{\text{сред. сут min}}$ ,  $Q_{\text{сред. сут н}}$ ,  $\sigma$  — контролируемое значение, абсолютные максимум и минимум за многолетний

период, среднее многолетнее значение и среднее квадратическое отклонение средней за месяц суточной суммы радиационного баланса соответственно.

Контролируемое значение, не удовлетворяющее хотя бы одному из этих соотношений, должно быть направлено на экспертизу специалисту.

Значения  $Q_{\text{сред. сут н}}$ ,  $Q_{\text{сред. сут max}}$ ,  $Q_{\text{сред. сут min}}$  и  $\sigma$ , используемые на данном этапе в качестве критериев контроля, должны быть рассчитаны по всем станциям, представляющим результаты наблюдений за радиационным балансом в МЦРД, для всех месяцев года.

Однако необходимо иметь в виду, что вследствие значительной естественной изменчивости радиационного баланса погрешность определения его статистических характеристик даже по максимальным рядам, которыми располагает в настоящее время МЦРД (порядка 40 лет), достаточна велика. Таким образом, предлагаемые критерии контроля требуют постоянного уточнения по мере накопления статистического объема. Как показал анализ погрешностей определения основных статистических характеристик, таких как норма и среднее квадратическое отклонение средней за месяц суточной суммы, проведенный по ряду станций мировой сети, расположенных на разных широтах, в различных физико-географических условиях, ошибки указанных характеристик особенно велики в сезоны, являющиеся по характеру подстилающей поверхности переходными от зимних условий к летним и наоборот. Анализ показал, что при реальной изменчивости радиационного баланса на некоторых станциях мировой сети для получения этих статистических характеристик с погрешностью не более 10 % потребуются ряды наблюдений длительностью существенно более 100 лет.

### ***III. Контроль согласованности***

#### ***Вариант 1***

На этом этапе проводится проверка выполнения соотношения между средними за месяц суточными суммами радиационного баланса ( $Q_{\text{сред. сут}}$ ) и суммарной солнечной радиации ( $G_{\text{сред. сут}}$ ):

$$Q_{\text{сред. сут}}/G_{\text{сред. сут}} = a \pm \Delta a, \quad (4)$$

где  $a$  — отношение  $Q_{\text{сред. сут.}}/G_{\text{сред. сут.}}$ , полученное расчетным путем (является величиной переменной, зависящей от местоположения станции и времени года);  $\Delta a$  — невязка, определяемая как разность между значениями отношения  $Q_{\text{сред. сут.}}/G_{\text{сред. сут.}}$ , полученными по наблюдаемым данным и расчетным путем.

Критерием контроля служит величина невязки, которая даже при отсутствии ошибок в используемых данных не равна нулю из-за невозможности исключить влияние местных условий и вследствие того, что применяемые при контроле установленные связи (Морозова, 1993) являются формализованными из-за невозможности в полной мере учесть многофакторные связи контролируемого параметра.

Для определения критериев контроля автором (Морозова, 1993) была произведена оценка величины отношения  $Q_{\text{сред. сут.}}/G_{\text{сред. сут.}}$  для различных пунктов земного шара и проведено исследование зависимости ее от широты места и времени года. Для этой цели были привлечены архивные данные МЦРД многолетних наблюдений радиометрических станций мировой сети, подобранных таким образом, чтобы они приблизительно равномерно охватили широтную зону от  $82,5$  до  $41,0^\circ$  с. ш. Зона южнее  $41,0^\circ$  с. ш. не освещена данными по радиационному балансу в архиве МЦРД. Здесь имеется в распоряжении лишь один пункт наблюдений, расположенный на широте  $1,4^\circ$  с. ш.

Анализ показал, что величина отношения для широтной зоны от  $82,5$  до  $41,0^\circ$  с. ш. колеблется в пределах от  $0,73$  до  $-8,0$ . Наибольшие положительные значения наблюдаются в летние месяцы, наибольшие по абсолютному значению отрицательные — в декабре в приполярных широтах.

В результате проведенного исследования были получены для различных месяцев и диапазонов широты уравнения расчета отношения и ошибки уравнений (табл. 1).

Анализ, проведенный по имеющимся в распоряжении МЦРД данным одной станции, расположенной на широте  $1,4^\circ$  с. ш., показал, что величина отношения является постоянной в течение всего года и в среднем за год равна  $0,50$ . Величина невязки при этом не превышает во все месяцы  $0,20$ .

Значения средних за месяц суточных сумм радиационного баланса, нормированные на соответствующие значения суммарной радиации, выходящие за пределы, определяемые соотношением (4), считаются сомнительными и поступают на экспертизу специалисту.

Таблица 1

Уравнения расчета отношения  $a = Q_{\text{сред. сут}}/G_{\text{сред. сут}}$

Месяц	$\varphi^\circ$ с. ш.	Уравнения	Ошибка уравнения
Январь	41,0—56,9	$a = -0,030\varphi + 1,253$	0,17
	57,0—69,0	$a = -0,5 \cdot 10^{0,08\varphi - 4,80}$	0,19
Февраль	41,0—63,9	$a = -0,020\varphi + 0,947$	0,16
	64,0—75,0	$a = -0,5 \cdot 10^{0,08\varphi - 4,98}$	0,18
Март	41,0—82,5	$a = -0,023\varphi + 1,372$	0,13
Апрель	41,0—82,5	$a = -0,017\varphi + 1,305$	0,10
Май	41,0—60,9	$a = \text{const} = 0,50$	
	61,0—82,5	$a = 1,429\varphi - 0,016$	0,14
Июнь	41,0—82,5	$a = \text{const} = 0,52$	0,20
Июль	41,0—82,5	$a = \text{const} = 0,53$	0,20
Август	41,0—82,5	$a = \text{const} = 0,49$	0,20
Сентябрь	41,0—64,9	$a = -0,004\varphi + 0,614$	0,07
	65,0—82,5	$a = -0,034\varphi + 2,623$	0,10
Октябрь	41,0—62,9	$a = -0,015\varphi + 1,024$	0,06
	63,0—80,0	$a = -0,5 \cdot 10^{0,083\varphi - 5,66}$	0,09
Ноябрь	41,0—57,9	$a = -0,035\varphi + 1,690$	0,14
	58,0—71,0	$a = -0,5 \cdot 10^{0,093\varphi - 5,42}$	0,16
Декабрь	41,0—54,9	$a = -0,53\varphi + 2,262$	0,25
	55,0—66,0	$a = -0,5 \cdot 10^{0,12\varphi - 6,67}$	0,27

## Вариант 2

При отсутствии снежного покрова предлагается использовать следующее аналитическое выражение (Руководство, 1961):

$$\Sigma_{\text{мес}} Q = (1 - A) \Sigma_{\text{мес}} G - 8SS_{\text{сред. сут.}} / SS_{\text{в. сут.}}, \quad (5)$$

где  $\Sigma_{\text{мес}} Q$  — месячная сумма радиационного баланса,  $A$  — альbedo подстилающей поверхности Земли,  $\Sigma_{\text{мес}} G$  — месячная сумма суммарной солнечной радиации,  $SS_{\text{сред. сут.}}$  — средняя за месяц суточная сумма продолжительности солнечного сияния,  $SS_{\text{в. сут.}}$  — возможная продолжительность солнечного сияния.

Член уравнения  $8SS_{\text{сред. сут.}} / SS_{\text{в. сут.}}$  дает приблизительную оценку абсолютного значения длинноволнового баланса земной поверхности.

В настоящем исследовании была произведена оценка этой формулы с точки зрения возможности применения ее для контроля данных по радиационному балансу в условиях мировой сети. Для этой цели был использован материал наблюдений за радиационным балансом 17 станций, расположенных в широтной зоне 1,4—82,5° с. ш., за летние месяцы трех лет. Поскольку данные по альbedo с мировой сети в МЦРД не поступают, оценки проводились при заданном (одном для всех станций) значении альbedo, равном 0,2.

Анализ показал, что расхождения между наблюдаемыми и рассчитанными по формуле (5) месячными суммами радиационного баланса не превышают 27 %. В 90 % случаев они составляют 20 % и менее, в 49 % случаев — не превышают 10 %.

Из результатов анализа следует, что формула (5) в качестве одного из вариантов может быть использована при критическом контроле средних за месяц суточных значений радиационного баланса земной поверхности. Однако ее использование ограничено летними месяцами, а для станций, расположенных южнее 40° с. ш., такого ограничения не существует.

Контролируемые значения радиационного баланса, которые на данном этапе контроля не превысили 25 %, считаются достоверными. В случае превышения они поступают на экспертизу специалисту.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

*Гандин Л. С., Каган Р. Л. (1976).* Статистические методы интерпретации метеорологических данных. — Л.: Гидрометеоиздат. 357 с.

*Морозова И. В., Мясников Г. Н. (1993).* Методические основы и программная реализация автоматизированного контроля информации о суммарной солнечной радиации и продолжительности солнечного сияния, поступающей в Мировой центр радиационных данных // *Метеорология и гидрология.* № 9. С. 105—111.

*Морозова И. В. (1993).* Контроль качества данных о радиационном балансе подстилающей поверхности Земли // *Метеорология и гидрология.* № 10. С. 111—114.

Руководство гидрометеорологическим станциям по регистрации радиации (1961). — Л.: Гидрометеоиздат. 119 с.

**АНАЛИЗ МЕТОДИЧЕСКИХ ПОГРЕШНОСТЕЙ  
И РЕЗУЛЬТАТЫ СРАВНИТЕЛЬНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ ВЫСОТЫ  
ОБЛАКОВ НА АЭРОДРОМЕ С ПОМОЩЬЮ  
СВЕТОЛОКАТОРОВ И ЛАЗЕРНЫХ ПРИБОРОВ**

*Р. А. Круглов, А. В. Дробинская*

Главная геофизическая обсерватория им. А. И. Воейкова  
194021 г. Санкт-Петербург, ул. Карбышева, д. 7  
E-mail: kr\_avia@mail.ru

Поступила в редакцию 14.03.2011

В настоящее время продолжается успешное внедрение на авиаметеорологическую сеть новых средств измерения (СИ) как отечественного, так и зарубежного производства. Высокая точность измерений, автоматизированный контроль за техническим состоянием СИ и метеорологического оборудования способствуют повышению качества и надежности получаемой информации. Инструментальная погрешность новых СИ больше не является определяющим фактором, ограничивающим достоверность получаемой информации. Основное влияние на достоверность получаемой информации оказывают методические погрешности измерений.

При измерении высоты облаков методом оптической локации необходимо учитывать погрешности, связанные с особенностями объекта измерения.

В отличие от твердых целей облачная среда обладает характеристиками объемного, а не поверхностного рассеяния. Поэтому результат измерения высоты нижней границы облачности ( $H_{НГ}$ ) отражает высоту не поверхности, а слоя, толщина которого зависит от его оптической плотности.

В облаках нижнего и среднего ярусов дальность видимости меняется от нескольких десятков до нескольких сотен метров (Рацимор, 1987). Глубина проникновения оптического излучения внутрь облачного слоя также меняется в широких пределах. Ре-

зультаты единичных измерений  $N_{\text{НГ}}$  коррелируют с вертикальной видимостью, в то время как для пилота воздушного судна, идущего на посадку, нужна информация о высоте потери горизонтальной видимости. Поэтому необходимо определять высоту, на которой оптическая толщина подоблачного слоя достигает установленного порогового значения. Это значение определяется константой в математическом выражении:

$$\bar{\mu}h = \text{const}, \quad (1)$$

где  $\bar{\mu}$  — среднее значение показателя ослабления света в слое толщиной  $h$ ,  $h$  — физическая толщина подоблачного слоя,  $\bar{\mu}h$  — оптическая толщина подоблачного слоя.

Значение константы выбирается экспериментальным путем так, чтобы результаты измерений соответствовали поставленной задаче.

Критерий оптической толщины используется в лазерных измерителях высоты облаков с целью повышения достоверности результатов измерений в отношении их связи с оценкой высоты визуального контакта пилота воздушного судна с наземными ориентирами.

Кроме того, на достоверность измерений оказывают влияние подоблачная дымка и осадки, особенно в виде снега. Встречное рассеяние от подоблачной дымки и снега формирует ложный сигнал о наличии облачного слоя значительно ниже фактической нижней границы облаков. При этом энергии зондирующего сигнала после рассеяния в осадках оказывается недостаточно для обнаружения фактической нижней границы.

В работе Круглова (1973) показано, что уровень помехи встречного рассеяния зависит от длительности зондирующего сигнала. Влияние помехи может быть существенно уменьшено при использовании коротких зондирующих импульсов. Однако при этом необходимо увеличивать их мощность. Оптимальное значение длительности зондирующего сигнала составляет 0,16 мкс. Это условие выполнимо только в лазерных приборах,

которые в настоящее время приходят на замену устаревшим измерителям светолокационного типа.

С точки зрения повышения качества получаемой информации внедрение на авиаметеорологической сети новых измерителей высоты облаков, основанных на использовании лазерной технологии обработки измерительной информации, представляет особый интерес. Высокая разрешающая способность по дальности (высоте) и использование современных методов обработки позволяют повысить точность и достоверность измерений  $H_{НГ}$  в сложных метеорологических условиях при наличии интенсивных осадков, многослойной облачности с разрывами в нижнем слое.

При сравнении данных о высоте нижней границы облаков, полученных с помощью лазерных приборов (CL31 фирмы Vaisala) и штатных СИ (ДВО-2 отечественного производства), использующих светолокационный метод измерений, выявлены значительные расхождения при наличии осадков в виде снега. Данные, приведенные в табл. 1—3, характеризуют работу датчиков в различных условиях аэропорта Красноярск зимой 2009/10 г.

Таблица 1

**Сравнение результатов измерений датчиками CL31 и ДВО-2 в отсутствие снегопада и метели (17 декабря 2009 г.)**

Время	$H_{НГ}$ м				Видимость, явления
	CL31/108°	ДВО-2/108°	CL31/288°	ДВО-2/288°	
13 <sup>00</sup>	1070	1105	1080	1080	4100 дымка
13 <sup>30</sup>	1110	1140	1110	910	3800 дымка
14 <sup>00</sup>	1310	1325	1270	1305	4000 дымка
14 <sup>30</sup>	1230	1240	1240	1265	4200 дымка
15 <sup>00</sup>	1235	1330	1250	1270	4200 дымка
15 <sup>30</sup>	1430	1420	1235	1460	4100 дымка

Из таблицы видно, что в указанных условиях в течение двух с половиной часов наблюдается практически полное совпадение результатов измерений датчиками CL31 и ДВО-2.

Таблица 2

**Сравнение результатов измерений датчиками CL31 и ДВО-2  
при снегопаде 18 декабря 2009 г.**

Время	$H_{\text{НГ м}}$				Видимость, явления
	CL31/108°	ДВО-2/108°	CL31/288°	ДВО-2/288°	
00 <sup>00</sup>	1330	195	790	235	1600 снег
00 <sup>30</sup>	1260	180	1040	385	3100 снег
01 <sup>00</sup>	1160	270	810	345	1900 снег
01 <sup>30</sup>	690	170	640	350	2600 снег
02 <sup>00</sup>	680	390	770	420	2400 снег
02 <sup>30</sup>	960	470	950	450	4000 снег
03 <sup>00</sup>	1300	560	1200	620	2500 ливневый снег
03 <sup>30</sup>	1730	580	1450	630	4100 ливневый снег

Эта часть ряда по времени отстоит примерно на 8 часов от окончания отмеченного участка хорошего совпадения результатов измерений по всем датчикам в условиях отсутствия снегопада или метели. Она выделена по признаку наличия снегопада, и на временном интервале от 00<sup>00</sup> до 03<sup>30</sup> отличается полнотой представленных данных (без пропусков).

Можно отметить, что в условиях снегопада результаты измерений ВНГО датчиком ДВО-2 в 2—6 раз ниже результатов измерений датчиком CL31.

Таблица 3

**Сравнение результатов измерений датчиками CL31 и ДВО-2  
при снегопаде и повышенной видимости 29 января 2010 г.**

Время	$H_{\text{НГ м}}$				Видимость, явления
	CL31/108°	ДВО-2/108°	CL31/288°	ДВО-2/288°	
15 <sup>00</sup>	1830	605	1850	380	6000 ливневый снег
15 <sup>30</sup>	1750	520	1760	415	9000 ливневый снег
16 <sup>00</sup>	1680	315	1420	375	7000 ливневый снег
16 <sup>30</sup>	1320	615	1580	390	7000 ливневый снег
17 <sup>00</sup>	1180	540	1320	420	5000 снег
17 <sup>30</sup>	1220	350	1210	375	7000 снег

В этой части ряда при снегопаде отсутствует дымка и видимость достигает 10 км. Несмотря на это, результаты измерений датчиком ДВО-2 меньше результатов по CL31 в 2—4 раза.

Полученные данные сравнительных измерений показали высокую надежность обнаружения облачных слоев в сложных метеоусловиях при наличии осадков в виде снега с помощью лазерных приборов и подтвердили низкую достоверность измерений с помощью приборов светолокационного типа. Эти же выводы получены при анализе представленных в ГГО материалов сравнительных наблюдений по приборам CL31 (СТ25К) и ДВО-2, проведенных в марте 2011 г. в аэропорту г. Сургута.

Дополнительным источником методических погрешностей является локальный характер измерений, который осложняет процедуру интерпретации получаемой измерительной информации в отношении связи результатов измерений с высотой визуального контакта пилота с наземными ориентирами. Сложная структура, например многослойная облачность с разрывами в нижнем слое, не позволяет использовать результаты измерений в оперативной практике без дополнительной статистической обработки. Традиционные методы обработки, например осреднение ряда измерений, приводят к появлению ложной информации о наличии промежуточного слоя, искажая информацию о высоте нижней границы облаков.

Из сказанного выше следует, что алгоритмы обработки результатов измерений должны учитывать следующие свойства объекта измерения.

- Облачные слои имеют большую пространственную протяженность, и, когда пилот воздушного судна оценивает высоту нижней границы облаков по потере видимости горизонта, небольшие разрывы в облачном слое мало влияют на условия обнаружения наземных ориентиров. При измерении с помощью наземных оптических локаторов разрывы в облачном слое приводят к потере информации о высоте нижней границы облаков, поэтому алгоритмы обработки результатов измерений должны обеспечивать сохранение потерянной информации путем экстраполяции данных на определенную пространственную область до тех пор,

пока масштаб разрывов в облачном слое снизится до безопасной величины.

- Для подоблачного слоя характерны значительные пространственно-временные колебания оптической плотности. При темпе зондирования  $10\text{--}15\text{ с}^{-1}$  это приводит к разбросу получаемых значений высоты облачного слоя. Локальный характер измерений, свойственный методу оптической локации, усиливает этот процесс. В результате разброс значений высоты нижней границы облаков может превысить величину допускаемой погрешности измерений. Использование процедуры осреднения эффективно только для случая однослойной сплошной (без разрывов) облачности. Кроме того, среднее значение не совпадает с уровнем потери горизонтальной видимости пилотом воздушного судна. Этот уровень находится несколько ниже осредненного за интервал наблюдения значения результатов измерений, поэтому алгоритм интерпретации получаемых данных должен содержать соответствующую процедуру обработки результатов измерений.

Для снижения влияния методических погрешностей, связанных с локальным характером измерения, в отечественных разработках используют статистическую обработку результатов измерений. Впервые алгоритм статистической обработки (Круглов, 2008) был использован в КРАМС-2. В настоящее время в усовершенствованном варианте алгоритм статистической обработки результатов измерений используется в лазерном измерителе высоты облаков ДОЛ-2 (изготовитель ОАО ЛОМО).

Представленные на рис. 1 результаты сравнительных наблюдений за высотой облаков с помощью приборов, использующих лазерную технологию, показали хорошую сходимости данных, полученных с помощью лазерных приборов отечественного (ДОЛ-2) и зарубежного (CL31, СТ25К) производства (фирма Vaisala). В то же время, разброс данных отдельных измерений у измерителей фирмы Vaisala, которые не используют статистическую обработку данных, нередко выходит за пределы допускаемой погрешности. Это затрудняет работу метеонаблюдателей, особенно если  $H_{\text{НГ}}$  приближается к рабочему минимуму аэродрома.

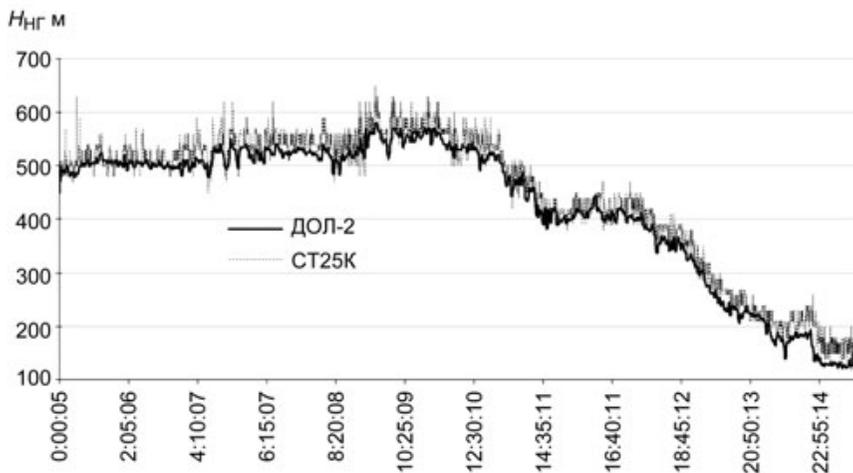


Рис. 1. Результаты измерений  $H_{НГ}$  с помощью ДОЛ-2 и СТ25К  
14 ноября 2009 г.

Облачность в диапазоне 150—600 м, слабый снег.

На рис. 2 приведены результаты измерений двумя лазерными датчиками, один из которых использует алгоритм статистической обработки данных. Показано, что использование статистической обработки по алгоритму, разработанному в ГГО, резко снижает разброс данных, полученных прибором фирмы Vaisala.

Результаты сравнительных измерений подтвердили высокую эффективность разработанного в ГГО алгоритма статистической обработки результатов измерений. Алгоритм позволяет сортировать результаты измерений по принадлежности к нижнему и второму облачным слоям и получать устойчивые данные при наличии разрывов в нижнем слое облаков. Алгоритм позволяет также получать оценку вероятности того, что результат очередного измерения не выйдет за пределы заданных значений, т. е. решает задачу краткосрочного прогнозирования получаемых данных (Круглов, 2008).

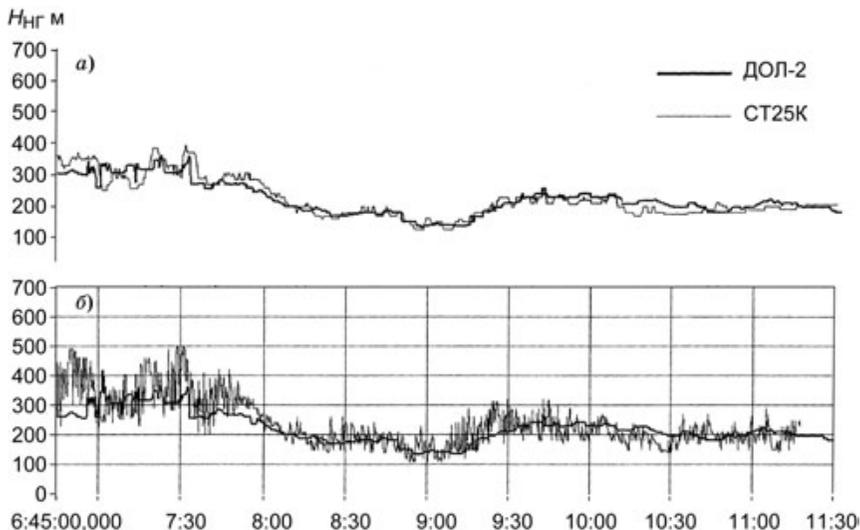


Рис. 2. Результаты измерений  $H_{НГ}$  с помощью ДОЛ-2 и СТ25К  
25 февраля 2008 г.

*a* — с использованием обработки данных по методике ДОЛ-2, *б* — исходные  
результаты измерений.

Облачность в диапазоне 150—400 м, слабый снег.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Рацмор М. Я.* (1987). Наклонная видимость. — Л.: Гидрометеиздат. 22 с.
- Круглов Р. А.* (1973). Оценка влияния длительности зондирующего сигнала на достоверность результатов светолокационных измерений высоты нижней границы облаков // Труды ГГО. Вып. 313. С. 73—78.
- Круглов Р. А.* (2008). Алгоритмы статистической обработки результатов измерений высоты облаков и результаты их практического использования для повышения достоверности и репрезентативности полученной информации о параметрах облачности на аэродроме // Труды конференции, 7—10 октября 2008. — СПб.: изд.-во РГГМУ, с. 148—150.

## МОДЕЛИРОВАНИЕ РАССЕЯНИЯ ИЗЛУЧЕНИЯ НЕОДНОРОДНОЙ АЭРОЗОЛЬНОЙ ЧАСТИЦЕЙ

*Ю. Б. Ржонсницкая*

Российский государственный гидрометеорологический университет  
195196, Санкт-Петербург, Малоохтинский пр., 98  
E-mail: zhjul@rambler.ru

Поступила в редакцию 23.12.2010  
Поступила после доработки 16.02.2011

### **Введение**

При разработке оптических методов аэрозольных измерений требуется учет ряда особенностей аппаратуры и атмосферы. Результаты оптических измерений могут существенно зависеть от модели оптических свойств частиц (Kokhanovsky et al., 2010). При определении размеров частиц оптическими методами могут иметь место существенные погрешности (Yegorov et al., 2008).

В настоящей работе анализируется решение дифференциальных уравнений электромагнитного поля. Рассматривается модель сферической частицы с радиально переменным показателем преломления (с оптически неоднородным покрытием) для объяснения результатов сравнения фотоэлектрических и фильтровых измерений (Егоров, Ионин, 1981; Егоров, 2001).

### **1. Моделирование аэрозольного рассеяния**

Решение дифференциальных уравнений электромагнитного поля было использовано для интерпретации данных экспериментов, в которых были выполнены фильтровые и фотоэлектрические измерения в различных географических районах. Было найдено согласие результатов фильтровых и фотоэлектрических измерений для однородных частиц (Репетек, Туркмения). Кроме того, было найдено расхождение результатов, полученных различными методами в п. Воейково (пригород Санкт-Петербурга) в

условиях прозрачной атмосферы. Возможная причина различий состоит в том, что результаты фотоэлектрических измерений могут существенно зависеть от оптических свойств частиц.

В настоящей работе рассматривается модель сферической частицы с радиально переменным показателем преломления  $m$  (с оптически неоднородным покрытием):

$$\begin{aligned} m &= m_0, & 0 \leq \rho \leq \rho_0, \\ m &= m(\rho), & \rho_0 < \rho \leq \rho_1, \\ m &= m_I = 1, & \rho > \rho_1, \end{aligned} \quad (1)$$

где  $\rho = kr$  — волновое расстояние,  $r$  — расстояние от центра,  $\rho_1 = kr_1$  — приведенный размер частицы,  $r_1$  — радиус частицы,  $\rho_0 = kr_0$  — приведенный размер ядра частицы,  $r_0$  — радиус ядра частицы.

Моделирование рассеяния частицей электромагнитных волн с круговой частотой  $\omega = kc$  и напряженностью  $\mathbf{E} \exp(i\omega t)$  электрического и  $\mathbf{H} \exp(i\omega t)$  магнитного полей основано на решении относительно векторов  $\mathbf{E}$ ,  $\mathbf{H}$  системы уравнений Максвелла

$$\begin{aligned} \operatorname{rot} \mathbf{H} &= ikm^2 \mathbf{E}, \\ \operatorname{rot} \mathbf{E} &= -ik\mathbf{H}, \end{aligned} \quad (2)$$

где  $k$  — волновое число,  $c$  — скорость света.

Для определения индикатрисы рассеяния  $I$  и фактора эффективности рассеяния  $K_s$  используется модифицированное (Yegorov et al., 2008) решение дифференциальных уравнений электромагнитного поля (Perelman, 1996):

$$I = i_1 + i_2, \quad (3)$$

$$K_s = 2 \left[ \sum_1^{\infty} \left( |a_j|^2 + |b_j|^2 \right) (2j+1) \right] / \rho_1^2. \quad (4)$$

Здесь величины  $i_1$ ,  $i_2$  соответствуют излучению, рассеянному параллельно криволинейным осям сферической системы координат  $\theta$  и  $\varphi$  соответственно:

$$i_1 = \left| \sum_1^{\infty} \frac{2j+1}{j(j+1)} (a_j S_j + b_j Q_j) \right|^2, \quad (5)$$

$$i_2 = \left| \sum_1^{\infty} \frac{2j+1}{j(j+1)} (a_j Q_j + b_j S_j) \right|^2, \quad (6)$$

где

$$a_j = (-1)^{j-1} \frac{Y_j(\rho_1) \Psi_j(\rho_1) - \Psi_j'(\rho_1)}{Y_j(\rho_1) \xi_j(\rho_1) - \xi_j'(\rho_1)},$$

$$b_j = (-1)^{j-1} \frac{Z_j(\rho_1) \Psi_j(\rho_1) - \Psi_j'(\rho_1)}{Z_j(\rho_1) \xi_j(\rho_1) - \xi_j'(\rho_1)};$$

$S_j, Q_j$  — угловые функции, связанные с присоединенными функциями Лежандра:

$$Q_j = P_j^1 / \sin \theta, \quad S_j = -\sin \theta \frac{dP_j^1}{d\theta},$$

для вычисления которых используются рекуррентные соотношения:

$$S_{j+1} = \frac{(j+1)^2 Q_{j+2} (j+2)^2 Q_j}{2j+3},$$

$$Q_{j+2} = \frac{(2j+3)Q_{j+1} \cos \theta - (j+2)Q_j}{j+1},$$

$$Q_1 = 1, \quad Q_2 = 3 \cos \theta, \quad S_1 = \cos \theta;$$

функции  $\xi_j$  пропорциональны решениям уравнения Бесселя:

$$\xi_j = \psi_j + i\chi_j,$$

$$\Psi_{j+1}(m\rho) = \frac{2j+1}{m\rho} \Psi_j(m\rho) - \Psi_{j-1},$$

$$\Psi'_j(m\rho) = \Psi_{j-1} - \frac{j}{m\rho} \Psi_j(m\rho)$$

(аналогичные формулы имеют место для функций  $\chi_j$ ),

$$\Psi_{-1}(m\rho) = \cos(m\rho),$$

$$\Psi_0(m\rho) = \sin(m\rho).$$

Функции  $Y_j$ ,  $Z_j$  могут быть выражены в терминах численных решений уравнений:

$$Y'_j(\rho) = -m^2(\rho)Y_j^2(\rho) + \frac{j(j+1)}{\rho^2 m^2(\rho)} - 1, \quad (7)$$

$$Y_j(\rho_0) = \frac{1}{m_0} \frac{\Psi'_j(m_0\rho_0)}{\Psi_j(m_0\rho_0)},$$

$$Z'_j(\rho) = -Z_j^2(\rho) + \frac{j(j+1)}{\rho^2} - m^2(\rho), \quad (8)$$

$$Z_j(\rho_0) = m_0 \frac{\Psi'_j(m_0\rho_0)}{\Psi_j(m_0\rho_0)}.$$

## 2. Результаты моделирования аэрозольного рассеяния

Результаты расчетов для частицы с ядром из сажи ( $m_s = 1,82 \dots 0,64i$ ) представлены на рис. 1 и 2.

Пусть  $IR(1)/I(1,33)$  — относительная индикатриса рассеяния (угол рассеяния  $1,57$  — моделируются фотоэлектрические измерения),  $IR = I(L)/I(0)$ ,  $L = \rho_1 - \rho_0$  — безразмерная толщина покрытия,

$$I(1,33): \quad m = (0,98 - 1,28i)/(1 + d) + 0,84 + 0,64i, \quad (9)$$

$$IR(1): \quad m = (1,64 - 1,28i)/(1 + d) + 0,18 + 0,64i, \quad (10)$$

$$d = (\rho - \rho_0)/(\rho_1 - \rho_0), \quad \rho_1 = \rho_0 (1 + g), \quad 0,02 \leq g \leq 0,2.$$

Параметр  $G$  на рис. 3 соответствует величине  $1 + g$ , которая минимизирует  $IR(1)/I(1,33)$ . Этот параметр представляет собой

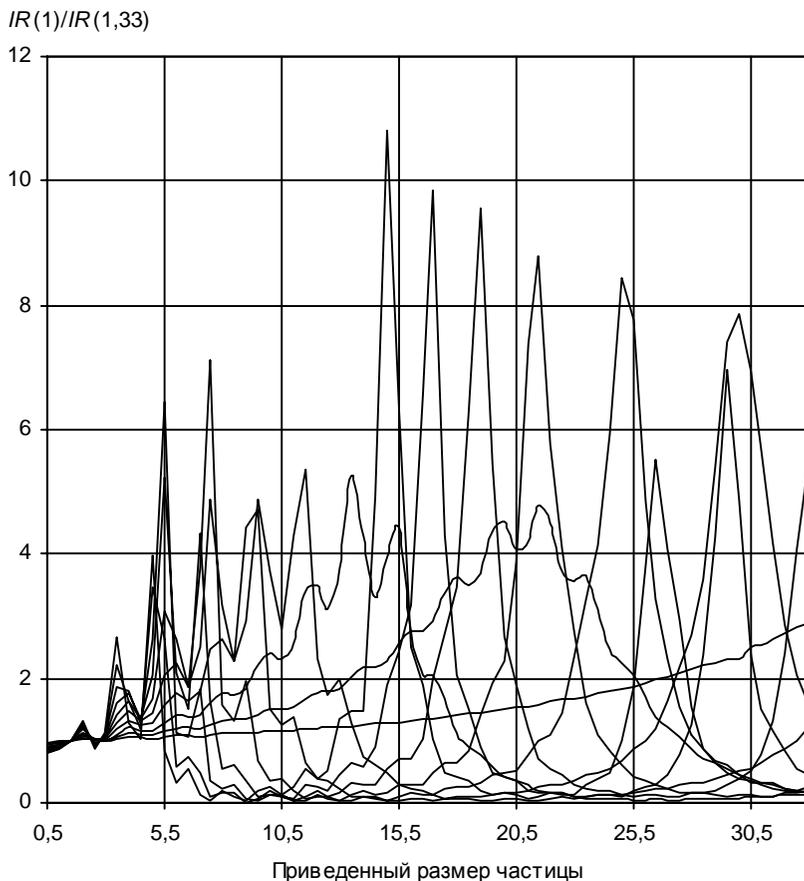


Рис. 1. Относительная индикатриса рассеяния.

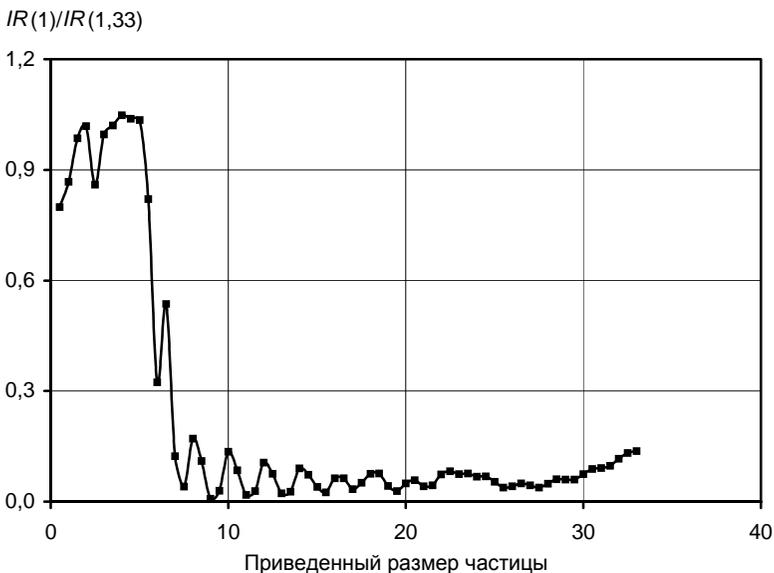


Рис. 2. Минимальная относительная индикатриса рассеяния.

отношение размера частицы, включая покрытие, к размеру ее ядра. Формула (9) моделирует неоднородное покрытие из сажи с водой. На нижней границе показатель преломления совпадает с показателем преломления сажи. На верхней границе показатель преломления совпадает с показателем преломления воды. Формула (10) моделирует неоднородное покрытие из сажи без воды. На верхней границе показатель преломления совпадает с единицей.

Существует очень значительное различие между индикатрисами рассеяния частиц грубодисперсного аэрозоля с различными параметрами покрытия, определяющимися формулами (9) и (10) (см. рис. 2). Это различие соответствует данным измерений (Егоров, Ионин, 1981). С другой стороны, не существует значительного различия между индикатрисами рассеяния различных частиц мелкодисперсного аэрозоля (см. рис. 1, 2) и факторами рассеяния в полную сферу (рис. 4). В этой связи следует указать, что существует известная корреляция между коэффициентом ослабления

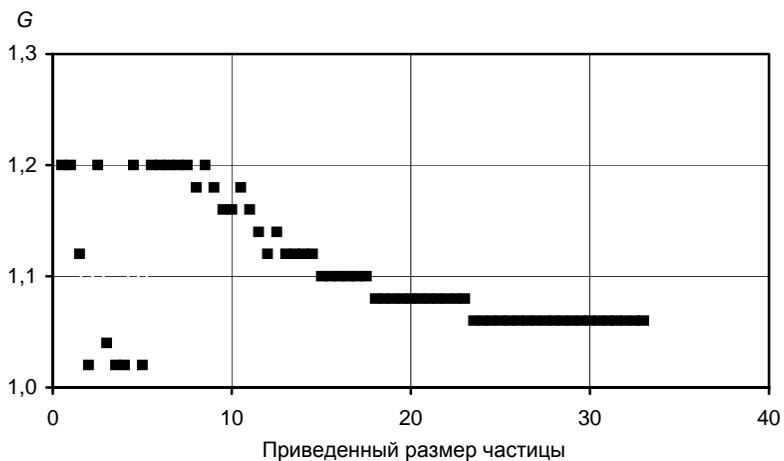


Рис. 3. Параметр  $G$ , минимизирующий  $IR(1)/I(1,33)$ .



Рис. 4. Минимальный относительный фактор эффективности рассеяния в полную сферу.

и концентрацией аэрозольных частиц (Charlson, 1969; Ensor, Pilat, 1971 и др.).

Для того чтобы определить размеры частиц на основе фотоэлектрических данных, необходимо использовать подходящую оптическую модель рассеивателя. Предлагаемая модель может объяснить результаты, найденные в процессе фильтровых и фотоэлектрических измерений, и может быть использована при анализе существующих возможностей разработки оптических спектрометров аэрозоля.

### Заключение

Использование модели сферической частицы с радиально переменным показателем преломления (с оптически неоднородным покрытием) дает возможность объяснить результаты сравнения фотоэлектрических и фильтровых измерений. Важная особенность фотоэлектрических измерений состоит в том, что их результаты могут существенно зависеть от оптических свойств частиц. Существует очень значительное различие между индикатрисами рассеяния частиц грубодисперсного аэрозоля с различными параметрами покрытия. С другой стороны, не существует значительного различия между индикатрисами рассеяния различных частиц мелкодисперсного аэрозоля и факторами рассеяния различных частиц в полную сферу. Эти особенности следует учитывать при определении размеров частиц фотоэлектрическим методом.

Работа выполнена в рамках мероприятий 1.2.1, 1.2.2 Федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009—2013 гг. по направлению «Физика атмосферы» (государственные контракты № П781 от 24 мая 2010 г., № П1037 от 31 мая 2010 г.)

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Егоров А. Д., Ионин В. А. (1981). Вопросы параметризации оптико-микроструктурных связей аэрозольных частиц // Труды ГГО. Вып. 448. С. 70—75.

Егоров А. Д. (2001). Опыт определения характеристик атмосферного аэрозоля // Труды ГГО. Вып. 549. С. 119—121.

*Charlson R. J.* (1969). Atmospheric visibility related to aerosol mass concentration: a review // *Environmental Sci. and Technol.* V. 3, No 10. P. 913—918.

*Ensor D. S., Pilat M. J.* (1971). The relationship between the visibility and aerosol properties of smoke-stack plumes // *J. Air Poll. Control Assoc.* V. 21. P. 496—501.

*Kokhanovsky A. A. et al.* (2010). The inter-comparison of major satellite aerosol retrieval algorithms using simulated intensity and polarization characteristics of reflected light.

*Perelman A. Y.* (1996). Scattering by particles with radially variable refractive indices // *Applied Optics.* V. 35, No. 27. P. 5452—5460.

*Yegorov A. D., Potapova I. A., Rzhonsnitskaya Yu. B.* (2008). Atmospheric aerosols measurements and reliability problem // *Int. J. Remote Sensing.* V. 29. P. 2449—2468.

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ОЦЕНКА ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ГРОЗОВЫХ РАЗРЯДОВ В СВЕРХДЛИННОВОЛНОВОМ ДИАПАЗОНЕ

*А. В. Снегуров*

Главная геофизическая обсерватория им. А. И. Воейкова  
194021 Санкт-Петербург, ул. Карбышева, 7  
E-mail: info@alwes.ru

Поступила в редакцию 25.04.2010  
Поступила после доработки 28.02.2011

Вопрос, касающийся разделения молниевых разрядов (MP) по типу, не получил однозначного ответа (Диневич и др., 1975; Снегуров и др., 1975; Снегуров, 1975б; Ishii et al., 1988; Peckham et al., 1984; Tuomi, 1991; World..., 1993). Наиболее часто применяются амплитудно-временной и амплитудно-частотный (спектральный) методы разделения разрядов по типу. В первом используется различие временных форм атмосфериков (электромагнитного излучения (ЭМИ) MP) от разрядов в облаках и на землю, в частности длительности переднего и заднего фронта первой полуволны, соотношения амплитуд первой и второй полуволн. Второй метод основан на различии амплитуд сигналов на разных частотах в сверхдлинноволновом (СДВ) диапазоне.

Рассмотрим данные измерений временных параметров атмосфериков в СДВ диапазоне для ближней зоны, полученные с помощью ГПС «Алвес». Для интерпретации данных воспользуемся простейшей моделью ЭМИ произвольно ориентированного в пространстве диполя. Применимость этой модели теоретически и экспериментально показана в работах Muller-Hillebrand (1962), Ruhnke (1971), Frisius et al. (1984), Кононова (1970, 1971, 1975).

Для случая когда точка наблюдения расположена на бесконечно проводящей поверхности, изменения во времени электрической  $Ez(t)$  и магнитной  $H\phi(t)$  составляющих излучения в полярной системе координат можно представить следующими соотношениями:

$$Ez(t) = -\frac{\cos^2 \psi (\sin \alpha_0 + \lambda_0)}{2\pi \varepsilon_0 R^3} \left[ n^2 \frac{d^2 P(t)}{dt^2} + m_0 n \frac{dP(t)}{dt} + m_0 P(t) \right], \quad (1)$$

$$H\phi(t) = \frac{\cos \psi (\sin \alpha_0 + \lambda_0)}{2\pi \varepsilon_0 Z_0 R^3} \left[ n^2 \frac{d^2 P(t)}{dt^2} + n \frac{dP(t)}{dt} \right], \quad (2)$$

где

$$\lambda_0 = \cos \alpha_0 \operatorname{tg} \psi \cos(\varphi - \varphi_0);$$

$$m_0 = \frac{(1 - 2\operatorname{tg}^2 \psi) \sin \alpha_0 + 3\lambda_0}{\sin \alpha_0 + \lambda_0};$$

$Z_0 = (\mu_0 / \varepsilon_0)^{1/2}$ ;  $\mu_0$  и  $\varepsilon_0$  магнитная и электрическая постоянные вакуума;  $m_0$  — коэффициент поляризации;  $\varphi$  — направление (азимут) на излучатель;  $\psi$  — угол, под которым излучатель виден из точки наблюдения;  $\varphi_0$  — угол, характеризующий ориентацию диполя в горизонтальной плоскости относительно оси  $X$ ;  $\alpha_0$  — угол, определяющий отклонение диполя от горизонтали;  $n = R/c$ ,  $c$  — скорость света (м/с),  $R$  — расстояние (м),  $t$  — время (с).

Дипольный момент  $P(t)$  в формулах (1) и (2) аппроксимируется следующим выражением (Кононов и др., 1986):

$$P(t) = P_0 \left[ a_1^3 t^3 \exp(-a_1 t) + b a_2^3 t^3 \exp(-a_2 t) \right], \quad (3)$$

где  $P_0$  — дипольный момент в источнике;  $a_1$ ,  $a_2$  и  $b$  — параметры аппроксимации.

Из соотношений (1) и (2) следует, что для вертикального электрического диполя (аналог разряда в землю)  $\alpha_0 = 90^\circ$ , угол  $\psi$  стремится к нулю,  $\lambda_0 = 0$  и  $m_0 = 1$ . Для вертикального электрического диполя, приподнятого над поверхностью Земли (вертикальный разряд внутри облака),  $\alpha_0 = 90^\circ$ ,  $\psi > 0$ . В зависимости от расстояния угол  $\psi$  может увеличиваться до  $90^\circ$ .

Коэффициент поляризации описывается выражением  $m_0 = (1 - 2\text{tg}^2\psi)$ . При  $\psi = 0^\circ$   $m_0 = 1$ , при  $\psi = 45^\circ$   $m_0 = -1$  и далее, по мере увеличения  $\psi$  до  $90^\circ$  (по мере приближения источника к месту регистрации),  $m_0$  стремиться к бесконечности.

При средних размерах вертикальной молнии 3 км, расположенной на высоте 2 км над поверхностью Земли, получаем следующие значения угла  $\psi$ :  $45^\circ$  на удалении 5 км,  $35^\circ$  на 7 км,  $26^\circ$  на 10 км,  $14^\circ$  на 20 км и  $7^\circ$  на 40 км. При этом коэффициент поляризации  $m_0$  составляет  $-1$ ;  $0$ ;  $1,5$ ;  $0,88$ ;  $0,97$  соответственно. Следовательно, с расстояния порядка 40 км значения  $Ez(t)$  и  $H\phi(t)$  для вертикального диполя на поверхности Земли и вертикального диполя, приподнятого над поверхностью Земли, различаются на единицы процентов. Это говорит о том, что на расстоянии более 40 км могут возникнуть трудности при использовании амплитуды поля для разделения по типу вертикального МР в землю и вертикального МР в облаке.

Для горизонтального диполя (горизонтального межоблачного МР)  $\alpha_0 = 0^\circ$ . Следовательно,  $\lambda_0 = \text{tg}\psi \cos(\varphi - \varphi_0)$  и  $m_0 = 3$ . Значения  $Ez(t)$  и  $H\phi(t)$  для горизонтального диполя зависят от угла места  $\psi$  и угла ориентации излучателя относительно направления на точку наблюдения ( $\varphi - \varphi_0$ ). Второе и третье слагаемые в соотношении (1) для  $Ez(t)$  увеличатся в три раза по сравнению с вариантом модели вертикального МР.

Электрическое поле горизонтального диполя в большей степени зависит от его пространственного положения. При  $\cos(\varphi - \varphi_0) = 0$  вертикальная составляющая равна нулю (случай когда диполь направлен от точки измерения). Для случая  $\cos(\varphi - \varphi_0) = 1$  электрическое поле горизонтального и вертикального диполя определяется углом места. Отношение амплитуд электрического поля вертикального и горизонтального диполей изменяется по мере увеличения расстояния: на удалении 3 км это отношение равно 1, на удалении 30 км — 10, на удалении 165 км — 50. При этом амплитуда сигнала в источнике (молниевом разряде) также может изменяться более чем на порядок, что также затрудняет селекцию разрядов по амплитуде вертикального и горизонтального МР.

В реальных условиях МР в землю имеют значительную горизонтальную составляющую, которая в среднем равна 8,9 км (Стасенко, 2004; Степаненко и др., 1983). Известны случаи (Proctor, 1983), когда она достигала 25 км. Для исключения влияния пространственной ориентации МР на погрешность определения пеленга в системе LLP (Herman et al., 1983), а в настоящее время в низкочастотных датчиках LS8000 «Вайсала» измерения проводятся на переднем фронте (первые несколько микросекунд с начала ЭМИ МР) атмосфериков, когда обратный удар имеет наибольшую вертикальную составляющую. Такой метод (измерение на переднем фронте атмосфериков) позволяет значительно снизить поляризационные ошибки, но не обеспечивает селекцию разрядов по типу.

На рис. 1 и 2 представлено изменение во времени составляющей поля  $Ez(t)$  по мере увеличения расстояния для вертикального ( $m_0 = 1$ ) и горизонтального ( $m_0 = 3$ ) диполя. Кривые подобны. Максимум амплитуды поля на различных удалениях в случае горизонтального диполя смещается во времени медленнее, чем в случае вертикального.

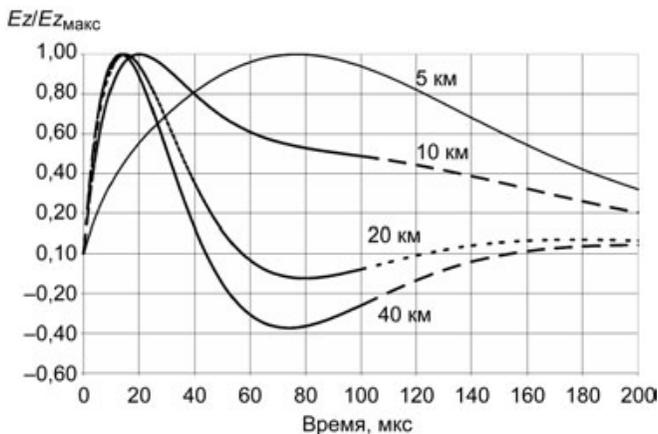


Рис. 1. Изменения нормированных по максимуму амплитуд электрической составляющей поля вертикального диполя во времени на разных расстояниях.

$$a_1 = 23\ 000, a_2 = 35\ 000, b = 3, m_0 = 1.$$

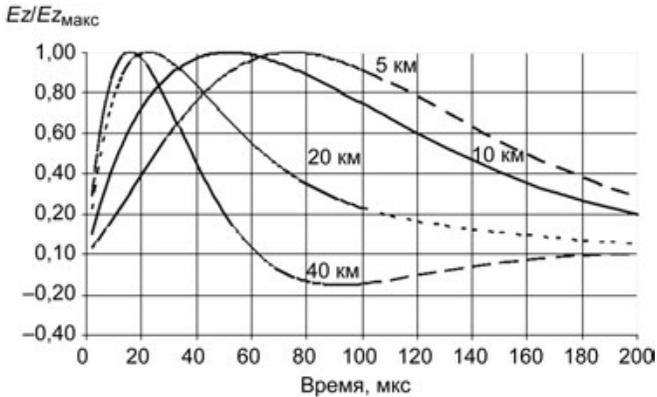


Рис. 2. Изменения нормированных по максимуму амплитуд электрической составляющей поля горизонтального диполя во времени на разных расстояниях.

$$a_1 = 23\ 000, a_2 = 35\ 000, b = 3, m_0 = 3.$$

Длительность переднего фронта для вертикального диполя убывает быстрее, чем для горизонтального (рис. 3). Это означает, что низкочастотные составляющие горизонтального диполя убывают с расстоянием медленнее, чем вертикального. Для сравнения на рис. 3 приведена кривая распределения средних значений длительности переднего фронта атмосфериков в СДВ диапазоне, полученная в результате обработки данных регистрации ГПС «Алвес» в 2009 г.

Приведенные данные показывают применимость дипольной модели МР с параметрами аппроксимации  $a_1$  и  $a_2$  в диапазоне значений от 23 000 до 230 000 и от 3500 до 35 000 соответственно для вертикального ( $m_0 = 1$ ) и горизонтального ( $m_0 = 3$ ) диполя при оценке возможных вариаций параметров ЭМИ МР. На расстоянии 40 км и более наблюдается выравнивание значений длительности переднего фронта для вертикального и горизонтального диполей.

Аналогичный вывод можно сделать при сравнении расчетных и экспериментальных данных зависимости, нормированных по максимуму значений  $Ez/Ez_{\max}$  от расстояния (рис. 4).

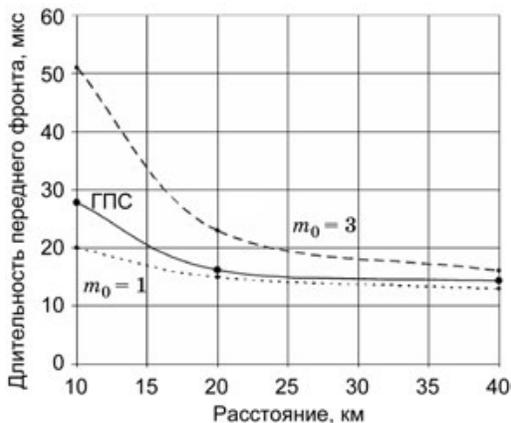


Рис. 3. Зависимость расчетных значений длительности переднего фронта электрической составляющей  $Ez(t)$  МР от параметров аппроксимации  $a_1$ ,  $a_2$ ,  $b$  для вертикального ( $m_0 = 1$ ) и горизонтального ( $m_0 = 3$ ) диполя и экспериментальных данных ГПС «Алвес» на различных удалениях в зоне до 40 км.

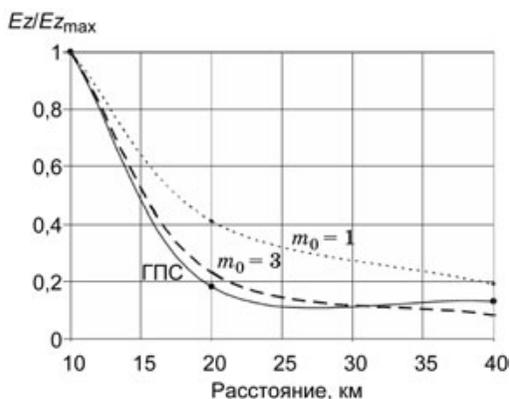


Рис. 4. Зависимость нормированных по максимуму значений амплитуды электрического поля  $Ez/Ez_{max}$  по данным ГПС «Алвес» и расчетных данных для различных параметров  $a_1$ ,  $a_2$ ,  $b$  аппроксимации дипольного момента вертикального ( $m_0 = 1$ ) и горизонтального ( $m_0 = 3$ ) диполя от расстояния.

Обзор экспериментальных данных по определению эффективности регистрации разрядов в землю показал следующее. В Японии (Ishii et al., 1988) использовались временные критерии, в частности длительность переднего и заднего фронта первой полу волны атмосферика и величина отношения амплитуд второй и первой полу волн. Экспериментально установлено, что летом МР в землю с положительной полярностью выделяются в 20—60 % случаев, а с отрицательной полярностью — в 25—80 % случаев. Зимой эффективность регистрации МР с положительной полярностью составляет 10—35 %, а с отрицательной — 20—50 %. Во Флориде (США) эффективность выделения разрядов в землю на расстоянии 25—50 км составляет 60—90 % (Pechham, 1984), в Финляндии — примерно 85 % (Tuomi, 1991). В рекламных проспектах компании «Вайсала» отмечается, что система LS 7000 (низкочастотные датчики, входящие в состав системы LS8000) регистрирует более 90 % разрядов в землю. При этом она регистрирует от 5 до 30 % разрядов в облаках.

В спектральной области  $Ez(i\omega)$  определяется выражением следующего вида:

$$Ez(i\omega) = \frac{P(i\omega)e^{ia}}{\pi\epsilon_0 R^3} \cos^2 \psi(\sin\alpha_0 + \lambda_0)(a^2 + iam_0 - m_0), \quad (4)$$

где  $P(i\omega)$  — дипольный момент;  $a = fR/47,7$ ;  $f$  — частота (кГц);  $R$  — расстояние (км);  $\omega = 2\pi f$ .

Для вертикального диполя параметры  $m_0$  и  $\cos^2 \psi(\sin\alpha_0 + \lambda_0)$  стремятся к единице.

Влияние трассы в ближней зоне можно представить в виде передаточной функции  $K^E$ . По аналогии с функцией ослабления в волновой зоне  $K^E$  можно получить из выражения (4), исключив сомножитель  $P(i\omega)e^{ia}/\pi\epsilon_0$ . Тогда на расстоянии  $R$  спектр излучения грозового разряда  $W(f, R)$  можно выразить через спектр источника  $S_0(f, R_0)$  и некоторую передаточную функцию  $K^E(f, R)$ :

$$W(f, R) = K^E(f, R) S_0(f, R_0), \quad (5)$$

где  $R \geq R_0$ .

Значение передаточной функции  $K^E$  определяется отношением напряженности поля на расстояниях  $R$  и  $R_0$  и всегда будет меньше единицы. Для модуля  $Ez$

$$\left| K^E(f, R) \right| = \left( \frac{R_0}{R} \right)^3 \sqrt{\frac{(fR)^4 - (47,7fR)^2 + (47,7)^4}{(fR_0)^4 - (47,7fR_0)^2 + (47,7)^4}}. \quad (6)$$

Исследования возможности разделения грозových разрядов по типу (облако—облако или облако—земля) с помощью простейших грозорегистраторов Пирса—Гоулда не дали однозначного ответа (Диневич и др., 1975; Снегуров и др., 1975). Этот прибор построен с учетом различия частотных спектров ЭМИ разрядов в землю и в облаках, обнаруженных Пирсом и опубликованных Израэлем (Israel, 1970). Из представленных в монографии Израэля (Israel, 1970) графиков следует, что на частотах до 10 кГц амплитуды электрического поля разрядов в землю и в облаках различаются более чем на два порядка. На частотах 60—100 кГц они соизмеримы.

Используя настроенные приемники, Malan (1959) исследовал соотношение амплитуд поля на частотах от 3 кГц до 12 МГц разрядов в облаках и на землю. Тип разряда определялся по форме сигнала, которая совместно с амплитудой сигнала на одной из частот отображалась на экране двухлучевого осциллографа. В итоге было показано, что на частотах 3—10 кГц амплитуды поля у разрядов в землю в 10—40 раз больше, чем у разрядов в облаках. В работе не дается пояснений, по каким параметрам определялся тип разряда.

В работах Marney et al. (1971), Shanmugan et al. (1971) теоретически и экспериментально показано, что облачные разряды генерируют интенсивное горизонтально поляризованное излучение на частоте 50 кГц, а разряды в землю — вертикально поляризованное излучение на частоте 10 кГц. Соотношение амплитуд поля на частотах 2—3 кГц составляет 3—4, на 8 кГц — 6—7, на 30 кГц — около 1.

Для проверки возможности использования спектральных характеристик ЭМИ МР разных типов в начале 1970-х годов в Мол-

давии и в Ленинградской области были проведены исследования амплитудно-частотных спектров МР в зоне до 5 и до 30 км. Исследования проводились в диапазоне частот от 0,04 до 11 кГц с интервалом 250 Гц и на частотах 5,42 и 61 кГц. Подробное описание аппаратуры и методики измерений приведено в работах Снегурова (1975а, 1975б, 1977, 1980). Основные результаты этих экспериментальных исследований заключаются в следующем.

1. Амплитудно-частотные спектры сигналов на удалении менее 5 км вписываются в рамки модели «стандартного источника», принятой в 60-е годы специалистами-радиофизиками (рис. 5).

2. Амплитудно-частотные спектры в диапазоне частот от 0,04 до 11 кГц и на 61 кГц в зоне до 5 км одинаковы для обоих типов разрядов, что затрудняет применение этих частот для разделения разрядов в облаках и в землю.

3. Амплитудно-частотные спектры разрядов в землю и в облаках, зарегистрированных в зоне до 30 км на частотах от 0,5 до 11 кГц, близки. Их стандартное отклонение изменяется на различных частотах от 4,5 до 6,5 дБ и хорошо согласуется с данными работы Horner et al. (1964).

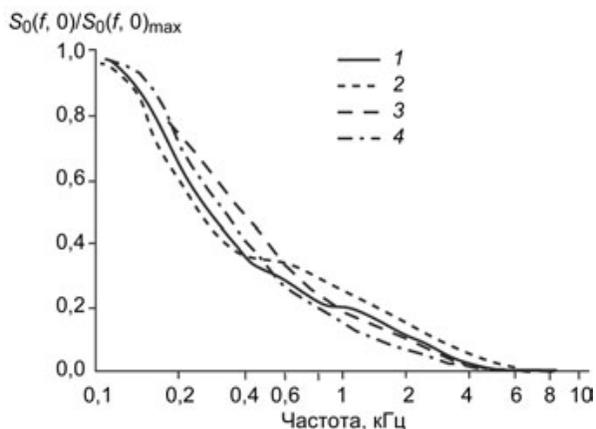


Рис. 5. Средние нормированные значения частотных спектров для разрядов в землю (1), для разрядов в облаках (2), для «стандартного источника» (3) и по данным работы Кашпровского (1966) (4).

4. В амплитудно-частотных спектрах излучения разрядов различного типа (в ближней, до 30 км, зоне) наблюдаются характерные для дальних (более 500 км) МР свойства, проявляющиеся при распространении атмосфериков в волноводе Земля—ионосфера: минимум амплитудно-частотного спектра, приходящийся на частоты 1,4 и 1,6 кГц, и максимум, приходящийся на частоты 4,5—5 кГц.

5. Трансформацию спектров излучения МР, зарегистрированных в зоне до 5 км, по мере увеличения расстояния (рис. 6) можно представить в рамках дипольной модели (соотношения (5) и (6)).

Экспериментальные данные не выявили в ближней (до 30 км) зоне существенных различий в амплитудно-частотных спектрах МР различного типа на частотах 0,04 — 11 и 61 кГц.

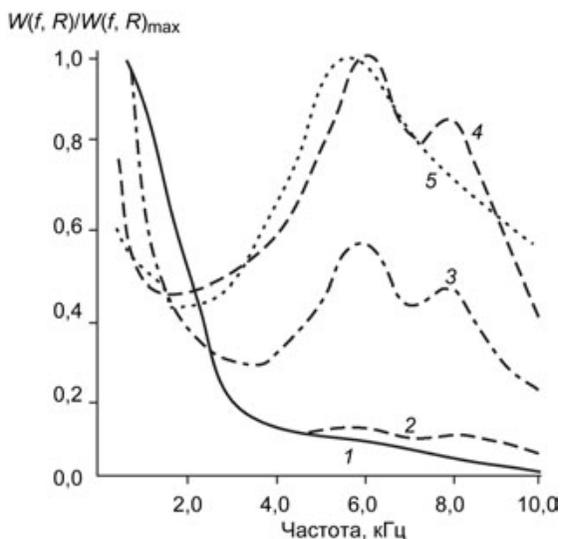


Рис. 6. Трансформация амплитудно-частотных спектров излучения МР по мере увеличения расстояния до молниевых разрядов.

1 — спектр источника (менее 5 км), 2—4 — спектр на расстоянии 10 км (2), 20 км (3) и 30 км (4), 5 — экспериментальный спектр.

В целом расчетные и экспериментальные данные исследований временных и спектральных параметров ЭМИ МР различного типа в СДВ диапазоне указывают на их подобие в зоне до 40 км.

Это объясняет неоднозначность результатов испытания различных систем регистрации разрядов и трудности селекции МР по типу.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

*Диневич Л. А., Малыхин А. В., Снегуров В. С. (1975).* Результаты наблюдений за грозами по счетчикам различной конструкции // Труды ГГО. Вып. 358. С. 78—85.

*Кашпровский В. Е. (1966).* Определение местоположения гроз радиотехническими методами. — М.: Наука. 248 с.

*Кононов И. И., Петренко И. А., Снегуров В. С. (1986).* Радиотехнические методы местоопределения грозových очагов. — Л.: Гидрометеиздат. 222 с.

*Кононов И. И. (1975).* Границы применимости дипольных представлений молниевых разрядов // Труды ГГО. Вып. 358. С. 61—68.

*Кононов И. И. (1970).* Импульсный электромагнитный метод определения удаленности грозových очагов // Труды ГГО. Вып. 253. С. 46—54.

*Кононов И. И. (1971).* Устройство для определения удаленности грозových очагов. А.С. № 316048 // Бюл. № 29.

*Снегуров В. С., Пилин В. Г. (1975).* Результаты испытаний счетчиков молниевых разрядов в Молдавии // Труды ГГО. Вып. 358. С. 86—91.

*Снегуров В. С. (1977).* Результаты расчета амплитудно-частотных спектров молний в дипольном приближении // Труды ГГО. Вып. 350. С. 47—50.

*Снегуров В. С. (1980).* Интерпретация особенностей спектров близких атмосфериков в дипольном приближении // Труды ГГО. Вып. 401. С. 76—79.

*Снегуров В. С. (1975а).* Об амплитудно-частотном спектре источника атмосфериков на сверхнизких частотах // Труды ГГО. Вып. 358. С. 23—27.

*Снегуров В. С. (1975б).* Амплитудно-частотные спектры близких атмосфериков, генерируемых разрядами типа облако—земля и облако—облако // Труды ГГО. Вып. 358. С. 17—22.

*Стасенко В. Н. (2004).* Радиолокационное исследование многоячеистых конвективных (грозových) облаков. — СПб.: Гидрометеиздат. 100 с.

*Степаненко В. Д., Гальперин С. М. (1983).* Радиотехнические методы исследования гроз. — Л.: Гидрометеиздат. 204 с.

*Frisius J., Madlow M., Pelz J.* (1984). Modellrechnungen zur physikalischen Interpretation der Atmosphärischen-Beobachtungen mit dem Short-Range Lightning Activity Counter and Direction Finder (SRLCDF) zum Zweck der Gewitterortung. Inst. für Meteorologieder Freien Universität Berlin // Meteorologische Abhandlungen. B. 1/Heft 4. 95 p.

*Herman B. D., Uman M. A., Brantley R. D., Krider E. P.* (1983). Test of the principle of a wideband magnetic direction finder for lightning return strokes // *J. Appl. Meteor.* V. 15, No.4. P. 402—404.

*Horner F., Bradley P. A.* (1964). The spectra of atmospheric from near lightning discharges // *J. Atm. and Terr. Phys.* V. 26, N12. P. 1155—1166.

*Ishii M., Hojo J.* (1988). On the statistics of field waveforms associated with lightning return strokes // *Proc. Int. Aerospace and Ground Conf. on Lightning and Static Electricity*, April 19—22, Oklahoma City, Oklahoma, National Interagency Coordination Group, p. 78—83.

*Israel H.* (1970). Atmospheric Electricity // *Problems of Physics.* V. 29. 796 p.

*Muller-Hillebrand D.* (1962). Magnetic field of the lightning discharge / *Proc. Int. Conf. Gas. Discharges and Electr. Supply Industry*, London, p. 89—111.

*Malan D. J.* (1959). Radiation from lightning discharges and its relation to the discharge process / In: *Recent advances in atmospheric electricity.* — Oxford, p. 557—563.

*Marney G. O., Shanmugan K.* (1971). *JGR.* V. 76, № 18. P. 4198—4202.

*Peckham D. W., Uman M. A., Wilcox C. E. Jr.* (1984). Lightning phenomenology in the Tampa Bay area // *J. Geophys. Res.* V. 89. P. 11789—11805.

*Proctor D. E.* (1983). Lightning and precipitation in a small multicellular thand-erstorm // *J. Geophys. Res.* V. 88, № C9. P. 5421—5440.

*Ruhnke L. H.* (1971). Determining to lightning strokes from a single station // NOAA Technical report ERL 195-AOCL 24.16. 26 p.

*Shanmugan K., Breipohe A. M.* (1971). *JGR.* № 6. P. 1582—1587.

*Tuomi T. J.* (1991). On the accuracy and detection efficiency of lightning location system of direction finders. — FMI, P.O. Box 503, SF-00101 Helsinki, Finland.

World Meteorological Organization (1993). Report № 51, p. 3—11.

## ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ОСНОВНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ МЕТРОЛОГИЧЕСКОЙ НАДЕЖНОСТИ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ

*В. Ю. Окороков*

Главная геофизическая обсерватория им. А. И. Воейкова  
194021 Санкт-Петербург, ул. Карбышева, 7  
E-mail: etalon@main.mgo.rssi.ru

Поступила в редакцию 27.10.2010

### **Введение**

Как известно, метрологическая надежность средства измерений (СИ) — это надежность средства измерений в части сохранения его метрологической исправности.

Метрологическая надежность СИ характеризуется следующими основными показателями: вероятностью безотказной работы, наработкой до отказа, интенсивностью отказов. Возможность прогнозирования этих показателей позволяет планировать частоту проверок (устанавливать межповерочные интервалы) и технического обслуживания, замену и размер обменного фонда гидрометеорологических СИ, их ресурс и т. п., т. е. оптимизировать процесс эксплуатации СИ.

Прогнозирование основных показателей метрологической надежности гидрометеорологических СИ проводят на основе сбора и обработки информации о текущих метрологических и технических параметрах, предельные значения которых являются критериями их метрологических и явных отказов. Обобщенные оценки средней наработки до метрологических и явных отказов основных типов метрологических СИ приведены в табл. 1.<sup>1</sup>

---

<sup>1</sup> В табл. 1 приведена более полная версия сведений об отказах основных типов метеорологических СИ по сравнению с таблицей, опубликованной в работе: Окороков В. Ю. (2010). Основные вопросы теории метрологической надежности для метеорологических средств измерений // Труды ГГО. Вып. 562. С. 40—60.

Таблица 1

**Показатели метрологической надежности метеорологических средств измерений  
и измерительно-информационных систем Росгидромета**

№ п/п	Тип средства измерений	Наработка до отказа			Приложение
		метеорологического		явного	
		МО	СКО		
<i>Средства измерений атмосферного давления</i>					
1	Эталонные барометры типа КР	11,58	5,99	6,59	Годы
2	Эталонные барометры типа ИР	7,07	4,88	4,20	“
3	Эталонные барометры типа ВОП-1, ВОП-1М	2,05	1,88	1,61	“
4	Манометры типа МВП	9,25	3,36	5,50	“
5	Барометры типа СР-А, СР-Б	9,88	5,37	6,78	“
6	Барометры типа М-67, М-98	3,60	1,36	3,33	“
7	Барометры типа БАММ-1	2,93	1,32	2,06	“
8	Барометры типа БРС-1М, БРС-1М-1, БРС-1М-2, БРС-1М-3	3,26	0,48	1,63	“
<i>Средства измерений температуры воздуха</i>					
9	Термометры ТМ-1	6,42	5,00	6,02	Годы
10	Термометры ТМ-2	5,00	3,13	4,28	“
11	Термометры ТМ-3	4,80	3,26	5,21	“
12	Термометры ТМ-4	5,67	2,37	4,65	“
13	Термометры ТМ-5	3,89	4,37	4,80	“

14	Термометры ТМ-6	6,13	3,77	5,38	“
15	Термометры ТМ-7	6,60	2,65	4,30	“
16	Термометры ТМ-8	6,75	3,21	5,21	“
17	Термометры ТМ-9	3,15	1,92	5,00	“
18	Термометры ТМ-10	6,50	4,95	6,36	“

*Средства измерений скорости воздушного потока*

19	Анеометры типа МС-13	3,57	1,26	1,01	1—15 м/с
		2,47	0,83	1,01	15—20 м/с
20	Анеометры типа М-47	3,27	0,84	3,47	1—20 м/с
		1,91	0,40	3,41	20—30 м/с
21	Анеморумбометры типа М-63, М-63М, М-63М1	3,20	0,97	1,82	1—10 м/с
		2,83	0,77	1,82	10—15 м/с
		2,29	0,59	1,82	15—20 м/с

*Средства измерений влажности воздуха*

22	Гигрометры типа М-19	0,98	0,45	2,66	Годы
23	Гигрографы типа М-21	1,18	0,58	3,25	“
24	Психрометры типа М-34	4,17	1,39	2,0	“
25	Психрометры типа МВ-4М	3,62	1,84	1,10	“

*Средства измерений осадков*

26	Плuviографы типа П-2	—	—	9,31	Годы
27	Осадкомеры типа М-70	—	—	4,78	“
28	Осадкомеры типа О-1	—	—	10,61	“

Продолжение табл. 1

№ п/п	Тип средства измерений	Наработка до отказа			Примечание
		метрологического		явного	
		МО	СКО	МЛ	
<i>Средства измерений солнечной радиации</i>					
29	Актинометры типа М-3	27,60	24,88	20,90	Наработка до первого метрологического отказа, мес. Наработка до второго метрологического отказа, мес
30	Балансомеры типа М-10-М	12,0	13,0	16,46	Наработка до первого метрологического отказа, мес
31	Головки пиранометров типа М-115-М	11,20	12,16	20,43	Наработка до второго метрологического отказа, мес
		13,26	13,53		Наработка до третьего метрологического отказа, мес
		9,45	8,44		Наработка до третьего метрологического отказа, мес
<i>Датчики автоматизированных измерительно-информационных систем</i>					
32	Датчики температуры/влажности воздуха типа НМР-45D	25,6	8,6	12,10	Месяцы

33	Фотометры типа ФИ-2	12,1	6,0	6,20	“
34	Фотометры типа ФИ-3	18,0	6,0	9,0	“
35	Трансиссометры типа MITRAS	24,0	6,2	12,0	“
36	Измерители видимости типа СФ-01	12,6	6,6	6,3	“
37	Нефелометры типа FD12 и FD12P	14,5	6,3	7,3	“
38	Анеморумбометры типа M-127	24,6	12,3	12,3	“
39	Анеморумбометры типа M-127мп	28,9	14,5	14,4	“
40	Анеморумбометры типа WAA151/WAV151	36,1	6,7	18,2	“
41	Измерители параметров ветра типа ИПВ-01	12,6	6,2	6,3	“
42	Датчики ветра типа 05103	28,4	6,6	14,2	“
43	Измерители высоты нижней границы облачности типа ИВО-1М	10,5	5,2	6,2	“
44	Измерители высоты нижней границы облачности типа ДВО-2	22,3	10,1	11,2	“
45	Измерители высоты нижней границы облачности типа СТ-25К	36,8	9,2	18,4	“
46	Датчики давления системы КРАМС-2	26,21	13,1	12,1	“
47	Датчики давления типа РТВ220	36,5	5,5	18,3	“
48	Датчики температуры/влажности воздуха типа НМР45D	25,2	12,2	12,1	“
49	Датчики влажности воздуха типа ДВ-2	12,5	7,1	12,1	“

Продолжение табл. 1

№ п/п	Тип средства измерений	Наработка до отказа			Примечание
		метеорологического		явного	
		МО	СКО	МЛ	
50	Датчики влажности воздуха типа ЮКФВ.411552.001	12,0	6,0	12,0	Месяцы
51	Датчики температуры воздуха типа ТСП-002	24,0	8,5	12,0	“
52	Датчики температуры воздуха типа ПТС-500	24,0	8,5	12,0	“
53	Датчики влажности воздуха психрометрической системы КРАМС	12,6	4,4	12,3	“
54	Датчики влажности воздуха системы КРАМС-2	12,0	6,4	12,0	“
55	Датчики давления АРМС	30,72	12,72	24,12	“
56	Датчики давления MIDAS-321	26,16	13,18	22,20	“
<i>Метеорологические СИ и датчики, эксплуатируемые на НИС</i>					
57	Анеморумбометры типа М-63М1	19,14	9,50	35,88	Месяцы
58	Анемометры типа М-92	14,47	7,24	31,20	“
	МС-13	21,60	7,80	35,04	
59	Барометры типа М-67	22,24	13,83	22,20	“

60	Датчики давления воздуха MIDAS-321	26,21	5,60	24,05	“
61	Датчики направления и скорости ветра MIDAS-321	24,25	12,36	31,44	“
62	Психрометры типа МВ-4М	10,66	5,41	10,68	“
63	Датчики влажности воздуха станции MIDAS-321	7,0	4,03	12,01	“
64	Пиранометры типа М-115-М	16,01	7,62	18,02	“
	М-80	16,68	7,86	18,00	
65	Балансомеры типа М-10-М	17,50	7,68	12,00	“
66	Актинометры типа АГ-50	24,03	12,04	32,76	“
67	Образцовые барометры типа КР	11,58	5,99	6,59	Годы
68	Барометры типа ИР	7,07	4,38	4,20	“
	СР-А, СР-Б	9,88	5,37	6,78	“
	М-67, М-98	3,60	1,86	3,33	“
69	Манометры типа МБП	9,25	3,36	5,50	“
70	Барометры типа БАММ-1	2,93	1,32	2,06	“
71	Датчики давления станции КРАМС-2	3,33	1,35	2,07	“
	станции АРМС	2,56	1,06	2,01	“
72	Термометры типа ТМ-1	6,42	5,00	6,02	“
	ТМ-2	5,00	3,13	4,28	“

Продолжение табл. 1

№ п/п	Тип средства измерений	Наработка до отказа			Примечание
		метеорологического		явного	
		МО	СКО	МЛ	
	ТМ-3	4,80	3,26	5,21	Годы
	ТМ-4	5,67	2,37	4,65	“
	ТМ-5	3,89	4,37	4,80	“
	ТМ-6	6,13	3,77	5,38	“
	ТМ-7	6,60	2,65	4,30	“
	ТМ-8	6,75	3,21	5,21	“
	ТМ-9	3,15	1,92	5,00	“
	ТМ-10	6,50	4,95	6,36	“
73	Анеометры типа				Годы м/с
	МС-13	3,57	1,26	1,01	“ 1—15
		2,47	0,83	1,01	“ 15—20
	М-47	3,27	0,84	3,41	“ 1—20
		1,91	0,40	3,41	“ 20—30
74	Анеморумбометры типа				
	М-63, М-63М,	3,20	0,97	1,82	“ 1—10
	М-63М1	2,83	0,77		“ 10—15
		2,29	0,59		“ 15—20
75	Датчики ветра				
	станции М-49	3,21	0,97	3,40	“ 1—20

	станции М-107	2,39	0,51			“	20—30
76	Гигрометры типа М-19	2,79	0,83		2,43	“	1—20
77	Гигрографы типа М-21	0,98	0,45		2,66		Годы
78	Психрометры типа М-34	1,18	0,58		3,25		“
	МВ-4М	4,18	1,39		2,09		“
	Альбедометры типа СМ-7	1,97	0,41		1,10		“
79	станции MIDAS-321	16,02	8,01		18,01		Месяцы
80	Пиранометры типа СМ-7	14,23	5,60		17,95		“
	станции MIDAS-321						
81	Балансомеры типа СМ-7	17,10	8,54		18,01		“
	станции MIDAS-321						
82	Датчики температуры станции MIDAS-321	21,82	7,50		24,05		“
83	Измерители высоты облаков типа ИВО-1М	10,50	7,05		12,68		“
84	Датчики электропроводности воды типа М6500 станции MIDAS-321	12,05	6,12		4,12		“

## 1. Общие требования к методам прогнозирования основных показателей метрологической надежности гидрометеорологических средств измерений

Прогнозирование состояния гидрометеорологических СИ следует проводить по апробированным моделям их метрологической надежности, основанным на диагностировании прошлого и текущего состояния СИ по результатам проведения всех операций технического и метрологического контроля нормируемых метрологических характеристик (НМХ) и выполняемых функций СИ в соответствии с действующими нормативными документами на методики их поверки.

Процесс диагностирования состояния СИ осуществляется в соответствии с универсальной моделью укрупненного случайного процесса изменения надежности СИ, представленной в работе Окоренкова (2010).

Последовательность диагностирования *невосстанавливаемых СИ* (к ним относятся те СИ, для которых в рассматриваемой ситуации проведение восстановления работоспособного состояния в нормативно-технической и (или) конструкторской (проектной) документации не предусмотрено) задается укрупненной моделью случайного процесса изменения надежности СИ, представленной матрицей переходов укрупненных состояний модели укрупненного случайного процесса изменения надежности СИ.

Матрица переходов укрупненных состояний СИ, приведенная в работе Окоренкова (2010), определяет четыре принципиально различных типа алгоритмов диагностирования и прогнозирования состояния *невосстанавливаемых СИ*:

алгоритмы диагностирования и прогнозирования явных метрологических и функциональных отказов СИ,

алгоритмы диагностирования и прогнозирования необратимых метрологических отказов СИ,

алгоритмы диагностирования и прогнозирования обратимых (переживающихся) метрологических отказов и сбоев,

алгоритмы диагностирования и прогнозирования работоспособного состояния СИ.

Для *восстанавливаемых СИ* (к ним относятся те СИ, для которых в рассматриваемой ситуации предусмотрено проведение восстановления работоспособного состояния в нормативно-технической и (или) конструкторской (проектной) документации) универсальную модель надежности следует строить на основе двух укрупненных случайных процессов: процесса изменения надежности и процесса метрологического и технического обслуживания.

В зависимости от существующих схем метрологического и технического обслуживания конкретных типов СИ модель изменения надежности модифицируется путем включения новых или исключения существующих укрупненных состояний процессов метрологического (надзор, контроль и т. п.) и технического (ремонт, профилактика и т. п.) обслуживания СИ.

При выпуске из производства восстанавливаемых СИ универсальную модель укрупненного процесса изменения надежности следует задавать моделью вида

$$\{S_{ij}^N\} = R \cup M \cup SB \cup Q \cup PPOV \cup REM \cup H \cup T, \quad (1)$$

$$S_i \cap S_j = 0 \text{ для всех } i, j = \overline{1, 8} \text{ при } i \neq j,$$

где использованы следующие обозначения:

*PPOV* — укрупненное состояние первичной поверки на заводе — изготовителе СИ,

*REM* — укрупненное состояние ремонта на заводе — изготовителе СИ,

*H* — укрупненное состояние хранения СИ,

*T* — укрупненное состояние транспортировки СИ.

При эксплуатации восстанавливаемых СИ модели укрупненных процессов изменения надежности могут быть заданы совокупностью  $\sigma$ -алгебр *F*-укрупненных пространств состояний процессов изменения надежности и обслуживания для СИ:

поверяемых и ремонтируемых

$$\{S_{ij}\} = R \cup M \cup SB \cup POV \cup REM, \quad (2)$$

$$S_i \cap S_j = 0 \text{ для всех } i, j = \overline{1, 5} \text{ при } i \neq j;$$

поверяемых, ремонтируемых, проходящих профилактику и т. п.

$$\{S_{ij}\} = R \cup M \cup SB \cup POV \cup PROF \cup REM, \dots \cup S_n, \quad (3)$$

$$S_i \cap S_j = 0 \text{ для всех } i, j = \overline{1, n} \text{ при } i \neq j,$$

где  $n$  — общее число дискретных укрупненных состояний процесса обслуживания.

Число укрупненных состояний ( $S_i$ ) моделей вида (1) — (3) ограничено только возможностью их наблюдаемости, т. е. возможностью контроля НМХ в период нахождения СИ в каждом их них.

Таким образом, методы прогнозирования состояния и основных показателей метрологической надежности гидрометеорологических СИ в общем виде могут быть основаны на:

диагностике метрологического состояния каждого СИ по результатам оценок НМХ СИ и динамики изменения их во времени по результатам проверок или калибровок СИ;

оценке параметров законов распределения систематической и случайной составляющих дрейфа основной погрешности для однотипных СИ;

индивидуальном прогнозе параметров закона распределения наработки до метрологического отказа каждого СИ, по которым в соответствии с укрупненными моделями процессов изменения надежности и реального функционирования (Окоренков, 2010) проводят численное моделирование процесса реального функционирования парка однотипных СИ;

оценке основных показателей надежности и эффективности функционирования СИ по результатам моделирования с учетом фактических параметров процесса их эксплуатации (браков проверки I и II рода; вероятностей брака ремонта, профилактики, регулировки; планируемых межповерочных, межкалибровочных, межремонтных, межпрофилактических интервалов; ограничений на пропускную способность поверочных и ремонтных организаций существующей системы метрологического обеспечения).

## 2. Прогнозирование состояния и основных показателей метрологической надежности с помощью программных средств

С учетом перечисленных выше требований к методам прогнозирования метрологической надежности в ГУ «ГГО» была разработана и внедрена (Окоренков, Лячнев, 2003) автоматизированная система управления (АСУ) парком гидрометеорологических СИ STATUS-SI, позволяющая проводить автоматизированную диагностику и анализ текущего состояния СИ и прогнозировать состояние гидрометеорологических СИ. Методы автоматизированного анализа и прогнозирования состояний СИ, разработанные автором, изложены в рекомендациях МИ 2918—2005 (Окоренков, 2005) и лежат в основе ряда комплексов и систем программ. Их можно условно подразделить на шесть уровней, которые реализуются по определенному алгоритму и варьируют в зависимости от априорной информации и текущих данных о состоянии НМХ СИ, качества информации и степени ее агрегатирования.

Рассмотрим некоторые из этих методов.

Наиболее универсальными (по отношению к остальным) являются *алгоритмические методы анализа*, предназначенные для численного моделирования и оптимизации укрупненных случайных процессов изменения надежности и функционирования парков СИ и прогнозирования на этой основе показателей качества их функционирования:

$$\alpha_S(t) = \frac{n_{Si}(t, \bar{S}, \bar{X}, \alpha, \beta, \gamma_1, \dots, \gamma_n)}{N(t)}, \quad (4)$$

где использованы следующие обозначения:

$i = \overline{1, d}$  — число подмножеств укрупненных состояний СИ;

$n_{Si}$  — число СИ, находящихся в эксплуатации в момент времени  $t$  и принадлежащих  $i$ -му подмножеству состояний  $S$ ;

$N(t)$  — общее число однотипных СИ, находящихся в эксплуатации в момент времени  $t$ ;

$\bar{S}$  — случайный вектор укрупненных состояний СИ;

$\bar{X}$  — векторы периодичностей управляющих (поверка, калибровка, регулировка, ремонт и т. п.) воздействий на  $S \in \Omega_S$ ;

$\alpha, \beta$  — вероятности браков (рисков) I и II рода управляющих воздействий при проверке (калибровке, контроле и т. п.) СИ;

$\gamma_1, \dots, \gamma_n$  — вероятности брака восстановления СИ (при ремонте, профилактике, регулировке и т. п.);

$\Omega_S, \Omega_X$  — соответственно пространство укрупненных состояний СИ и пространство периодичностей управляющих воздействий (межповерочные, межремонтные, межпрофилактические интервалы) на состояние СИ.

Из выражения (3) выведены основные критерии качества функционирования парка СИ:

$$\alpha_{S=R}(t) = \frac{n_{S=R}(t, S, X, \lambda, \beta, \gamma_1, \dots, \gamma_n)}{N(t)}, \quad (5)$$

$$\bar{S} \in \Omega_S, \quad X \in \Omega_X,$$

где  $\alpha_{S=R}(t)$  — функция готовности (работоспособности) парка СИ, соответствующая отношению числа работоспособных СИ к их общему числу  $N(t)$  в момент времени  $t$ .

Аналогично выражению (5):

$\lambda_{S=m}(t)$  — функция метрологической неготовности парка СИ;

$\lambda_{S=SB}(t)$  — функция метрологической нестабильности парка СИ;

$\lambda_{S=q}(t)$  — функция технической неготовности парка СИ;

$\lambda_{S=POV}(t)$ ,  $\lambda_{S=REM}(t)$ ,  $\lambda_{S=PROV}(t)$  — соответственно функции метрологического и технического обслуживания парка СИ.

Реализация алгоритмических методов анализа состояния парков СИ возможна при высокой степени агрегатирования исходной информации на уровне, достаточном для задания законов распределения переходов укрупненных состояний в соответствии с моделями процессов изменения надежности и реального функционирования парков СИ (1)—(3).

*Имитационно-вероятностные методы* предназначены для моделирования процессов метрологического и технического обслуживания парков СИ, процессов изменения во времени параметров законов распределений наработки до различных типов метрологических отказов (постепенных, перемеживающихся, внезапных (типа сбоя), с последствием, без последствия и т. п.), аналитическое описание которых затруднено или невозможно. Результаты численного моделирования имитационно-вероятностными методами обеспечивают информационное «питание» алгоритмических моделей (1)—(3) укрупненных случайных процессов изменения надежности СИ. Практическая реализация применения имитационно-вероятностных методов для исследования метрологической надежности метеорологических СИ представлена в известных работах автора (Окоренков, 1985, 1987; Окоренков и др., 1989, 1990).

*Методы экстраполяции* обеспечивают прогнозирование процессов дрейфа НМХ СИ по индивидуальным и типовым моделям дрейфа СИ, построение которых осуществляют с использованием методов регрессионного, дисперсионного и спектрального анализа динамики изменения во времени НМХ СИ за весь период их эксплуатации. Экстраполяцию процессов дрейфа НМХ СИ осуществляют на период, соответствующий наработке их до метрологического отказа, с учетом всех влияющих на дрейф НМХ факторов, часть которых (в некоторых случаях) задают в явном виде имитационно-вероятностными методами. Необходимую точность прогнозирования обеспечивают постоянной адаптацией по текущим данным результатов проверок, калибровок, ремонтов, регулировок моделей дрейфа НМХ СИ, а также контролем точности прогнозирования наработки до метрологических и явных отказов по фактическим данным, что особенно важно для обеспечения необходимой точности прогнозирования дрейфа НМХ СИ.

Методы, алгоритмы, программы анализа и прогнозирования состояния и основных показателей надежности СИ приведены в описаниях ряда автоматизированных систем и комплексов программ (Окоренков, 1985) и апробированы автором (Окоренков, 2010) для 83 типов гидрометеорологических СИ.

Автоматизированные системы типа АСУ STATUS-SI, дающие возможность прогнозировать состояние метрологической надежности СИ, позволяют тем самым управлять парками гидрометеорологических СИ и являются, по существу, системами анализа и принятия решений (СПР). СПР обеспечивают оптимальность принятия решения о назначении конкретного вида метрологического и технического обслуживания СИ в зависимости от его текущего состояния, определяемого прогнозируемыми показателями его надежности и существующими в текущий момент возможностями (оперативного воздействия на состояния СИ) системы метрологического обеспечения (СМО).

СПР АСУ STATUS-SI, реализующая производственную систему целевых условий, обеспечивающих оптимальное управление состоянием парка СИ, приведены в рекомендациях по прогнозированию метрологической надежности гидрометеорологических СИ (Окоренков, 2005). СПР АСУ STATUS-SI является открытой системой и ориентирована на постоянное дополнение и адаптацию к изменяющимся условиям эксплуатации парков гидрометеорологических СИ и возможностям существующей СМО, которые существенно расширились с внедрением в системе Росгидромета нового поколения автоматизированных мобильных и стационарных поверочных лабораторий типа МАПЛ-1, СПЛ-1, разработанных автором.

В состав программного обеспечения МАПЛ-1, СПЛ-1 входят автоматизированные системы поверки (АСП) ориентированные на все типы метеорологических автоматизированных измерительно-информационных систем и комплексов (АМИИС-2000, АМС-2000, АМИС-РФ, КРАМС-4, АМИС-1, МКС-М1, МКС-М2, МКС-М3 и других), которые поверяются в соответствии с комплексом методик их поверки, разработанных автором. АСП МАПЛ внедрены во всех службах средств измерений (ССИ) системы Росгидромета и практически реализуют методы прогнозирования основных показателей метрологической надежности для метеорологических СИ. Создание и внедрение АСП МАПЛ в системе Росгидромета позволяет практически реализовать оптимальное управление состоянием их надежности для всего парка метеорологических СИ.

## Заключение

В настоящей работе приведены требования к методам анализа и прогнозирования метрологической надежности гидрометеорологических СИ.

Описанные автоматизированные методы анализа и прогнозирования легли в основу разработанных автором программных продуктов. На примере АСУ STATUS-SI рассмотрены возможности аналогичных программных комплексов и систем.

Приведенные результаты разработок позволяют решать вопросы, связанные не только с анализом текущего состояния СИ и прогнозированием их метрологической надежности, но и создавать программные средства, дающие возможность управлять парком гидрометеорологических СИ.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

*Окоренков В. Ю.* (2010). Основные вопросы теории метрологической надежности для метеорологических средств измерений // Труды ГГО. Вып. 562.

*Окоренков В. Ю., Ахметов М. З., Бураченко Т. А.* Автоматизированная система управления, контроля метрологической надежности парка средств измерений (1985). — ОФАП Госкомгидромета, ВЦ ВНИИГМИ—МЦД. Инв. № 0240.

*Окоренков В. Ю., Кусуров В. И.* Автоматизированная система обнаружения метрологических отказов метрологических средств измерений (1989). — ОФАП Госкомгидромета, ВЦ ВНИИГМИ—МЦД. Инв. № 41070.

*Окоренков В. Ю., Лячев В. В.* Автоматизированная система управления метрологическим обеспечением метеорологических средств измерений (2003). — Стандарты и качество / Развитие автоматизированной системы анализа и управления состоянием парков гидрометеорологических и океанологических средств измерений.

*Окоренков В. Ю.* (2005). Рекомендация. МИ 2918—2005. ГСИ. Анализ состояния и прогнозирование основных показателей метрологической надежности гидрометеорологических средств измерений. — М.: Астерион. 18 с.

РМГ 29-99. Рекомендации по межгосударственной стандартизации. Государственная система обеспечения единства измерений. Метрология. Основные термины и определения (1999). — СПб, ВНИИМ им. Д. И. Менделеева.

*Окоренков В. Ю.* Система моделирования функционирования парка метеорологических средств измерений (1985). — ОФАП Госкомгидромета, ВЦ ВНИИГМИ—МЦД. Инв. № 051050923.

Численный прогноз и оптимальное управление метрологической надежностью средств измерений (1987). — ОФАП Госкомгидромета, ВЦ ВНИИГМИ—МЦД. Инв. № 051050923.

*Окоренков В. Ю.* (2009). Рекомендация. МИ 2713—2008. ГСИ. Системы автоматизированные метеорологические измерительные. Методика поверки. — СПб: Астерион. 106 с.

*Окоренков В. Ю., Ахметов М. З.* (1990). Автоматизированная система управления метрологическим обеспечением метеорологических средств измерений // Труды ГГО. Вып. 529. С. 94—104.

**АНАЛИЗ КАЧЕСТВА РАБОТЫ ЛАБОРАТОРИЙ  
МОНИТОРИНГА ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРЫ  
СЕТИ РОСГИДРОМЕТА**

*О. П. Шарикова, Е. В. Ковачева*

Главная геофизическая обсерватория им. А. И. Воейкова  
194021 Санкт-Петербург, ул. Карбышева, 7  
E-mail: labzag@main.mgo.rssi.ru

Поступила в редакцию 6.04.2011

Для обеспечения достоверности и качества информации о загрязнении атмосферы ГУ «ГГО» осуществляет научно-методическое руководство сетью мониторинга загрязнения атмосферы (МЗА) Росгидромета. В основе этой деятельности лежат непрерывное взаимодействие с лабораториями мониторинга загрязнения атмосферы (консультации, обмен материалами и др.) и регулярный контроль деятельности лабораторий мониторинга загрязнения атмосферы (ЛМЗА), ежегодный анализ и оценка качества работы сети на основе:

проведения внешнего контроля качества измерений (рассылка контрольных образцов, сбор, обработка, анализ и оценка результатов измерений в ЛМЗА сети);

проверки и согласования градуировочных графиков для определения концентраций примесей;

анализа материалов, поступающих из сетевых лабораторий (отчетов, справок, результатов контроля, информации о технической оснащенности сетевых подразделений);

проведения методических инспекций, оказания методической помощи по выявлению и устранению ошибок по отбору и анализу проб;

обучения персонала сетевых подразделений проведению работ по контролю загрязнения атмосферы на ежегодно проводимых ГУ «ГГО» научно-методических курсах «Современные задачи мониторинга загрязнения атмосферы».

Ежегодное Методическое письмо ГУ «ГГО» «Обзор состояния работ по мониторингу загрязнения атмосферного воздуха» подробно обобщает вышеуказанные результаты деятельности по контролю работоспособности сети мониторинга загрязнения атмосферы Росгидромета за год и направлено на обеспечение достоверности информации о загрязнении атмосферного воздуха.

ГУ «ГГО» как методический центр сети МЗА Росгидромета ежегодно проводит внешний контроль качества измерений концентрации загрязняющих веществ в ЛМЗА. Для этого производится рассылка образцов контроля (ОК) с заданными (зашифрованными) концентрациями примесей в лаборатории сети наблюдений за загрязнением атмосферы. Затем по полученным из лабораторий результатам проводятся анализ и оценка качества измерений.

В качестве критерия соответствия результатов анализа заданной точности принят норматив точности  $K$ . Результаты измерений признаются удовлетворительными, если  $|C - X| \leq K$ . Если  $|C - X| > K$ , результаты контроля признаются неудовлетворительными. Здесь  $C$  — заданная концентрация ОК (мкг в пробе),  $X$  — средняя концентрация по результатам пяти измерений в ЛМЗА (мкг в пробе),  $K$  — норматив точности, вычисленный для заданного уровня концентрации (мкг в пробе). В качестве нормативного принимается значение  $K$ , равное  $\pm 25\%$ . ЛМЗА, три результата измерения заданной концентрации которых были признаны неудовлетворительными, получают неудовлетворительную оценку (НЕУД) по контролю примеси в целом. Результаты такого контроля ежегодно публикуются в Методическом письме ГУ «ГГО» «Обзор состояния работ по мониторингу загрязнения атмосферного воздуха».

Для оценки эффективности внешнего контроля как важного фактора повышения достоверности наблюдений на сети МЗА был проведен анализ результатов внешнего контроля за период с 2000 по 2011 г. Также была рассмотрена динамика качества измерений загрязнения атмосферы на сети МЗА Росгидромета по ряду примесей.

На рис. 1 приведено число контрольных образцов, разосланных в ЛМЗА за период 2000—2011 гг., по всем примесям, которые контролировались в этом году. Из рисунка видно, что число ОК, разосланных на сеть МЗА, возрастает с каждым годом, и в 2011 г. возросло по сравнению с 2000 г. в несколько раз. В год контролируется качество наблюдений от двух до четырех примесей. При планировании внешнего контроля приоритетными являются ЛМЗА, получившие неудовлетворительные результаты при предыдущем контроле, и ЛМЗА, в которых внешний контроль не проводился длительное время. Для обеспечения такого планирования создана база данных, содержащая все сведения о разосланных ОК, результатах внешнего контроля, полученных из ЛМЗА, и результатах анализа ошибок измерений, которые регулярно направляются в ЛМЗА по результатам контроля.

За период с 2000 по 2011 г. проводился внешний контроль точности измерения концентраций для восьми примесей:  $\text{SO}_2$  (пять раз за период), сульфат-иона (три раза за период),  $\text{H}_2\text{S}$  (пять раз за период),  $\text{NO}_2$  (шесть раз за период), фенола (четыре раза за период),  $\text{HCl}$  (три раза за период), аммиака (три раза за период), формальдегида (шесть раз за период).

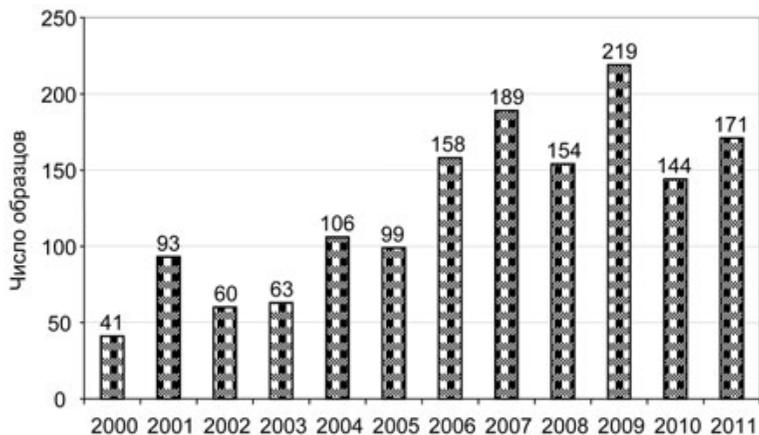


Рис. 1. Число контрольных образцов, разосланных в ЛМЗА.

Анализ результатов контроля, полученных из ЛМЗА, показывает, что качество измерений за период с 2000 по 2011 г. возросло. Это видно из рис. 2, на котором отражены неудовлетворительные результаты внешнего контроля за период с 2000 по 2011 г. по всем примесям, а именно:

доля (%) полученных недостоверных результатов контроля, осредненная по всем ОК для данной примеси за период с 2000 по 2011 г. за исключением последнего контроля;

доля (%) полученных недостоверных результатов по данным последнего контроля по данной примеси.

Из рис. 2 видно, что для последних результатов характерна значительно меньшая доля недостоверных значений, что свидетельствует о действенности работ по повышению достоверности и качества наблюдений, проводимых ГУ «ГГО», и росте качества измерений.

Кроме того, можно сделать вывод о том, что наибольшая достоверность получена при анализе проб на формальдегид и  $\text{NO}_2$ , а наименьшая — при анализе проб на  $\text{SO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{S}$  и сульфат-ион.

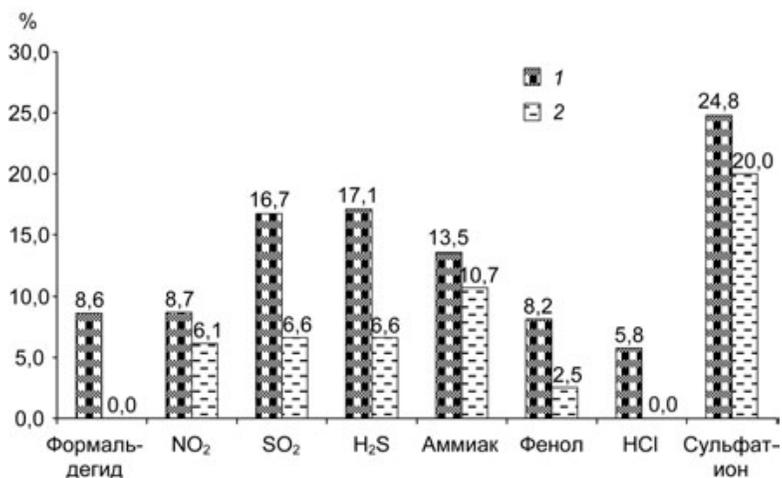


Рис. 2. Доля (%) недостоверных значений.

1 — среднее значение, 2 — последнее значение.

Из рис. 2 также следует, что доля недостоверных значений для всех примесей составляет менее 25 %, что свидетельствует о соблюдении в целом точности наблюдений загрязняющих веществ на сети МЗА.

Анализ неудовлетворительных результатов внешнего контроля качества измерений показывает, что ряд ошибок носит систематический характер. Причиной систематических погрешностей является ошибка построения градуировочных графиков. В связи с этим при его построении ЛМЗА рекомендуется обратить внимание на качество и чистоту используемых реактивов и посуды. Кроме того, ЛМЗА рекомендуется более точно придерживаться инструкции ГУ «ГГО» по проведению измерений, высылаемой с ОК.

В ходе внешнего контроля проводится детальный анализ ошибок по каждой проверяемой примеси для каждой ЛМЗА для установления возможных причин их возникновения. В случае получения неудовлетворительных результатов в ЛМЗА направляются методические рекомендации по проведению измерений и путям устранения погрешностей, а затем производится повторный внешний контроль.

За период с 2000 по 2011 г. внешний контроль проводился в 150 ЛМЗА.

Оценка качества работы ЛМЗА сети МЗА Росгидромета проведена на основе сравнения результатов внешнего контроля за период с 2000 по 2011 г. (рис. 3). Для этого была подсчитана доля удовлетворительных и неудовлетворительных результатов контроля за период с 2000 по 2011 г. для каждой из 150 ЛМЗА по всем примесям. Полученные оценки качества работы были представлены по четырем градациям:

только удовлетворительные результаты (100 %) получены в 59 ЛМЗА,

более 75 % удовлетворительных результатов получено в 123 ЛМЗА,

от 50 до 75 % удовлетворительных результатов получено в 22 ЛМЗА,

менее 50 % удовлетворительных результатов получено в четырех ЛМЗА.

Таким образом, только 26 ЛМЗА (17 % общего числа ЛМЗА) получили более 25 % неудовлетворительных результатов контроля за последние 10 лет. Эти ЛМЗА являются приоритетными при проведении внешнего контроля и оказании методической помощи по выявлению и устранению ошибок.

В целом, представленные результаты свидетельствует о действенности работ по повышению достоверности и качества наблюдений, проводимых ГУ «ГГО», росте качества анализа проб в ЛМЗА сети мониторинга загрязнения атмосферного воздуха Росгидромета и целесообразности расширения ежегодного объема внешнего контроля качества измерений как по числу ЛМЗА, так и по числу веществ.

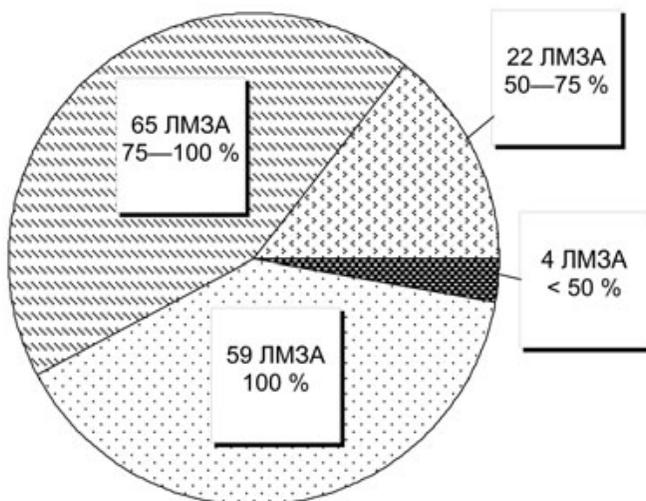


Рис. 3. Оценка качества работы ЛМЗА — число ЛМЗА по градациям доли (%) удовлетворительных результатов.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

ГОСТ 17.2.4.02—81 (1981). Охрана природы. Атмосфера. Общие требования к методам определения загрязняющих веществ. — М.: Изд-во стандартов. 3 с.

*Жуковский Е. Е., Киселева Т. Л., Мандельштам С. М.* (1976). Статистический анализ случайных процессов. — Л.: Гидрометеоиздат. 407 с.

Руководство по контролю загрязнения атмосферы (1989). — Л.: Гидрометеоиздат. 489 с.

## Итоги научно-производственной деятельности ГГО в 2010 г.

В 2010 г. закончился трехлетний цикл исследований по Целевой научно-технической программе Росгидромета «Научно-исследовательские, опытно-конструкторские, технологические и другие работы для государственных нужд в области гидрометеорологии и мониторинга окружающей среды» на 2008—2010 гг.

Ежегодно Главная геофизическая обсерватория им. А. И. Воейкова принимала участие в выполнении всех подпрограмм. Информация о числе выполняемых тем приведена в табл. 1.

*Таблица 1*

**Число тем, выполнявшихся в ГГО по плану НИОКР Росгидромета  
в 2008—2010 гг.**

	Год		
	2008	2009	2010
ЦНТП-1	2/0	3/0	3/0
ЦНТП-2	14/10	18/13	16/10
ЦНТП-3	12/5	12/4	11/3
ЦНТП-4	9/3	10/3	10/3
ЦНТП-5	1/0	1/0	1/0
ЦНТП-6	5/2	5/2	5/2
ЦНТП-7	10/4	6/4	6/4
ЦНТП-8	15/14	17/6	12/12
Всего	68/38	72/42	64/34

### **1. Подпрограмма «Методы, модели и технологии гидрометеорологических и гелиогеофизических расчетов и прогнозов»**

Работы в области долгосрочных метеорологических прогнозов являются традиционными для ГГО.

В 2008—2010 гг. была разработана и испытана технология ансамблевого долгосрочного прогноза на сроки от месяца до сезона с использованием улучшенной версии модели атмосферы Т63L25.

Новая модель имеет в два раза более высокое спектральное и вертикальное разрешение по сравнению с ранее использовавшейся моделью Т42L14. Выполнена детальная валидация модели на основе многочисленных прогностических экспериментов и анализа качества прогнозов по всем основным переменным на 16 вертикальных уровнях. В результате уточнения ряда параметров модели удалось существенно уменьшить систематические погрешности расчетов термического режима и циркуляции в тропосфере и нижней стратосфере. Испытания новой технологии на большой серии исторических прогнозов, выполненных по данным реанализа за 1982—2003 гг., а также авторские испытания, проведенные в режиме оперативного еженедельного прогноза на месяц, свидетельствуют о повышении успешности прогнозов на сроках до одного месяца.

На основе новой технологии создана и функционирует в оперативном режиме автоматизированная система глобального ансамблевого прогноза на месяц и сезон с понедельной детализацией прогнозов для территории России в первый месяц прогноза.

Результаты прогнозов представляются на сайте ГГО и регулярно обновляются. Кроме того, обеспечены регулярный выпуск и передача в Климатический центр АТЭС (АРСС, Республика Корея) глобальных ансамблевых метеорологических прогнозов на сезон с месячной заблаговременностью.

В 2008—2010 гг. в ГГО были выполнены разработки по усвоению в региональной технологии краткосрочного прогноза опасных явлений погоды данных дистанционных измерений (информации сети МРЛ). В результате были подготовлены предложения по использованию СВЧ-радиометрической и радиолокационной информации в задачах регионального сверхкраткосрочного прогноза опасных явлений (конвективных облаков, гроз).

## ***2. Подпрограмма «Система наблюдений за состоянием окружающей среды и развитие технологий сбора, архивации, распространения и управления данными наблюдений»***

В данной подпрограмме ГГО традиционно выполняет большой объем работ по развитию и совершенствованию наземной наблюдательной сети.

В 2008—2010 гг. исследования ГГО направлены на реализацию проекта *Модернизация и техническое перевооружение учреждений и организаций Росгидромета*. В 2009 г. был разработан и утвержден комплект Методических рекомендаций территориальным органам и ОНС Росгидромета по подготовке мест установки автоматизированных метеорологических комплексов (АМК), автоматизированных актинометрических комплексов (ААК), автоматических метеорологических станций (АМС) и осуществлению технической модернизации метеорологической сети. Разработаны рекомендации УГМС по установке датчиков АМК на метеорологической площадке при нестандартных условиях ее размещения (наличие препятствий с северной стороны площадки в непосредственной близости от ограды), а также по проведению параллельных синхронных наблюдений.

В 2010 г. практически во всех УГМС проводилась активная работа по установке АМК и вводу их в опытную эксплуатацию. Специалистами ГГО была проведена масштабная проверка правильности установки АМК на метеоплощадках Северо-Кавказского и Центрального УГМС, технического и метрологического обеспечения их работы, а также готовности специалистов УГМС к проведению параллельных синхронных наблюдений. Учитывая опыт установки и опытной эксплуатации АМК в Приморском УГМС, специалистами ГГО были подготовлены и направлены на сеть Методические письма № 13 «Об опыте размещения датчиков АМК на метеорологической площадке» и № 16 «О размещении датчиков АМК на метеорологической площадке и организации параллельных синхронных наблюдений».

В 2010 г. специалистами ГГО при участии ЗАО ЛАНИТ было проведено шесть кустовых обучающих семинаров метеорологов УГМС, ЦГМС (Санкт-Петербург — май, Новосибирск — июнь, Хабаровск — июнь, Ростов-на-Дону — июль, Москва — август, Екатеринбург — август, Самара — сентябрь), а также обучающий семинар актинометристов Западно-Сибирского УГМС, в котором на станции Огурцово устанавливается единственный в России актинометрический комплекс BSRN.

Особое внимание на семинарах было уделено вопросам соблюдения методики производства наблюдений на станциях, оснащенных АМК, организации и проведения параллельных синхронных наблюдений, их методическому и метрологическому обеспечению, а также обеспечению надежности результатов наблюдений модернизированной сети и повышению эффективности ее работы. Осуществлялось оперативное методическое руководство УГМС по вопросам внедрения и ввода в эксплуатацию АМК, новых актинометрических приборов типа «Пеленг».

В 2008—2010 гг. разработана и внедрена новая технология метрологического обеспечения на базе мобильных и стационарных поверочных лабораторий типа МАПЛ-1 и СПЛ-1. В ГГО проведена поверка 28 мобильных автоматизированных поверочных лабораторий (МАПЛ), 14 стационарных поверочных лабораторий (СПЛ) для комплектной поверки эталонных средств измерения, а также аттестация их поверочного оборудования. Проведены курсы по обучению специалистов-метрологов УГМС эксплуатации МАПЛ-1, СПЛ-1 и поверке метеорологических СИ, АМС, АМК, ААК.

По результатам проведенных исследований получены данные о метрологической надежности датчиков и измерительных каналов АМК, АМС, ААК, внедряемых на сети в рамках Проекта модернизации. Сформирована база данных по долговременной стабильности и метрологической надежности измерительных каналов аэродромных метеосистем.

В 2010 г. получено Свидетельство об утверждении типа станций автоматических метеорологических АМС-2000, которые внесены в Реестр СИ РФ.

Специалистами ГУ «ГГО» разработана аэродромная метеорологическая информационно-измерительная система АМИИС-2000, которая может комплектоваться датчиками как российского, так и зарубежного производства. Российские приборы нового поколения по техническим характеристикам не уступают зарубежным аналогам, но значительно дешевле, легки в обслуживании и отличаются повышенной надежностью. Средний срок службы системы — 8 лет, среднее время наработки на отказ — 10 000 ч, среднее

время восстановления после отказа — не более 2 ч. На станцию АМИИС-2000 установлен гарантийный срок 18 месяцев.

АМИИС-2000 может использоваться на вертодромах, а в усеченной комплектации (без датчиков метеорологической дальности видимости и высоты нижней границы облаков) — на аэродромах низших классов и неклассифицированных аэродромах и посадочных площадках.

В 2010 г. АМИИС-2000 внесена в Реестр средств измерений РФ, получено свидетельство об утверждении типа средств измерений.

Разработан опытный образец группового исходного образцового средства измерений (СИ) влажности воздуха на базе генератора влажного газа «Родник-4» — «РОДНИК-4 ГГО».

ГГО и ВГИ совместно с Санкт-Петербургским ЦГМС-Р разработали и внедрили в опытную эксплуатацию на территории Северо-Западного региона оперативную систему приема, обработки, архивации и представления на единой картографической основе разнородной метеорологической информации с разными пространственно-временными параметрами осреднения (спутниковой, радиолокационной, фактической метеорологической информации и прогностических карт). В опытную эксплуатацию Санкт-Петербургского ЦГМС-Р внедрены методические рекомендации по комплексному применению радиолокационной, грозопеленгационной и метеорологической информации для построения композитных карт по Северо-Западному и Европейскому регионам.

Разработан проект программы построения единой метеорологической радиолокационной системы РФ, включающей ДМРЛ и МРЛ-5.

В ГГО разработана программа автоматизированного районирования территории с целью выделения информативно-однородных зон (ИОЗ) по основным метеорологическим величинам (температура и влажность воздуха, скорость ветра). ИОЗ представляют собой односвязные области, в пределах которых совокупность основных метеорологических величин не меняет знака пространственной корреляции, что обеспечивает выявление

ние однородных зон относительно изменчивости этих величин. Районирование выполнено для территории Камчатского и Колымского УГМС.

Разработана и внедрена в УГМС уточненная схема расчета минимально необходимого числа пунктов метеорологических наблюдений.

Введены в действие РД «Положение о реперных климатических станциях» и «Типовое положение о труднодоступной гидрометеорологической станции Росгидромета».

В рамках работ по научно-методическому сопровождению Технического проекта «Гидрометеорологическое обеспечение подготовки и проведения Олимпийских игр, в том числе противолавинное. Общесистемные решения» ГГО в 2010 г. участвовала в подготовке раздела методического пособия «Организация метеобеспечения зимних Олимпийских игр «Сочи-2014» в части климатического описания района их проведения. В процессе выполнения работы были предложены новые методы расчета пространственного распределения климатических характеристик в условиях сложного рельефа и дефицита метеорологической информации, получены количественные характеристики микроклиматической изменчивости основных и специализированных климатических показателей, выполнено микроклиматическое районирование региона. Для районов размещения спортивных комплексов Роза Хутор, Альпика-Сервис, Горная Карусель (северный склон хребта Аибга), горно-туристического центра ОАО «Газпром» (хребет Псехако), биатлонного комплекса «Юрьев Хутор» (Грушевая Поляна) построены крупномасштабные карты характеристик температуры воздуха для февраля и марта. Результаты работы обобщены в детальном климатическом описании района проведения зимних Олимпийских игр «Сочи-2014». Полученные результаты позволяют конкретизировать режимную метеорологическую информацию и существенно уточнить прогнозы состояния погоды в период проведения зимних Олимпийских игр для конкретных спортивных объектов, расположенных в горном районе Красной Поляны.

### **3. Подпрограмма «Исследования климата, его изменений и их последствий. Оценка гидрометеорологического режима и климатических ресурсов»**

В ГГО получили дальнейшее развитие методы и технологии предсказания климата с помощью физически полных моделей океан — атмосфера — криосфера. Разработанная в ГГО физически полная объединенная модель климатической системы, включающая основные взаимодействующие между собой глобальные модели атмосферы, океана, деятельного слоя суши и криосферы, реализована на мультипроцессорном вычислителе. По результатам серии экспериментов с совместной моделью океан—атмосфера—криосфера, в которых система уравнений климатической системы интегрировалась на сроки до 10 лет, установлено, что модель достаточно реалистично воспроизводит поля основных метеорологических величин. Однако требуется дальнейшая валидация совместной модели на периодах интегрирования модели до 100 лет с целью выявления и минимизации систематических ошибок.

В период 2008—2010 гг. в ГГО создана новая версия региональной модели атмосферы высокого пространственного разрешения (шаг сетки 25 км и 25 атмосферных уровней по вертикали) для двух доменов, покрывающих территорию Российской Федерации. Выполнены оценки возможных изменений экстремально высокой и низкой температуры воздуха у поверхности Земли и экстремально интенсивных осадков в период 2041—2060 гг. на территории России. Установлены регионы, в которых может происходить усиление (ослабление) экстремальных режимов климата. Получены количественные оценки климатических воздействий на ряд отраслей экономики России.

В ГГО также создана трехмерная транспортно-фотохимическая модель, которая учитывает основные процессы, формирующие газовый и аэрозольный состав атмосферы: атмосферные газофазные и гетерогенные фотохимические реакции, радиационные процессы, перенос воздушных масс, гравитационное оседание, вымывание примесей облаками и осадками. Фотохимиче-

ский блок модели учитывает около 120 газофазных атмосферных реакций. Скорости разрушения атмосферных примесей под действием ультрафиолетового излучения (скорости фотодиссоциации) вычисляются с учетом поглощения молекулами  $O_2$  и  $O_3$  прямой солнечной и однократно отраженной от подстилающей поверхности радиации.

Кроме газовых компонентов, в модели рассчитывается образование частиц полярных стратосферных облаков (ПСО) I и II типов, в уравнении их переноса учитывается гравитационное оседание. В модели учитываются четыре основные гетерогенные реакции, протекающие на частицах сульфатного аэрозоля и полярных стратосферных облаков. Рассматриваются гетерогенные реакции  $N_2O_5$ ,  $ClNO_2$ ,  $HOCl$  на поверхности частиц или в каплях  $H_2O$ ,  $HCl$ ,  $H_2SO_4$ . В фотохимическом блоке модели рассчитывается изменение концентрации 46 газовых компонентов атмосферного воздуха.

В настоящее время эта модель не является составной частью совместной модели климата, поскольку для ее реализации требуются очень большие вычислительные ресурсы.

В 2010 г. была завершена работа по комплексной междисциплинарной оценке макроэкономических последствий изменений климата на территории Российской Федерации и подготовлен доклад «Оценка макроэкономических последствий изменений климата на территории Российской Федерации на период до 2030 г. и дальнейшую перспективу». Доклад предназначен для органов государственной власти, аналитиков и практиков, специализирующихся в области климата и смежных проблем, а также для широкой научной общественности и всех, кто интересуется проблемами климатических изменений.

В Докладе подробно рассматриваются воздействия погодноклиматических изменений на динамику и качественные показатели развития основных производственных комплексов российской экономики, а также развитие регионов страны. Анализируются ключевые направления и группы мероприятий по их адаптации к указанным воздействиям и снижению рисков изменений

климата для экономики. Обоснована неотложность принятия комплекса мер адаптации к текущим и ожидаемым в краткосрочной перспективе последствиям изменений климата с его наблюдаемыми вариациями в целях снижения уязвимости населения и хозяйственных объектов к указанным изменениям, в том числе необходимость укрепления и развития институтов и нормативно-правовой базы политики в области климата. Подчеркивается необходимость и экономическая эффективность учета климатического фактора в программах и проектах модернизации производства и сферы услуг в России, прежде всего использования инновационных технологий в энергетике, а также в сфере ЖКХ, на транспорте, в строительстве, сельском хозяйстве и промышленности. Особо выделена роль науки и научных организаций как ключевых факторов и институтов адаптации российской экономики и общества в целом к изменениям климата.

Доклад дополняет и развивает результаты, полученные в ходе подготовки таких публикаций Росгидромета, как «Стратегический прогноз изменений климата Российской Федерации на период до 2010—2015 гг. и их влияния на отрасли экономики России» (2005) ([www.meteo.ru/publish/obzor/klim\\_r.pdf](http://www.meteo.ru/publish/obzor/klim_r.pdf)) и «Оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации» / Под ред. А. И. Бедрицкого и др. (2008) (<http://www.voeikovmgo.ru/ru/otsenochnyiy-doklad-izmenenie-klimata-na-territorii-rossiyskoy-federatsii.html>).

Доклад является совместным вкладом ученых и специалистов научно-исследовательских учреждений Росгидромета (ГТО в качестве головного исполнителя, ААНИИ, ВНИИГМИ—МЦД, ВНИИСХМ, Гидрометцентра России, ГГИ) и РАН (Института народнохозяйственного прогнозирования РАН и Института леса им. В. Н. Сукачева СО РАН) в научное обоснование национальной стратегии Российской Федерации в отношении изменения климата.

*Прикладная климатология.* Подготовлен РД «Методы оценки секторально-ориентируемых климатических ресурсов», в котором изложена методика приближенной экономической оценки основных видов климатических ресурсов.

Оценены некоторые последствия изменения климата для технических систем на основе разработанной методики оценки последствий. Результаты представлены в монографии «Методы оценки последствий изменения климата», которая будет опубликована в 2011 г.

Разработаны методические основы расчета тепло- и энергосбережения с учетом метеорологических условий для Нижегородской области. Сформирована база метеорологических данных и данных о потреблении тепла городом Арзамасом, проведены расчеты изменения продолжительности отопительного периода, выполнена оценка тепло- и энергосбережения за счет более полного учета метеорологических параметров и соответствующих затрат на топливо. Результаты работы предполагается использовать для обоснования мероприятий по тепло- и энергосбережению в крупных населенных пунктах Нижегородской области.

Уточнены карты ветровых, снеговых и гололедных нагрузок, что позволило ГГО принять участие в разработке новой редакции СНиП «Нагрузки и воздействия».

Выполнен цикл исследований по возобновляемым источникам энергии (ВИЭ), позволяющий оценить их потенциал и его изменения на территории России в связи с наблюдаемыми и ожидаемыми изменениями климата. Получены оценки экономической целесообразности использования ВИЭ в различных регионах РФ. Уточнены имеющиеся и разработаны новые методы косвенной оценки радиационных и ветровых характеристик при отсутствии или недостаточном количестве исходной информации. Результаты работ обобщены в монографии «Климат и возобновляемая энергетика».

Рассчитана средняя многолетняя освещенность с использованием различных методик и фактическая освещенность в отдельные дни переходных сезонов в Санкт-Петербурге для сопоставления ее с данными ежедневного потребления электроэнергии.

*Развитие системы мониторинга парниковых газов на территории Российской Федерации.* Выполнен анализ тенденций

изменения и региональных особенностей концентрации двух основных парниковых газов ( $\text{CO}_2$  и  $\text{CH}_4$ ) по результатам мониторинга на трех станциях России (Териберка на Кольском полуострове, Новый Порт на полуострове Ямал, Воейково в пригороде Санкт-Петербурга). Результаты анализа представлены в обзор загрязнения окружающей природной среды; данные станции Териберка представлены в МЦД (WDCGG, Япония) по парниковым газам. С июля 2010 г. организованы непрерывные измерения концентраций  $\text{CO}_2$  и  $\text{CH}_4$  в приземном слое на станции Тикси.

*Мировой центр радиационных данных (МЦРД) ГГО* завершил сбор, анализ и архивацию информации, подготовку и издание ежеквартальных бюллетеней «Солнечная радиация и радиационный баланс. Мировая сеть» за 2008 и 2009 гг. Электронные версии бюллетеней разосланы в Национальные метеорологические службы стран—участниц международного обмена по линии ВМО. Дополненная база данных представлена на сайте МЦРД: <http://wrdc.mgo.rssi.ru>.

#### **4. Подпрограмма «Развитие системы мониторинга загрязнения окружающей среды»**

В 2010 г. аналитические лаборатории мониторинга загрязнения атмосферы и химического состава атмосферных осадков ГУ «ГГО» подтвердили свою техническую компетентность и независимость и получили Аттестат аккредитации испытательной лаборатории в системе аккредитации аналитических лабораторий Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии.

Проведены обширные работы, связанные с научно-методическим и нормативно-правовым обеспечением деятельности государственной системы наблюдений за загрязнением атмосферного воздуха и химическим составом атмосферных осадков (ХСО).

Подготовлены, изданы и разосланы во все УГМС методические документы «Обзор состояния работ по мониторингу загрязнения атмосферного воздуха в 2009 году», где обобщены и проанализированы результаты внутреннего и внешнего контроля работы лабораторий и даны рекомендации по улучшению качест-

ва работ сетевых подразделений. Изготовлены образцы внешнего контроля качества измерений для лабораторий сети МЗА (200 штук: аммиак, формальдегид, диоксид азота).

Собраны, обобщены и проанализированы данные наблюдений сети мониторинга загрязнения атмосферы в 250 городах и на 668 станциях на территории России за 2009 г. Подготовлен приоритетный список городов России с наиболее высоким уровнем загрязнения воздуха, в который в 2009 г. были включены 34 города.

Дана оценка состояния загрязнения воздуха, проанализирована динамика и выявлены тенденции изменений уровня загрязнения воздуха в городах России за пятилетний и десятилетний периоды. По результатам анализа подготовлены «Ежегодник состояния загрязнения атмосферы в городах на территории России за 2009 г.», электронная версия раздела в «Обзор загрязнения природной среды в РФ за 2009 г.». Впервые подготовлена и размещена на сайте ГГО интерактивная версия информационных материалов о загрязнении воздуха в городах и субъектах России с использованием ГИС технологий.

Выполнен анализ результатов измерений общего содержания озона (СО<sub>3</sub>) за 2009 г. Установлено, что толщина защитного озонового слоя над территорией РФ в 2009 г. в среднем во всех регионах была близкой к норме. Значительные отклонения наблюдались в конце зимы 2008/09 г., особенно на севере европейской части России.

Проведены работы по разработке и апробации химическо-транспортной модели ГГО, предназначенной для расчета рассеяния загрязняющих веществ в мезо- и региональном масштабе.

Во многих подразделениях Росгидромета получают дальнейшее развитие проводимые ГГО работы по прогнозированию загрязнения воздуха. В последние годы активизируются региональные исследования, направленные на испытания прогностических положений, которые включены в новое Руководство по прогнозу загрязнения воздуха, подготовленное в ГГО.

На основе анализа работ по прогнозированию загрязнения воздуха в 290 городах России составлен Информационный бюл-

летень «Состояние работ по прогнозу загрязнения воздуха в городах Российской Федерации». В целом предупреждения о росте уровня загрязнения воздуха передавались на 1285 предприятий. Прогнозы составлялись в 84 прогностических центрах, и в частности во многих из них для группы городов заданного региона.

**5. Подпрограмма «Исследование гидрометеорологических процессов в Мировом океане, в том числе опасных и экстремальных морских явлений. Модели и технологии морских прогнозов и расчетов»**

В ходе реализации этой подпрограммы ГГО участвовала в комплексных исследованиях атмосферных процессов арктического бассейна в рамках международного проекта совместных наблюдений в гидрометеорологической обсерватории Тикси.

В 2010 г. в России получила дальнейшее развитие система наблюдений за парниковыми газами. С июля 2010 г. начала функционировать система непрерывных наблюдений за концентрацией  $\text{CO}_2$  и  $\text{CH}_4$  на международной станции (имеющий статус гидрометеорологической обсерватории) мониторинга парниковых газов в Якутии, вблизи поселка Тикси, в создании которой участвовали специалисты России, США и Финляндии.

Введена в строй и система измерений потоков эмиссии—стока  $\text{CO}_2$  и  $\text{CH}_4$ , основанная на методе вихревой ковариации потоков. Параллельно с измерениями потоков выполнялись и измерения уровня фотосинтетически активной радиации, температуры воздуха и почвы, влажности воздуха и ряда других параметров.

В 2010 г. организованы и проведены опытные измерения напряженности электрического поля атмосферы в обсерватории Тикси. По результатам измерений получены средние значения и вариации напряженности электрического поля атмосферы в различных метеоусловиях, уточнены технические требования к аппаратуре и ее размещению для организации в обсерватории Тикси непрерывных наблюдений.

## **6. Подпрограмма «Технологии активных воздействий на гидрометеорологические и геофизические процессы и явления»**

Разработана блочная нестационарная трехмерная численная модель осадкообразующего конвективного облака с учетом процессов электризации. Модель позволяет исследовать динамику воздушных потоков и процессов формирования жидких и твердых осадков в облаке при естественном цикле его эволюции (базовая модель) и при активном воздействии с использованием гигроскопических и кристаллизующих реагентов. Проведены стыковка программных блоков, разработанных организациями-соисполнителями, и численные эксперименты по моделированию эволюции конвективного облака для случая строения атмосферы, характерного для внутримассовых гроз на Северо-Западе РФ. В результате расчетов получен пространственно-временной ход основных характеристик облака (скорость движения среды, влажность, ледность, объемная плотность электрического заряда, напряженность электрического поля и др.). Получено удовлетворительное совпадение с данными натурных наблюдений. Разработана методика тестирования модели по радиолокационным и самолетным данным.

Создан усовершенствованный вариант полуторамерной нестационарной численной модели конвективного облака с параметризованным описанием микрофизических процессов, позволяющий получать оперативную оценку эффекта воздействия.

Разработаны элементы технологии искусственного вызывания осадков над лесными территориями с использованием водного аэрозоля, раствора гигроскопических веществ, гигроскопических реагентов, генерируемых пиротехническим путем, а также льдообразующих реагентов.

Выполнен анализ вариантов построения аппаратных средств обработки радиометрической информации, ориентированных на использование в составе ПАРЛС современных СВЧ приемных устройств. Выполнены предварительные испытания макета версии программно-аппаратных средств, показавшие возможность

построения автоматизированной ПАРЛС, обладающей улучшенными тактико-техническими параметрами.

Разработан и изготовлен макет пассивного канала на основе серийных СВЧ компонентов спутникового телевидения в диапазоне 10,7—11,7 ГГц.

Проведено экспериментальное исследование пассивного канала при дистанционном мониторинге такого опасного явления, как ливневой дождь.

Проведено экспериментальное согласование программы одновременных наблюдений с помощью пеленгационной системы местоопределения гроз (ПСМГ) и МРЛ.

Разработан проект методики совместных наблюдений за электрическим состоянием конвективных облаков с помощью МРЛ и грозопеленгационной сети (ГПС). Проведены непрерывные наблюдения за грозовой активностью ГПС «Алвес» на территории Северо-Западного региона и Северного Кавказа.

Разработана методика сравнения данных о влагосодержании атмосферы, полученных по данным измерений полярно-орбитальных спутников ATOVS и наземных СВЧ-радиометрических измерений. На основе полученных результатов верификации данных микроволнового зондирования атмосферы уточнены предложения по расположению сети СВЧ радиометров наземного базирования в Северо-Западном регионе. Проведены подготовительные работы для осуществления валидации алгоритмов восстановления параметров атмосферы по данным аппаратуры отечественного спутника «Метеор-М» № 1.

Проведен комплексный эксперимент по исследованию облаков и связанных с ними опасных явлений на базе МРЛ-5, грозопеленгаторов ГПД, ПНП, СВЧ-радиометрического комплекса, аппаратуры приема данных ИСЗ «Алиса» и аэрологической станции в поселке Воейково в 2010 г.

Проведена модернизация МРЛ-5 в СРВ (обсерватория Фулиен) для штормооповещения о ливнях и тропических циклонах.

На полевой экспериментальной базе ГГО проведены натурные испытания стойки актинометрической универсальной, штативов

для актинометрических датчиков, следящей системы, предназначенной для автоматического нацеливания актинометра на солнце при измерениях прямой солнечной радиации и затенения пиранометров рассеянной радиации, актинометрического комплекса МФ-19, МТП-5. Результаты натурных испытаний актинометрического комплекса МФ-19, проведенных в 2008—2010 гг., обобщены. Комплекс доработан в соответствии с рекомендациями, составленными при проведении испытаний; подготовлен комплект документации на доработанный комплекс в варианте с неполным набором датчиков.

### **7. Подпрограмма «Региональные аспекты научных исследований в области гидрометеорологии и смежных с ней областях»**

В процессе реализации этой подпрограммы ГГО осуществляла научно-методическое руководство работами по 12 темам. Были получены следующие результаты:

- подготовлены научно-справочные пособия:

Климатические ресурсы Архангельской области,

Климатические ресурсы и погодные риски Ростовской области и Республики Калмыкия и их изменение в условиях меняющегося климата для обеспечения гидрометеорологической безопасности и устойчивого развития территорий,

Климатический справочник по территории Республики Татарстан;

- разработаны рекомендации органам власти по учету изменений климата и водного режима Забайкалья в деятельности органов управления регионами, которые вошли в изданную брошюру «Изменения климата и их влияние на природу, экономику и социальную сферу Забайкальского края»; брошюра направлена в органы государственной и муниципальной власти края;

- разработаны методические основы расчета тепло- и энергосбережения в результате использования метеорологических прогнозов по Нижегородской области;

- выполнена серия работ по оценке и расчету загрязнения атмосферы различными примесями в интересах Северо-Западного УГМС, Оренбургского ЦГМС, городов Тольятти и Казани;

- в Нижнем Новгороде организованы наблюдения за ОСО и УФ радиации. Проведено сопоставление данных, полученных с помощью УФОС за период август—декабрь 2010 г., с концентрациями в атмосфере основных загрязняющих веществ.

## **8. Внеплановые работы 2010 г.**

В 2010 г. был выполнен значительный объем работ по внеплановым заданиям и поручениям Росгидромета. К наиболее существенным из них относится подготовка:

- проекта Комплексного плана научных исследований погоды и климата — во исполнение соответствующего поручения Совета Безопасности РФ;

- материалов по климату для Министерства обороны и ФСБ;

- материалов по климату по запросам МПР для нескольких федеральных округов;

- заклучения на документацию Агентства по прогнозированию балансов в электроэнергетике по корректировке Генеральной схемы размещения объектов электроэнергетики РФ на период до 2030 г.;

- материалов по запросу Совета Безопасности «Природные и техногенные катастрофы в мире: новые вызовы и угрозы устойчивому развитию»;

- информационно-аналитических материалов по загрязнению атмосферного воздуха для межведомственной комиссии Совета Безопасности РФ;

- предложений и материалов для участия Росгидромета в заседании Консультативного совета при Минприроды;

- предложений по внесению изменений в законодательство РФ по охране окружающей среды и по охране атмосферного воздуха;

- информационных материалов по запросу Европейского комитета по статистике ЕС;

предложений по созданию глобальной станции ГСА обсерваторского типа Лунная Поляна;

предложений к концепции ФЦП «Экологическая безопасность России на 2012—2012 гг.»;

аналитической справки о высоком загрязнении атмосферного воздуха, обусловленного аномально жаркой погодой и пожарами 2010 г.;

заклучений на публикации в средствах массовой информации по вопросам изменения климата;

материалов по отдельным поручениям руководства Росгидромета и управлений ЦА, в том числе в связи с запросами администрации Президента РФ, Совета Безопасности РФ, органов государственной власти.

Кроме того, специалистами ГГО проведены внеплановые инспекции нескольких сетевых лабораторий мониторинга загрязнения атмосферы.

Активно велась хозяйственная деятельность. Внедрялись на сеть разработки ГГО, обеспечивающие высокое качество и эффективность поверки отечественных и зарубежных датчиков давления, используемых как автономно, так и в автоматических метеорологических станциях на местах их эксплуатации, проведения стажировка специалистов УГМС.

Осуществлялось сервисное обслуживание одиннадцати аэродромных и сетевых метеорологических систем и станций типа АМИИС-2000, АМС-2000, КРАМС-4 (аэропорт «Юбилейный» (космодром «Байконур») — АМИИС-2000, аэропорт «Остафьево» — КРАМС-4, аэропорт «Норильск» — АМИИС-2000, ФГУП «Госкорпорация по ОрВД» — КРАМС-4, Северо-Западное УГМС и Сосновый Бор — АМС-2000, Петербургский институт ядерной физики им. Константинова — АМС-2000, ООО «Петро» — АМС-2000).

Завершено выполнение договоров с ФГУП «ЦЭНКИ» и УзГидрометом. В текущем году закончено изготовление и произведена установка:

автоматической метеорологической станции типа АМС-2000 и авиационной метеорологической информационно-измеритель-

ной системы АМИИС-2000 в аэропорту «Крайний» (космодром «Байконур»);

авиационной метеорологической информационно-измерительной системы АМИИС-2000 для аэродромной площадки, двух АМИИС-2000 для вертолетных площадок, измерителя дальности видимости FD12 на метеоплощадке Кайнарсай (в рамках доработки АМИИС-2000, поставленной в 2006 г.).

Специалисты ГГО приняли участие в 84 конференциях, симпозиумах, совещаниях — 36 отечественных и 48 зарубежных.

Итоги научно-производственной деятельности ГГО в целом подведены на итоговой сессии Ученого совета ГГО 26—27 января 2011 г.

Результаты деятельности ГГО были представлены на выставке в период проведения расширенного заседания коллегии Росгидромета и Исполкома ЦК ОПАР «О деятельности Росгидромета в 2010 г. и задачах на 2011 г.» (февраль 2011 г.).

## Решетников Александр Иванович

### *К 75-летию со дня рождения*

29 декабря 2010 г. исполнилось 75 лет одному из ведущих специалистов нашей страны в области спектрометрических методов наблюдений газового состава атмосферы, заведующему лабораторией мониторинга малых газовых составляющих атмосферы ГГО, кандидату физико-математических наук Александру Ивановичу Решетникову.

А. И. Решетников родился в 1935 г. в одном из наиболее известных культурно-исторических центров России — в г. Пушкине. В 1953 г. он поступил в Академию связи им. Буденного (г. Ленинград), которую окончил в 1958 г. По окончании Академии служил в Дальневосточном военном округе, а после увольнения из рядов Советской Армии в 1961 г. поступил в Главную геофизическую обсерватория им. А. И. Воейкова, где и работает до настоящего времени.

Первоначально А. И. Решетников работал в отделе радиационных исследований, участвовал в разработке прибора для измерений температуры водной поверхности с самолета. В 1975 г. защитил кандидатскую диссертацию. С 1994 г. работал в филиале ГГО, а с 2009 г. — в отделе мониторинга и исследований химического состава атмосферы ГГО.

А. И. Решетников является одним из ведущих специалистов по методам мониторинга парниковых газов, аналитическим методам лабораторных исследований взаимодействия химически активных составляющих, а также спектрометрическим методам наблюдений за газовым составом атмосферы и ее загрязнением. В последнее время он занимается исследованиями, направленными на развитие национальной сети станций мониторинга парниковых газов, а также на разработку методов оценки эмиссии и стока парниковых газов для различных типов природных ландшафтов для определения роли естественных и антропогенных источников в динамике и тенденциях изменений содержания парниковых газов в атмосфере. Им опубликовано более 100 науч-

ных работ в российских и зарубежных изданиях, получено пять авторских свидетельств на изобретения. Он неоднократно выступал на всероссийских и международных конференциях.

А. И. Решетников имеет звание «Ветеран труда», награжден знаком Почетный работник Гидрометслужбы, медалью к ордену «За заслуги перед отчеством» 2-й степени.

Поздравляя А. И. Решетникова с юбилеем, коллеги и друзья юбиляра пожелали ему здоровья, творческих успехов и долгих лет жизни.

## Аркадий Мордухович Шаламянский

### *К 75-летию со дня рождения*

11 февраля 2011 г. исполнилось 75 лет Аркадию Мордуховичу Шаламянскому, заведующему лабораторией контроля озонного слоя Главной геофизической обсерватории им. А. И. Воейкова, кандидату физико-математических наук.

Родился Аркадий Мордухович в 1936 г. в Ленинграде.

По окончании школы, в 1953 г. А. М. Шаламянский начал работать на базе ГГО в Воейково. Отслужив в армии, в 1957 г. он вернулся в ГГО, став техником созданной под руководством Г. П. Гущина озонметрической группы.

С неизменной теплотой вспоминает А. М. Шаламянский удивительный коллектив, который собрался в конце 50-х — начале 60-х годов в актинометрическом павильоне в Воейково, где работали группы, возглавляемые такими уникальными специалистами, как Ю. Д. Янишевский, Ю. И. Рабинович, А. М. Броунштейн, К. С. Шифрин.

По окончании в 1965 г. ЛЭИС им. М. А. Бонч-Бруевича А. М. Шаламянский как инженер-приборист осуществлял подготовку к проведению наблюдений и калибровку разработанных Г. П. Гущиным фильтровых озонметров, предназначенных для использования на сети станций Росгидромета. В этот период он разработал свой первый автоматический прибор для измерения общего содержания озона, который был защищен патентом.

В 1978 г. А. М. Шаламянский защитил кандидатскую диссертацию, посвященную вопросам повышения точности и автоматизации измерений общего содержания озона на сети станций Росгидромета.

В 1984 г. А. М. Шаламянский стал старшим научным сотрудником лаборатории контроля озонного слоя. Предложенные им методы измерений общего содержания озона и ультрафиолетовой радиации позволили существенно повысить точность измерений, расширить диапазон погодных и астрономических условий наблюдений. Им разработаны основы метрологии озонметриче-

ских измерений для сети Росгидромета. На основе многолетних наблюдений на станциях, результатов самолетных и экспедиционных исследований им были определены климатические нормы общего содержания озона для различных регионов РФ, предложены новые подходы к классификации озонных полей, исследованы связи пространственно-временного распределения озона с крупномасштабными синоптическими процессами.

С 2000 г. А. М. Шаламянский возглавляет Лабораторию контроля озонного слоя ГГО, которая является методическим и метрологическим центром Росгидромета по измерениям озона и ультрафиолетовой радиации, национальным центром по калибровке и контролю качества фильтровых озонметров в системе Глобальной службы атмосферы Всемирной метеорологической организации. Лаборатория постоянно ведет работы по модернизации действующих на сети озонметров. В содружестве с ведущими оптическими учреждениями Санкт-Петербурга разрабатывается и готовится к производству автоматизированная аппаратура для комплексных измерений озона и спектрального состава ультрафиолетовой радиации, назначение которой – оснащение озонной сети станций спектральными приборами современного уровня.

А. М. Шаламянским опубликовано более 90 научных работ, получены два авторских изобретения и патента. Ему присвоено звание «Заслуженный метеоролог РФ».

Много добрых слов сказали на праздновании юбилея коллеги, которым посчастливилось работать рядом с А. М. Шаламянским.

Сотрудники Главной геофизической обсерватории им. А. И. Воейкова от всей души поздравили Аркадия Мордуховича с юбилеем и пожелали ему крепкого здоровья, бодрости и дальнейших творческих успехов.

## Владимир Дмитриевич Николаев

*К 80-летию со дня рождения*

1 марта 2011 г. исполнилось 80 лет известному специалисту в области военной метеорологии и мониторинга и прогноза загрязнения воздуха старшему научному сотруднику Главной геофизической обсерватории им. А. И. Воейкова, кандидату технических наук Владимиру Дмитриевичу Николаеву.

Закончив в 1957 г. Ленинградскую Краснознаменную военно-воздушную академию им. А. Ф. Можайского, В.Д. Николаев успешно занимался метеорологическим обеспечением авиационных подразделений, в том числе в южной группе войск в Румынии. В 1961 г. он стал научным сотрудником Военной артиллерийской академии, где добился значительных успехов. Ему было присвоено звание инженер-полковника и ученая степень кандидата технических наук.

После увольнения из вооруженных сил в 1984 г. В. Д. Николаев связал свою жизнь с отделом исследований и мониторинга загрязнения атмосферы ГГО. В сфере его научных интересов оказались проблемы прогноза загрязнения воздуха и защиты атмосферы от загрязнения при неблагоприятных метеорологических условиях. В. Д. Николаев внес существенный вклад в решение задачи прогноза экстремально высоких уровней загрязнения воздуха, представляющих наибольшую опасность для здоровья населения и окружающей среды. На основе таких прогнозов составляются предупреждения, которые учитываются при осуществлении мероприятий по сокращению выбросов вредных веществ в атмосферу при наступлении опасных периодов.

В настоящее время В.Д. Николаев принимает активное участие в научно-методическом руководстве работами по прогнозу загрязнения воздуха на сети Росгидромета.

В. Д. Николаев – автор более 100 публикаций, в том числе ряда методических документов, которые нашли широкое практическое применение. В течение ряда лет был ответственным исполнителем и редактором сборника «Ежегодник выбросов загрязняющих веществ в атмосферу».

Владимир Дмитриевич награжден 13 правительственными наградами.

Коллектив Главной геофизической обсерватории им. А. И. Воейкова желает Владимиру Дмитриевичу Николаеву крепкого здоровья, энергии, активности, новых творческих достижений.

## Рафаил Исаакович Оникул

*К 80-летию со дня рождения*

19 марта 2011 г. исполнилось 80 лет ведущему научному сотруднику лаборатории моделирования и прогноза загрязнения атмосферы отдела мониторинга и исследований химического состава атмосферы Главной геофизической обсерватории им. А. И. Воейкова (ГГО) кандидату физико-математических наук Рафаилу Исааковичу Оникулу.

В 1954 г. Рафаил Исаакович окончил Ленинградский гидрометеорологический институт по специальности «метеорология» и был направлен на работу инженером-синоптиком в Южно-Сахалинское бюро погоды. В 1957 г. он поступил в очную аспирантуру ГГО. В 1961 г. Р. И. Оникул стал сотрудником ГГО и в 1965 г. защитил кандидатскую диссертацию на тему «Условия образования и рассеяния речных туманов».

Научная деятельность Р. И. Оникула всегда имела четкую практическую направленность. С 1963 г. он активно участвовал в разработке общегосударственных нормативных документов по расчету рассеяния промышленных выбросов в атмосфере и нормированию выбросов вредных веществ в атмосферу, в том числе СН 369-74 «Указания по расчету рассеяния вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий», ГОСТа 17.2.3.02-78 «Охрана природы. Атмосфера. Правила установления допустимых выбросов вредных веществ промышленными предприятиями», «Временных указаний по определению фоновых концентраций вредных веществ в атмосферном воздухе для нормирования выбросов и установления ПДВ» и ОНД-86 «Методика расчета концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий». Некоторые из этих документов до настоящего времени широко используются в Российской Федерации и странах СНГ.

Р. И. Оникул является автором более 170 научных работ, посвященных теории образования туманов, закономерностям рассеяния атмосферных примесей, анализу экспериментальных данных о загрязнении атмосферы, методам расчета загрязнения

атмосферы и нормирования выбросов вредных веществ в атмосферу.

В течение многих лет Рафаил Исаакович принимает активное участие в международном сотрудничестве по метеорологическим аспектам загрязнения атмосферы и нормированию выбросов.

Рафаил Исаакович награжден медалями «Ветеран труда» и «В память 300-летия Санкт-Петербурга», двумя серебряными и тремя бронзовыми медалями ВДНХ, знаками «Отличник Гидрометслужбы СССР» и «Почетный работник Гидрометслужбы России». Он неоднократно поощрялся руководством Росгидромета и ГГО.

В настоящее время Рафаил Исаакович продолжает активную творческую деятельность: участвует в решении актуальных научных задач, консультирует специалистов экологических служб и проектных организаций по вопросам защиты атмосферы от загрязнения, а также выступает с докладами на конференциях и семинарах.

Коллектив сотрудников Главной геофизической обсерватории им. А. И. Воейкова сердечно поздравляет Рафаила Исааковича с юбилеем и желает ему на долгие годы крепкого здоровья и дальнейшей активной творческой деятельности!

**Академик М. А. Рыкачев**  
**(1840—1919)**

*К 170-летию со дня рождения*

5 января 2011 г. исполнилось 170 лет со дня рождения Михаила Александровича Рыкачева — выдающегося метеоролога, помощника директора (1867—1895), а затем директора Главной физической обсерватории (1896—1913), академика (1896), полного генерала по Адмиралтейству (1900), кавалера ордена св. Александра Невского (1915).

М. А. Рыкачев родился 24 декабря 1840 г. (по старому стилю) в усадьбе Николаевское Ярославской губернии в дворянской семье. Его отец, в прошлом морской офицер, лично подготовил всех своих сыновей (их было семеро) к поступлению в Морской кадетский корпус. М. А. Рыкачев был принят в старший кадетский класс Морского корпуса в возрасте 14 лет.

Окончив Морской корпус в 1859 г. и совершив заграничное плавание, М. А. Рыкачев продолжил свое образование на гидрографическом отделении Академического курса морских наук, который с 1877 г. стал называться Морской академией. В 1864 г. М. А. Рыкачев окончил курс первым по списку, и в 1865 г. был командирован за границу для знакомства с метеорологической службой европейских стран. Результатом поездки, во время которой М. А. Рыкачев посетил основные обсерватории Европы и поработал в Гринвичской обсерватории, стала его первая научная работа «Сравнение стандартных барометров и термометров различных обсерваторий Европы», опубликованная в трудах Английского метеорологического общества в 1866 г.

По возвращении в Санкт-Петербург в 1867 г. М. А. Рыкачев был откомандирован Гидрографическим департаментом в распоряжение директора Главной физической обсерватории. В 1868 г. на пост директора ГФО был приглашен Г. И. Вильд, который сразу же оценил деловые и профессиональные качества Рыкачева и добился его избрания на вновь введенную должность помощника директора ГФО. На этом посту М. А. Рыкачев довольно быстро

приобрел известность в правительственных и общественных кругах, так как Вильд, не знавший русского языка, поручал ему представлять ГФО во всевозможных учреждениях и обществах.

В течение 37 лет (1868—1895 гг.) Вильд и Рыкачев делали все от них зависящее для развития метеорологических исследований. Им удалось осуществить ряд важных преобразований в ГФО и в системе метеорологических наблюдений, в результате которых на станциях были введены единые сроки наблюдений, метрическая система мер, температура стала измеряться в градусах Цельсия. Была подготовлена новая инструкция по производству наблюдений, открыты новые метеорологические станции, организовано их систематическое инспектирование. По инициативе Вильда и Рыкачева в 1876 г. было начато строительство Павловской магнитно-метеорологической обсерватории, которая начала работать в 1878 г. В этот же период в ГФО под руководством М. А. Рыкачева были начаты синоптические исследования. Позднее, в 1896 г., Рыкачев обобщил итоги своих синоптических исследований в работе «Типы путей циклонов в Европе по наблюдениям 1872 — 1887 гг.», ставшей образцовым по тем временам синоптическим исследованием.

Рыкачев организовал в ГФО Морское отделение, в котором выполнялись работы, направленные на метеорологическое обеспечение морского флота.

В то же время, Рыкачев выполнял капитальные работы по обобщению данных метеорологических наблюдений. В 1874 г. он опубликовал карты распределения атмосферного давления на Европейской территории России, за которые Русское географическое общество присудило ему золотую медаль Ф. П. Литке. Работа Рыкачева «О суточном ходе барометра» была удостоена Ломоносовской премии Академии наук. Большое практическое значение имела и его обширная работа «Вскрытия и замерзания вод в Российской империи» (1886).

С первых лет работы в ГФО Рыкачев проявлял большой интерес к исследованию высоких слоев атмосферы. Он совершил несколько полетов на воздушных шарах, во время которых были взяты пробы воздуха и измерены температура и влажность на

высотах. Эти полеты по существу положили начало аэрологическим исследованиям в России.

Внимание Рыкачева привлекали также вопросы воздухоплавания. В начале 70-х годов он провел ряд опытов по определению подъемной силы вращающегося винта, но в силу занятости не стал продолжать работы в этом направлении. Тем не менее, когда в конце 1880 г. при Русском техническом обществе был создан воздухоплавательный отдел, Рыкачев был избран его председателем. Созданный впоследствии воздухоплавательный парк стал базой научных исследований свободной атмосферы.

В 1902 г. Рыкачев организовал в Павловской обсерватории специальное отделение для исследования высоких слоев атмосферы. Первоначально для подъема приборов использовались воздушные змеи, поэтому отделение получило название «змейкового». В деятельности отделения Рыкачев принимал самое активное участие. Для проведения наблюдений использовались приборы его конструкции, в частности алюминиевый барограф.

В 1892 г. Рыкачев был избран членом-корреспондентом Академии наук, а в 1896 г. стал академиком и занял пост директора ГФО.

В 1899 г. было торжественно отмечено 50-летие ГФО. К этому событию Рыкачев подготовил «Исторический очерк ГФО за 50 лет ее деятельности». Юбилей ГФО был ознаменован также подготовкой «Климатологического атласа Российской империи».

Рыкачев многое сделал для популяризации метеорологической науки. Он был одним из инициаторов издания журнала «Метеорологический вестник», который начал выходить в 1891 г. Рыкачев пользовался мировой известностью и играл ведущую роль в организации различных международных съездов, комиссий, комитетов. По его инициативе были созваны два первых всероссийских метеорологических съезда (1900 и 1909 гг.), на которых он председательствовал. В 1904 г. по его инициативе состоялся международный съезд воздухоплавательной комиссии.

Уйдя в отставку в 1913 г. в чине полного генерала, Рыкачев продолжал активно работать в Академии наук и в 1915 г. вошел в состав комиссии по изучению естественных производительных

сил России. До последних дней своей жизни Рыкачев участвовал в работе Бюро по организации Государственного гидрологического института (ГГИ); почти все совещания, связанные с организацией ГГИ, проходили на квартире ученого.

М. А. Рыкачев был человеком огромной эрудиции и высокой культуры. На протяжении всей жизни административная, организационная и педагогическая деятельность (он читал лекции в Морской академии) занимала у него много времени, но, несмотря на это, он опубликовал более 200 работ по метеорологии, гидрологии, океанологии, земному магнетизму, воздухоплаванию. Он был требователен к своим подчиненным, постоянно заботился об их научном росте, активно поддерживал разумные новые идеи, взгляды, начинания. Отличительными чертами характера М. А. Рыкачева являлись, с одной стороны, скромность, доброта и внимательность к окружающим, а с другой — исключительная настойчивость и энергия в деловых вопросах. Очень спокойный и ровный он ни при каких обстоятельствах не повышал голоса.

Семейная жизнь М. А. Рыкачева сложилась очень удачно. Он был женат на Евгении Андреевне Достоевской, племяннице Ф. М. Достоевского. В семье были три сына и две дочери. Родители уделяли воспитанию детей много времени и дали им прекрасное образование. Семья проживала на Васильевском острове: в 1890-х годах на 11-й линии в доме № 31, в 1894 г. на 17-й линии в доме № 20. Будучи директором ГФО, М. А. Рыкачев занимал квартиру в здании Обсерватории (23-я линия, дом 2).

Прекрасный характер М. А. Рыкачева вызывал ответные чувства у всех, кто его знал. Много теплых слов было высказано в его адрес в день пятидесятилетия его службы в 1909 г. Со всех концов страны Рыкачеву пришли приветственные адреса, письма телеграммы. Этот знаменательный день был отмечен лишь небольшим обедом на даче в Павловске, на котором присутствовали исключительно родственники юбиляра и сотрудники Павловской обсерватории.

Счастливые годы совместной жизни Михаила Александровича и Евгении Андреевны были омрачены тяжкими испытаниями. Сын Владимир, служивший старшим офицером на пароходе

«Описной», утонул во время плавания в Финском заливе. В Первую мировую войну погиб на фронте старший сын Андрей. Эти утраты, а также испытания, которые внесли в жизнь революция и гражданская война, окончательно подорвали здоровье М. А. Рыкачева, и 1 апреля 1919 г. он скончался на 79-м году жизни.

М. А. Рыкачев похоронен на Смоленском кладбище Санкт-Петербурга.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

*Заварина М. В.* (1961). Жизнь и деятельность академика М. А. Рыкачева // Труды ГГО. Вып. 123. С. 3—10.

*Нездюров Д. Ф.* (1961). Памяти М. А. Рыкачева (воспоминания) // Труды ГГО. Вып. 123. С. 28—32.

*Поташов И. Я.* (1965). Академик М. А. Рыкачев. — Ярославль: Верхне-Волжское книжное изд.-во. 95 с.

*Буханов М. С., Юркевич М. П.* (1954). М. А. Рыкачев — выдающийся деятель метеорологии и воздухоплавания. — Л.: Гидрометеоиздат. 51 с.

*Пасецкий В. М.* (1978). Метеорологический центр России. — Л.: Гидрометеоиздат. 261 с.

*Никитенко Г. Ю., Соболев В. Д.* (1999). Василеостровский район. — СПб: Белое и черное.

Исторические кладбища Петербурга (справочник-путеводитель) (1993). — СПб: Изд-во Чернышева. 637 с.

## Лев Семенович Гандин (1921—1997)

*К 90-летию со дня рождения*

19 апреля 2011 г. исполнилось 90 лет со дня рождения известного ученого, крупнейшего специалиста в области динамической метеорологии, доктора физико-математических наук, профессора Льва Семеновича Гандина.

Л. С. Гандин, окончив в 1945 г. математико-механический факультет Ленинградского государственного университета по специальности «прикладная математика», через год защитил кандидатскую диссертацию на весьма неожиданную тему, в которой дал теоретическое обоснование наблюдаемого распределения солнечных пятен по широте.

В 1963 г. Л. С. Гандин становится доктором физико-математических наук, а в 1967 г. получает звание профессора.

Л. С. Гандин был зачислен в штат Главной геофизической обсерватории им. А. И. Воейкова в 1943 г. Он интенсивно и творчески работал в ГГО до 1981 г., когда его вынудили уйти на пенсию в связи с намерением его детей выехать за рубеж.

Л. С. Гандин внес неоценимый вклад в метеорологию. Центральное место в его научной деятельности занимали работы по объективному анализу метеорологических полей и оптимальной интерполяции, принесшие ему заслуженную известность в мировом научном сообществе.

Всеобщее признание получили работы Л. С. Гандина в области динамической метеорологии, численного прогноза погоды, физики пограничного слоя. Его работы по прикладной метеорологии остаются ориентиром для специалистов в этой области, быстро развивающейся на современном этапе.

Круг научных интересов Л. С. Гандина был чрезвычайно широк. Уникальная научная интуиция позволяла ему заблаговременно определять наиболее актуальные проблемы и решать их (например, в связи с нарастающим антропогенным загрязнением окружающей среды он нашел (совместно с Р. З. Соловейчиком)

аналитическое решение задачи атмосферной диффузии тяжелой примеси от точечного высотного источника).

Л. С. Гандин опубликовал 14 книг и свыше 200 статей. Среди его публикаций следует особо отметить классическую книгу «Объективный анализ метеорологических полей» (1963), классические монографии (в соавторстве) по динамической метеорологии (1955), прикладной метеорологии (1973) и ряд учебников.

В течение более 30 лет (с 1950 г.) Л. С. Гандин преподавал в Ленинградском гидрометеорологическом институте. Будучи блестящим педагогом, он подготовил большое число специалистов по численным методам анализа и прогноза погоды и 20 кандидатов наук. Его ученики работают сейчас во всем мире: в России, бывших республиках СССР, в США, Европе и Азии.

В 1987 г. Л. С. Гандин эмигрировал в США, где последние 15 лет своей жизни проработал в Национальном метеорологическом центре. Благодаря усилиям Л. С. Гандина и его американских коллег в метеорологических центрах США была разработана и внедрена чрезвычайно эффективная система комплексного контроля качества наблюдений.

Лев Семенович был талантливым, энциклопедически образованным человеком.

Вспоминая Льва Семеновича, невозможно не сказать о его интеллигентности, простоте и доступности в общении.

Лев Семенович Гандин останется в памяти всех, кто его знал и с кем он работал, а также в результатах и сейчас актуальных его исследований в области метеорологии.

## Михаил Ефимович Швец (1911—1983)

*К 100-летию со дня рождения*

25 мая 2011 г. исполнилось 100 лет со дня рождения Михаила Ефимовича Швеца — выдающегося ученого, одного из создателей отечественной школы динамической метеорологии, доктора физико-математических наук, профессора.

М. Е. Швец родился в семье рабочего-печатника. После окончания школы он работал на заводе «Судомех», откуда был направлен на учебу в Ленинградский государственный университет. Окончив в 1938 г. с отличием математико-механический факультет ЛГУ, М. Е. Швец поступил на работу в отдел динамической метеорологии Главной геофизической обсерватории им. А. И. Воейкова, которым руководил в то время Илья Афанасьевич Кибель.

С самого начала своей научной деятельности М. Е. Швец занимался решением актуальных метеорологических задач, требующих применения сложных математических методов. В 1939 г. была опубликована работа, выполненная им совместно с А. А. Дороницыным и Б. И. Извековым, в которой были, по существу, заложены основы теории климата и общей циркуляции атмосферы. В этой классической работе, вошедшей во многие учебники по гидромеханике и метеорологии, впервые на основе приближенного решения системы уравнений гидротермодинамики были получены теоретическим путем три основные ячейки меридиональной циркуляции и исследован механизм их формирования.

В дальнейшем М. Е. Швец неоднократно обращался к изучению различных сторон и особенностей циркуляционных процессов в атмосфере. Этому вопросу посвящен цикл его работ по изучению зональной циркуляции и развитию теории циркуляционных процессов в экваториальной области. В начале 1970-х годов под руководством М. Е. Швеца в ГГО была разработана одна из первых отечественных численных моделей общей циркуляции атмосферы, созданы эффективные вычислительные методы ин-

тегрирования уравнений динамики атмосферы и методы параметризации климатообразующих физических процессов. В дальнейшем благодаря работам учеников и последователей М. Е. Швеца в ГГО была создана глобальная модель атмосферы, заслужившая высокую оценку мирового метеорологического сообщества. С ее помощью был получен ряд важных результатов по исследованию климата и его изменений под воздействием естественных и антропогенных факторов.

Значительное место в творчестве М. Е. Швеца заняли океанологические исследования. В 1940 г. он опубликовал свою первую работу по теории дрейфовых течений в океане, а в 1946 г. выполнил обстоятельное исследование, посвященное гидродинамической теории эволюции ледяных полей.

Работа М. Е. Швеца по определению суточного хода температуры, а также построенная им совместно с М. И. Юдиным модель распределения ветра с высотой в пограничном слое атмосферы с заданием вертикального профиля коэффициента обмена «с изломом» открыли новое направление в исследовании пограничного слоя атмосферы. Разработанный М. Е. Швецом приближенный метод решения уравнений пограничного слоя нашел применение не только в метеорологии, но и при решении ряда практически важных задач гидромеханики и теплотехники.

Существенный вклад М. Е. Швеца внес в теорию влагообмена в атмосфере. Им исследованы процессы испарения и конденсации водяного пара, разработан новый метод прогноза слоистообразной облачности, основанный на предвычислении полей относительной влажности и дефицита точки росы. М. Е. Швеца предложил новый подход к решению задачи переноса влаги в атмосфере с введением единой функции, описывающей концентрацию водяного пара и содержание жидкой влаги в заданном объеме воздуха. Выдвинутые М. Е. Швецом идеи получили дальнейшее развитие и нашли применение в ряде исследований, послуживших основой для кандидатских и докторских диссертаций.

С появлением метеорологических спутников как нового средства наблюдений за земной атмосферой М. Е. Швеца одним из первых предложил способ использования метеорологических спутников для целей численного прогноза погоды.

Научные работы М. Е. Швеца всегда отличались четкостью и глубиной физической постановки задач и строгим математическим обоснованием предлагаемых методов их решения. Его интересовали наиболее трудные и актуальные проблемы, стоявшие перед метеорологической наукой. Благодаря глубокой математической интуиции, основанной на широкой эрудиции и богатом творческом опыте, он предлагал наиболее эффективные способы решения поставленных задач, не снижавшие полноты и значимости достигнутых результатов.

Михаил Ефимович Швец обладал редкостными человеческими качествами. Это был человек удивительной скромности, неизменно доброжелательный к окружающим. Он охотно помогал своим коллегам, ученикам, аспирантам и всем, кто обращался к нему за советом и помощью.

## К 180-летию начала регулярных геофизических наблюдений в Барнауле

Магнитные наблюдения были начаты в Барнауле в 1831 г. Этот город был выбран для организации магнитных наблюдений основателем метеорологической службы России Адольфом Яковлевичем Купфером. Выбор Купфера определялся, прежде всего, следующими причинами. Большую заинтересованность в научных изысканиях проявлял начальник Колывано-Воскресенских заводов и Томский гражданский губернатор П. К. Фролов, который лично во время пребывания Гумбольдта в Барнауле и на Алтае предоставил ученому все необходимые материалы, а также показал все достопримечательности, включая горнозаводское производство.

Гумбольдт как специалист, в послужном списке которого были должности асессора департамента горных дел в Берлине и обербергмейстера (начальника горного дела) в Ансбахе и Байрейте, высоко оценил организацию работ и квалификацию горных инженеров. Делясь с Купфером впечатлениями о своем путешествии по Сибири, Гумбольдт не мог обойти этот факт. При наличии благоволения начальника Колывано-Воскресенских заводов и Томского гражданского губернатора П. К. Фролова и грамотных исполнителей в лице горных инженеров лучшего места для открытия пункта магнитных наблюдений найти было невозможно.

Организацией и проведением магнитных наблюдений в Барнауле с 1831 по 1837 г. занимался горный инженер поручик Ивацкий. Для проведения наблюдений было специально построено отдельное помещение. Отсутствие у наблюдателей профессиональной подготовки компенсировалось их усердием и исполнительностью.

Результаты магнитных наблюдений, проводимых ежедневно, отправлялись в Академию наук Купферу. Благодаря этому Барнаул одним из первых был включен в состав организуемой в России сети магнитных метеорологических обсерваторий. Законом Российской империи № 698 об учреждении Нормальной обсерва-

тории были заложены основы первой регулярной геофизической сети, руководимой из одного центра, снабженной однотипными приборами и осуществляющей наблюдения по единым правилам. На реализацию этого закона казной было отпущено 20 000 рублей, из которых на усиление существующих магнитных обсерваторий в Барнауле и Перчинске выделялось по 2300 рублей.

Сохранилось предписание Алтайского горного управления за № 13426 от 27 декабря 1835 г. поручику Иваницкому об организации метеорологических наблюдений при Барнаульской магнитной обсерватории. Для выполнения этого предписания Иваницкий совершил поездку в Санкт-Петербург, где прошел стажировку в Нормальной обсерватории и получил приборы для проведения магнитных и метеорологических наблюдений (теодолит Струве работы Эртеля, прибавочный аппарат к теодолиту, компас наклона, астрономические часы, психрометр работы Гиргенсона и прибор к психрометру, лампы Локателя, барометр, срочный и минимальный термометры), а также «Руководство к деланию метеорологических и магнитных наблюдений, составленное для горных офицеров академиком А. Я. Купфером».

На переоборудование («усиление») Барнаульской обсерватории было потрачено времени и средств значительно больше, чем предполагалось по проекту. Координатор всего проекта начальник штаба Корпуса горных инженеров Константин Владимирович Чевкин «в бытность его в Барнауле в 1836 году», занимаясь ревизией горных заводов, нашел, что построенное в 1831 г. в Барнауле помещение магнитной обсерватории тесно, неудобно и вообще не удовлетворяет поставленной цели. Чевкин лично определил место для строительства обсерватории, достаточно удаленное от построек, которые могли бы влиять на магнитные измерения. В 1837 г. по проекту архитектора Я. Н. Попова было возведено специальное здание (магнитный павильон) на высокой искусственной горке, которое занимало «благодаря своей башне доминирующее положение над окружающими строениями». Башня была построена «без железа». Усадьба обсерватории располагалась по 1-му Прудскому переулку между улицами Павловской (ныне улица Анатолия) и Сузунской (ныне улица Интернациональная).

1 января 1838 г. магнитная метеорологическая обсерватория в Барнауле, оснащенная лучшими на то время приборами, приступила к регулярным наблюдениям. Помимо магнитных наблюдений, в обсерватории проводились наблюдения за атмосферным давлением, температурой и влажностью воздуха, скоростью и направлением ветра, осадками и высотой снежного покрова. Наблюдения проводились наблюдателем под руководством заведующего в 7 часов утра, в 12 часов дня и в 9 часов вечера. В 10 часов утра и в 3 часа пополудни могли проводиться дополнительные наблюдения за количеством, формой и направлением движения облаков.

Данные обсерватории регулярно включались в «Свод метеорологических и магнитных наблюдений» и рассылались во все метеорологические учреждения и университеты мира. Данные наблюдений Барнаульской обсерватории за земным магнетизмом были использованы А. Я. Купфером при установлении им зависимости амплитуды магнитных колебаний от широты места, а также в изучении других закономерностей «перемен магнитного склонения».

Во время инспекции Барнаульской магнитной метеорологической обсерватории в 1841 г. А. Я. Купфер рекомендовал «...построить каменное помещение при сохранении прежнего (оно удобно для магнитных наблюдений) и жилье для офицера, осуществляющего надзор, для постоянного наблюдения за приборами». Как указано во многих сообщениях Екатеринбургской магнитной метеорологической обсерватории, которой она методически подчинялась, Барнаульская обсерватория принадлежала к важнейшим опорным пунктам наблюдательной сети России. Труды Барнаульской обсерватории (данные ежедневных наблюдений и ежемесячные выводы) печатались в летописях Главной физической обсерватории. Знаменитый русский климатолог А. И. Воейков неоднократно подчеркивал, что ряды данных наблюдений в Барнауле — самые продолжительные в Азии после Мадрагских (Индия).

Магнитные наблюдения как отдельный вид деятельности входили в программу наблюдений Барнаульской магнитной метео-

рологической обсерватории более 80 лет. Постепенно научное значение магнитных наблюдений становилось менее значимым и практически востребованным. Последнее упоминание о магнитных наблюдениях в Барнауле датировано 1913 г., когда Алтайским подотделом Западно-Сибирского Императорского Русского географического общества была «осуществлена реконструкция здания обсерватории путем пристройки с западной стороны двух комнат и коридора. Кроме того, был проведен ремонт магнитного павильона, так как магнитную съемку предполагалось проводить и в будущем». Метеорологические и актинометрические наблюдения на этом историческом месте продолжались до 1 июля 1964 г. и были прекращены из-за плотной городской застройки, нарушившей их репрезентативность.

В настоящее время в Барнауле по адресу улица Анатолия, 136 находится здание Алтайского краевого центра по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, который организует деятельность всех наблюдательных подразделений Алтайского края. Изучение геофизических процессов продолжается на более высоком витке исторического развития.

*P.S.* Моя работа с сохранившимися документами из архива Барнаульской магнитной метеорологической обсерватории увенчалась тем, что среди подлинников книжек метеорологических наблюдений конца XIX века обнаружился очень интересный обрывок книжки, датированный с 1 по 30 ноября 1871 г. Книжка составлена из сшитых вместе разлинованных от руки листов бумаги. Записи выполнены тушью. Внимательно разглядывая столбцы цифр, я пришел к выводу о том, что данный документ — ни что иное как единственный сохранившийся первичный материал магнитных наблюдений. Он содержит четыре листа бумаги, сложенных пополам и прошитых между собой нитками, — всего 16 страниц. На 15 из них тушью расчерчены таблицы. Каждая таблица датирована и заполнена материалами наблюдений.

О значении магнитных наблюдений в XIX веке и о необычности явлений, на изучение которых эти наблюдения были направлены, можно судить по записи очевидца того времени А. А. Черкасова под названием «Страшное северное сияние»:

*«С 23 на 24 января 1872 года было в Барнауле страшное северное сияние, сильно охватившее тогда даже и широту положения Барнаула (53° и 20°). В тот вечер я был с семьей в гостях. По обыкновению почти все играли в карты и не заметили, что делается на улице. Но вот кто-то обратил внимание на то, что в окнах сделалось так светло, что можно было принять за рассвет утра... Тут, конечно, все уже поняли, что такое явление ни что больше, как грандиозное северное сияние. Долго все гости топтались на месте, ходили по улице, как очарованные, смотрели к северу и, кроме общего света, разлившегося по всему небосклону, увидели громадные синеватобелые столбы, расходившиеся с горизонта в виде громадного расходящегося глухариного хвоста. Целый мир звезд точно тушевался, и только более крупные из них, гораздо слабее своего обычного блеска, еще мерцали с высоты неба!... Общая картина такого грандиозного явления природы изображала что-то величественное, непостижимое и, вместе с тем, удручающе действующее на душу...*

*Это грандиозное северное сияние, это величественное явление северного неба продолжалось, по научным наблюдениям, с 9 часов вечера до 4 часов утра».*

А. О. Люцигер  
Начальник Алтайского ЦГМС

**Оценка макроэкономических последствий изменений климата на территории Российской Федерации на период до 2030 г. и дальнейшую перспективу (резюме доклада).** Катцов В. М., Порфирьев Б. Н. Труды ГГО. 2011. Вып. 563. С. 7—59.

Представлена комплексная междисциплинарная оценка макроэкономических последствий изменений климата на территории Российской Федерации на период до 2030 г., в том числе оригинальные оценки и прогнозы авторов. Отдельные прогнозные оценки охватывают перспективу до 2050 г. Подробно рассматриваются воздействия погодно-климатических изменений на динамику и качественные показатели развития основных производственных комплексов российской экономики, а также развитие регионов страны. Анализируются ключевые направления и группы мероприятий по их адаптации к указанным воздействиям и снижению рисков изменений климата для экономики.

Обоснована неотложность комплекса мер адаптации к текущим и ожидаемым в краткосрочной перспективе последствиям изменений климата с его наблюдаемыми вариациями в целях снижения уязвимости населения и хозяйственных объектов к указанным изменениям, в том числе необходимость укрепления и развития институтов и нормативно-правовой базы политики в области климата. Подчеркнута необходимость и экономическая эффективность учета климатического фактора в программах и проектах модернизации производства и сферы услуг в России, прежде всего использования инновационных технологий в энергетике, а также в сфере ЖКХ, транспорте, строительстве, сельском хозяйстве и промышленности. Особо выделена роль науки и научных организаций как ключевых факторов и институтов адаптации российской экономики и общества в целом к изменениям климата.

*Ключевые слова:* оценка макроэкономических последствий, изменения климата, риски климатических изменений, адаптация российской экономики.

Табл. 2.

УДК 551.58:001.891.57

**Стратегии адаптации к изменению климата в технической сфере для России.** Ацентьева Е. М., Кобышева Н. В. Труды ГГО. 2011. Вып. 563. С. 60—76.

Цель работы — показать важность адаптации к изменению климата и ее возможности в настоящее время, методологию принятия адаптационных мер и тем самым помочь климатологам перейти к практическим задачам по оценке последствий изменения климата и принять участие в разработке конкретных адаптационных мер. Излагаются возможные подходы к исследованиям последствий изменений климата, методы разработки адаптационных мер в технической сфере, экономические методы принятия решений об адаптации, а также оценки экономической эффективности принятых решений.

*Ключевые слова:* адаптационные меры, воздействия изменение климата, анализ затрат и выгод, подход «сверху вниз», подход «снизу вверх».

Табл. 2. Ил. 3. Библ. 9.

УДК 551.52

**Современные изменения температуры земной поверхности и потока поглощенной радиации в регионе Гренландии.** Корнева И. А., Попов И. О., Семенов С. М. Труды ГГО. 2011. Вып. 563. С. 77—93.

Тренды в рядах температуры земной поверхности и суммарного потока радиации, поглощенной земной поверхностью, были вычислены для региона Гренландии по данным математического моделирования (1984—2007 гг.) и по данным реанализа (1990—2007 гг.). Для материка и прилегающей части океана тенденция потепления проявилась при анализе обоих массивов данных (с достоверностью не менее 0,90), причем она наблюдается для них на большей части региона одновременно. Это же обнаружено при совместном анализе рядов данных о температуре и суммарном потоке поглощенной радиации.

*Ключевые слова:* температура, поток поглощенной радиации, математическое моделирование, тренды, Гренландия.

Ил. 6. Библ. 13.

УДК 551.557.38

**Засуха 2010 г. на фоне многолетнего изменения засушливости в основных зерносеющих районах европейской части России.** Мещерская А. В., Мирвис В. М., Голод М. П. Труды ГГО. 2011. Вып. 563. С. 94—121.

Рассмотрены метеорологические условия летней засухи 2010 г. на Европейской территории России. Засуха характеризовалась индексами засушливости Д. А. Педя, рассчитанными по административным областям и федеральным округам, площадью засушливых явлений (индекс DM), а также аномалиями температуры воздуха сезонного, месячного и суточного осреднения.

Выделен «центр засухи», охватившей в мае—июне 19 административных областей. Оценена продолжительность засухи (около восьми недель). Показано, что по площади распространения засуха 2010 г. занимает первое место в ранжированном ряду засух за последние 120 лет.

Обсуждаются причины формирования засухи 2010 г. и ее социально-экономические последствия.

*Ключевые слова:* индексы засушливости, площадь распространения засух, причины формирования, блокирующий антициклон.

Табл. 5. Ил. 6. Библ. 31.

УДК 551.521.31

**Прямая солнечная радиация, поступающая на наклонные поверхности.** Стадник В. В., Трофимова О. В. Труды ГГО. 2011. Вып. 563. С. 122—136.

По данным о средних многолетних часовых суммах прямой солнечной радиации, поступающих на перпендикулярную солнечным лучам поверхность, рассчитаны средние часовые, суточные и месячные суммы прямой радиации на наклонные поверхности. Рассмотрены две поверхности — следящая за Солнцем и неподвижная с углом наклона, равным широте места. Приводятся распределение по территории России годовых сумм прямой радиации, поступающей на эти поверхности при средних условиях облачности, а также распределение суточных сумм в месяц максимального прихода. Исследовано соотношение прямой радиации, поступающей на наклонные и горизонтальную поверхности. На основе этих оценок составлены таблицы коэффициентов пересчета прямой радиации с горизонтальной поверхности на наклонные в диапазоне широт 40—72° с. ш.

*Ключевые слова:* прямая солнечная радиация, наклонные поверхности, коэффициенты пересчета, часовые суммы, суточные суммы.

Табл. 5. Ил. 7. Библ. 8.

УДК 581.586

**Особенности оценки ущерба и рисков, связанных с опасными явлениями погоды, на территории Архангельской области и Ненецкого автономного округа.** Грищенко И. В. Труды ГГО. 2011. Вып. 563. С. 137—148.

Приводятся результаты обработки климатической информации об опасных метеорологических явлениях по территории Архангельской области и Ненецкого автономного округа. Получены средние значения повторяемости ОЯ для муниципальных образований. Проведен обзорный анализ значимости ущерба и рисков для различных районов Архангельской области.

*Ключевые слова:* опасные явления погоды, повторяемость опасных явлений, ущерб, риски.

Ил. 4. Библ. 8.

УДК 551.594.2/506.3

**Особенности вариаций электрической проводимости воздуха вблизи Санкт-Петербурга.** Попов И. Б. Труды ГГО. 2011. Вып. 563. С. 149—165.

Приведены результаты статистических исследований электрической проводимости воздуха по данным длительных измерений на полевой экспериментальной базе ГГО в Воейково. Проанализированы причины изменений многолетнего хода и формы периодических вариаций в рядах данных. Известный эффект влияния аэрозольного загрязнения атмосферы на электрическую проводимость воздуха, выражающийся в уменьшении ее значений в Воейково при направлениях ветра со стороны Санкт-Петербурга, исследован более подробно по материалам наблюдений за последние 20 лет. Также на основании анализа характерного эпизода показана возможность использования электрической проводимости воздуха для проведения оперативного мониторинга его загрязнения.

*Ключевые слова:* электрическая проводимость воздуха, статистический анализ, мониторинг загрязнения атмосферы.

Табл. 2. Ил. 7. Библ. 16.

УДК 551.510.41; 504.38

**Исследование суточной изменчивости концентрации атмосферного водорода в окрестностях Санкт-Петербурга и оценка его эмиссии с городской территории.** Образцова А. А., Парамонова Н. Н., Привалов В. И. Труды ГГО. 2011. Вып. 563. С. 166—178.

По результатам двухлетнего ряда данных измерений концентрации атмосферного водорода, выполненных на станции Воейково (пригород Санкт-Петербурга) с высоким временным разрешением (регистрация каждые 20 мин) получены характеристики суточной изменчивости концентрации молекулярного водорода в атмосфере.

Рассмотрено влияние антропогенных и естественных источников/стоков атмосферного водорода на формирование особенностей дневного хода концентрации водорода. Основным фактором, определяющим суточную изменчивость концентрации водорода в Воейково, является антропогенная эмиссия с территории Санкт-Петербурга.

Проведена оценка эмиссии водорода с территории Санкт-Петербурга за период с 2000 по 2008 г. на основе эмпирически установленного соотношения эмиссии водорода и оксида углерода и данных инвентаризации антропогенных выбросов оксида углерода.

*Ключевые слова:* парниковые газы, атмосферный водород, оксид углерода, антропогенные эмиссии.

Ил. 3. Библ. 14.

УДК 002.5: 551.5: 681.5

**Развитие архивной системы данных о состоянии окружающей природной среды на базе современных технических средств.** Шаймарданов В. М. Труды ГГО. 2011. Вып. 563. С. 179—190.

Показано состояние фонда данных о состоянии окружающей природной среды, при котором не обеспечивается ни полноценное хранение данных, ни приемлемое время доступа к ним. Для обеспечения надежного и бессрочного хранения гидрометеорологических данных обоснован выбор новых технических средств и программного обеспечения. Они позволяют обеспечить полноценную сохранность данных, а главное, улучшить доступность потребителей к ним.

*Ключевые слова:* данные, хранение данных, архивная система, развитие архивной системы, современные технические средства.

Ил. 2. Библ. 5.

УДК 002.5: 551.5: 681.5

**Обеспечение сохранности данных, накопленных на бумажных носителях, и организация обслуживания.** Шаймарданов В. М. Труды ГГО. 2011. Вып. 563. С. 191—196.

ВНИИГМИ—МЦД, выполняя функции Мирового центра данных по гидрометеорологии накопил большое количество информационных ресурсов по различным видам наблюдений. Часть фонда составляют результаты обобщений этих данных за различные периоды времени в виде климатических оценок и статистических параметров, которые опубликованы в различных справочных пособиях и содержатся на бумажных носителях. На бумажных носителях находятся данные, накопленные за очень ранний исторический период, а также вся периодика отраслевой библиотеки. Доступ к такой информации, как правило, очень затруднен. По истечении определенного периода времени бумажные носители претерпевают физический износ, что приводит к потере данных. Все это делает задачу переноса информации с бумажных носителей на современные электронные носители крайне актуальной. Поэтому все данные целесообразно переводить в электронный вид. Основным способом перевода бумажных документов является сканирование, что и является предметом изложения.

*Ключевые слова:* данные на бумажных носителях, сканирование бумажных носителей, доступ к данным.

Ил. 1.

УДК 551.501.721

**Алгоритм критического контроля средних за месяц суточных значений радиационного баланса земной поверхности.** Морозова И. В. Труды ГГО. 2011. Вып. 563. С. 197—205.

Для анализа качества данных по радиационному балансу подстилающей поверхности Земли, поступающих с мировой радиометрической сети в Мировой центр радиационных данных (Россия, Санкт-Петербург, МЦРД), автором разработан алгоритм критического контроля средних за месяц суточных значений радиационного баланса.

*Ключевые слова:* мировая радиометрическая сеть, суммарная солнечная радиация, радиационный баланс подстилающей поверхности Земли, процедуры контроля качества.

Табл. 1. Библ. 4.

УДК 551.509.314: (551.507:629.73)

**Анализ методических погрешностей и результаты сравнительных измерений высоты облаков на аэродроме с помощью светолокаторов и лазерных приборов.** Круглов Р. А., Дробинская А. В. Труды ГГО. 2011. Вып. 563. С. 206—213.

Обсуждаются погрешности метода оптической локации применительно к задаче инструментальных наблюдений за высотой нижней границы облаков на аэродроме. Рассмотрены требования к алгоритмам обработки измерительной информации, позволяющие уменьшить влияние методических погрешностей измерений. Представлены экспериментальные обоснования эффективности использования предложенных алгоритмов статистической обработки результатов измерений.

*Ключевые слова:* аэродром, метод оптической локации, высота облаков, светолокаторы, лазерные приборы.

Табл. 3. Ил. 2. Библ. 3.

УДК 551.510.7

**Моделирование рассеяния излучения неоднородной аэрозольной частицей.** Ржонсницкая Ю. Б. Труды ГГО. 2011. Вып. 563. С. 214—222.

Обсуждается проблема достоверности, с которой характеристики атмосферного аэрозоля определяются по результатам фотоэлектрических измерений. Рассматривается модель сферической частицы с радиально переменным показателем преломления (с оптически неоднородным покрытием). Использование этой модели дает возможность объяснить результаты сравнения фотоэлектрических и фильтровых измерений.

*Ключевые слова:* атмосферный аэрозоль, рассеяние, фотоэлектрические измерения.

Ил. 4. Библ. 7.

УДК 551.594

**Экспериментальная оценка параметров электромагнитного излучения грозовых разрядов в сверхдлинноволновом диапазоне.** Снегуров А. В. Труды ГГО. 2011. Вып. 563. С. 223—234.

Рассмотрены данные экспериментальных исследований временных и спектральных характеристик электромагнитного излучения молний в СДВ диапазоне. Показано, что нет однозначной зависимости между ними и типом грозовых разрядов.

*Ключевые слова:* временные параметры электромагнитного излучения молний, амплитудно-частотные спектры излучения, дипольная модель.

Ил. 6. Библ. 27.

УДК 551.508

**Прогнозирование основных показателей метрологической надежности гидрометеорологических средств измерений.** Окоренков В. Ю. Труды ГГО. 2011. Вып. 563. С. 235—252.

Изложены общие требования к методам анализа и прогнозирования основных показателей метрологической надежности гидрометеорологических СИ, рассмотрены методы, позволяющие прогнозировать метрологическую надежность СИ с помощью программных средств.

*Ключевые слова:* метрологическая надежность, показатели, средства измерений, прогнозирование.

Табл.1. Библ. 10.

**Анализ качества работы лабораторий мониторинга загрязнения атмосферы сети Росгидромета.** Шарикова О. П., Ковачева Е. В. Труды ГГО. 2011. Вып. 563. С. 253—259.

Приведены результаты деятельности по контролю работоспособности сети мониторинга загрязнения атмосферы и анализу качества работы лабораторий мониторинга загрязнения атмосферы Росгидромета. Для оценки эффективности внешнего контроля как важного фактора повышения достоверности наблюдений на сети МЗА был проведен анализ результатов внешнего контроля за период с 2000 по 2011 г. и оценка качества измерений на сети МЗА Росгидромета по ряду примесей. Представленные результаты свидетельствуют о повышении качества анализа проб в сетевых ЛМЗА Росгидромета и целесообразности расширения ежегодного объема внешнего контроля качества измерений как по числу ЛМЗА, так и по числу примесей.

*Ключевые слова:* достоверность, контроль точности измерений.

Ил. 3. Библ. 3.

**Assessment of macroeconomic impacts of climate change over the territory of Russian Federation until 2030 and beyond (summary). V.M.Kattsov, B.N. Porfiriev. Proceedings of MGO. 2011. V. 563. P. 7 – 59.**

An integrated interdisciplinary assessment is undertaken of macroeconomic impacts of climate change over the territory of the Russian Federation until 2030, including original estimates and projections of the authors. Individual estimates cover the period until 2050. Impacts are discussed in detail of climatic changes on the dynamics and quality indicators of major industrial complexes of the Russian economy, as well as on the regional-scale development of the country. Key trends and measures are analyzed of adaptation to these impacts and mitigation of climate risks. Urgency is justified of adaptation to current climate impacts and to those expected in the short term prospective aimed at reducing vulnerability of the population and industrial objects to the impacts, including the need for developing institutional and legal framework of climate policy. The need and economical efficiency are emphasized of accounting for the climate factor in programs and projects of industries and services sectors modernization in Russia, primarily the use of innovative technologies in the energy sector, as well as in house maintenance, transportation, construction, agriculture and industry. The role is highlighted of science and scientific institutions as key factors of adaptation of the Russian economy and society to climate change.

*Keywords:* assessment of macroeconomic impacts, climate change, risks of climate change, adaptation of Russian economy.

Tab. 2.

УДК 551.58:001.891.57

**Climate change adaptation strategy in the Technical Sphere for Russian Federation.** Akentyeva E. M., Kobysheva N.V. Proceedings of MGO. 2011. V. 563. P. 60—76.

The object of the paper submitted is to demonstrate the significance of adaptation to climate change at the present time as well as adaptation decision-making methodology. This information could help climatologists to meet the challenge of impact assessment and to take part in elaboration of adaptation measures. The paper considers possible approaches to evaluation of climate change impacts on technical sphere, decision-making technique, and cost-benefit analysis of adaptation options.

*Keywords:* adaptation measures, impacts of climate change, cost-benefit analysis, “top-down” approach, “bottom-up” approach.

Tab. 2. Fig. 3. Ref. 9.

УДК 551.52

**Recent changes in temperature of earth’s surface and absorbed radiation flux in greenland region.** Korneva I. A., Popov I. O., Semenov S. M. Proceedings of MGO. 2011. V. 563. P. 77—93.

Trends in temperature of the Earth’s surface and the total flux of absorbed radiation in the Greenland region were calculated from mathematical modeling outputs (for 1984—2007) and reanalysis data (1900—2007). For Greenland and adjacent part of the ocean, warming was found in both data sets (at confidence 0,90 and more). It took place simultaneously over dominant part of the region. The similar effect was found when data series on temperature and absorbed radiation flux were jointly analyzed.

*Keywords:* temperature, flux of absorbed radiation mathematical modeling, trends, Greenland.

Fig. 6. Ref. 13.

УДК 551.557.38

**The drought of summer 2010 against the background of long-term changes in the aridity over bread-basket region in the European territory of Russia.**

Meshcherskaya A. V., Mirvis V. M., Golod M. P. Proceedings of MGO. 2011. V. 563. P. 94—121.

The paper deals with meteorological conditions of summer drought of 2010 over the European part of Russia. The droughts are characterized by index D.A. Ped, which are calculated for Administrative Regions and Federal Districts, space of drought (index DM) as well as air temperature anomalies by seasonal, monthly and daily overages.

The “center of drought” which is picked out covered 19 Administrative Regions in May—July. The drought duration has been estimated (about 8 weeks). It has been shown, that the drought of 2010 occupied first place in the size order of droughts during the recent 120 years. The reasons of drought 2010 formation and its social-economical consequences are discussed.

*Keywords:* indices of drought, space of droughts, purpose of formation, blocking anticyclones.

Tab. 5. Fig. 6. Ref. 31.

УДК 551.521.31

**Direct solar radiation incoming to tilted surfaces.** Stadnik V. V., Trofimova O. V. Proceedings of MGO. 2011. V. 563. P. 122—136.

On the basis of long term hourly totals of direct solar radiation relating to normal surface average hourly, daily and monthly totals incoming to tilted surfaces have been calculated. Two types of tilted surfaces were considered: facing the sun and at the angle that equals to the place’s latitude. The article contains the distribution of annual totals of direct solar radiation incoming to above-mentioned tilted surfaces at real cloudiness terms on the Russian territory and of daily totals in the month of peak income. More over the ratio of direct solar radiation incoming to tilted and horizontal surfaces was analyzed. On the basis of these estimations the tables of direct radiation conversion coefficients from horizontal to tilted surfaces in the latitude range 40—72° N are presented.

*Keywords:* direct solar radiation, tilted surfaces, conversion coefficients, hourly totals, daily totals.

Tab. 5. Fig. 7. Ref. 8.

УДК 581.586

**Specifics of damage and risk assessment related to hazardous weather in the territory of Arkhangelsk Region and Nenets Autonomous District.** Grishenko I. V. Proceedings of MGO. 2011. V. 563. P. 137—148.

Data information about dangerous weather events in the territory of Arkhangelsk Region and Nenets Autonomous District is considered. The mean values of hazardous weather frequency have been estimated. Objective analysis of losses and risks of dangerous weather events for the different parts of Arkhangelsk Region has been carried out.

*Keywords:* dangerous weather events, hazardous weather frequency, damage, risk assessment.

Fig. 4. Ref. 8.

УДК 551.594.2/506.3

**Features of air electrical conductivity variations near St. Petersburg.** Popov I. B. Proceedings of MGO. 2011. V. 563. P. 149—165.

Statistic investigation results based on the data of long-term air electrical conductivity measurements carried out at the MGO field experimental base in Voeikovo are presented. The causes of change in long-term course and form of periodic variations in the data series are analyzed. A well-known effect of the aerosol pollution influence on the air electrical conductivity, reflected in a reduction of its values in Voeikovo with wind directions from St. Petersburg, studied in more detail based on the data of last 20 years of observations. Also on the basis of one distinctive episode an ability to use air electrical conductivity measurements for operative air pollution monitoring is demonstrated.

*Keywords:* air electrical conductivity, statistical analysis, air pollution monitoring.

Tab. 2. Fig. 7. Ref. 16.

УДК 551.510.41; 504.38

**Study of diurnal cycle of atmospheric hydrogen concentration in the vicinity of Saint Petersburg and estimate of the hydrogen emission from urban area.** Obraztsova A. A., Paramonova N. N., Privalov V. I. Proceedings of MGO. 2011. V. 563. P. 166—178.

The characteristics of diurnal variability of the molecular hydrogen concentration in the atmosphere are presented. The results are based on two-year measurements of hydrogen atmospheric concentrations with high temporal resolution (every 20 minutes records) at the station Voeikovo (a suburb of St. Petersburg).

The influence of anthropogenic and natural sources/sinks of atmospheric hydrogen on the formation of the features of the diurnal H<sub>2</sub> concentration cycle have been considered. Anthropogenic emissions from the territory of St. Petersburg is the main factor determining the diurnal variation of hydrogen concentration in Voeikovo.

The estimation of hydrogen emission from the territory of St. Petersburg for the period from 2000 to 2008, based on empirically derived H<sub>2</sub>/CO ratio of emissions and inventory of anthropogenic emissions of carbon monoxide, is given.

*Keywords:* greenhouse gases, atmospheric hydrogen, carbon monoxide, anthropogenic emissions.

Fig. 3. Ref. 14.

УДК 002.5: 551.5: 681.5

**Development of the archival data system for the state of environment based on state-of-the-art hardware.** Shaimardanov V. M. Proceedings of MGO. 2011. V. 563. P. 179—190.

It shows the state of the Data Fund on the state of environment. It did not provide either appropriate data storage or acceptable access time. New hardware and software have been selected to ensure reliable and permanent storage of hydrometeorological data. They make it possible to ensure complete data integrity, and the most important, to improve users' access to them.

*Keywords:* data, storage of data, development of archive system, modern hardware.

Fig. 2 Ref. 5.

УДК 002.5: 551.5: 681.5

**Protection of data stored in hard copy and their maintenance management.** Shaimardanov V. M. Proceedings of MGO. 2011. V. 563. P. 191—196.

Performing a function of the World Data Center for Hydrometeorology, RIHMI—WDC has accumulated a large amount of information resources on different types of observation; a part of the Fund is the results of integration of information for different periods of time in the form of climate assessments and statistical parameters, which have been published in various reference books and are being stored on paper media. Data for the very early historical period and also all periodicals from the special library are stored on paper media. The access to such information is usually very difficult. At the expiration of a certain period of time, paper media become physically worn, which leads to data loss. All this makes the task of transferring information from paper media to modern electronic media very actual. Thus, it is expedient to convert all data to electronic format. The main method of converting of converting paper-based data is scanning, that is what this article is about.

*Keywords:* data on paper documents, scanning of paper documents, access to the data.

Fig. 1.

УДК 551.501.721

**The algorithm of quality control of the monthly mean daily values of radiation balance of Earth surface.** Morozova I. V. Proceedings of MGO. 2011. V. 563. P. 197—205.

To analyze the quality of data on the Earth surface radiation balance received by the World Radiation Data Center (Russia, St. Petersburg, WRDC) from the world radiometric network, the author of the paper has developed the algorithm of quality control for the monthly mean daily values of the Earth surface radiation balance.

*Keywords:* world radiometric network, global solar radiation, the Earth surface radiation balance, quality control procedures.

Tab. 1. Ref. 4.

УДК 551.509.314: (551.507:629.73)

**The analysis of methodical errors and results of comparative measurements of height of clouds in airdrome by means of light locators and laser devices.** Kruglov R. A., Drobinskaya A.V. Proceedings of MGO. 2011. V. 563. P. 206—213.

Errors of a method of an optical location with reference to a problem of tool supervision over height of the lower bound of clouds in airdrome are discussed. Algorithms of processing of the measuring information are studied, allowing to reduce influence of methodical errors of measurements. Experimental substantiations of efficiency of use of the offered algorithms of statistical processing of results of measurements are presented.

*Keywords:* airdrome, a method of an optical location, height of clouds, light locators, laser devices.

Tab. 3. Fig. 2. Ref. 3.

УДК 551.510.7

**Simulating of light scattering by inhomogeneous aerosol particle.** Rzhonsnitskaya Y. B. Proceedings of MGO. 2011. V. 563. P. 214—222.

The problem of the reliability with which the characteristics of the atmospheric aerosols are determined from the results of photoelectric measurements is discussed. The model of spherical particle with the radially variable refractive index (with an optical inhomogeneous coating) is considered. Using of this model gives the possibility to explain the results of the photoelectric and filter aspiration measurements comparison.

*Keywords:* atmospheric aerosols, scattering, photoelectric measurements, simulating.

Fig. 4. Ref. 7.

УДК 551.594

**Experimental evaluation of the parameters of electromagnetic radiation of lightning discharges in the VLF range.** Snegurov A. V. Proceedings of MGO. 2011. V. 563. P. 223—234.

The data of experimental studies temporal and spectral characteristics of electromagnetic radiation of lightning in the VLF range are considered. It is shown that there is no unique relationship between them and the type of lightning discharges.

*Keywords:* temporal parameters of electromagnetic radiation of lightning, the amplitude-frequency spectra of radiation, dipole model.

Fig. 6. Ref. 27.

УДК 551.508

**Prediction of the main indicators of the metrological reliability of meteorological measuring instruments.** Okorenkov V.Yu. Proceedings of MGO. 2011. V. 563. P. 235—252.

The general requirements are set forth for methods of analyzing and forecasting the main metrological reliability of meteorological parameters measurement instrument (MI), the methods of predicting the metrological reliability of instruments with the help of software.

*Keywords:* metrological reliability, performance, measurement instrument (MI), prediction.

Tab. 1. Ref. 10.

**Analysis of quality of work of a network laboratories of air pollution monitoring.** Sharikova O. P., Kovachyova E. V. Proceedings of MGO. 2011. V. 563. P. 253—259.

Results of activity on control capacity of air pollution monitoring and the analysis of quality of work of a network laboratories of air pollution monitoring (LAPM) of Federal Service for Hydrometeorology and Environmental Monitoring are presented.

For an estimation of efficiency of external control capacity of measurements as important factor of increase a reliability of network LAPM the results of external control capacity of measurements for period 2000—2011 years and an estimation of quality of control at LAPM has been analyzed on a number of ingredients.

The presented results demonstrate the growth of quality of measurements at LAPM of Federal Service for Hydrometeorology and Environmental Monitoring and expediency of increase of annual volume of external control capacity of measurements both by number of LAPM, and by number of ingredients.

*Keywords:* reliability, control capacity of measurements.

Fig. 3. Ref. 3.

Сборник научных трудов

**Труды ГГО. Вып. 563**

Подписано в печать 30.05.2011. Формат  $60 \times 84^{1/16}$ . Бумага офсетная. Печать офсетная. Печ. л. 20,0. Тираж 300 экз. Заказ №

Изготовлено ООО РИФ «Д'АРТ».

195030, Санкт-Петербург, ул. Химиков, 28.

## Требования к оформлению рукописей, представленных для публикации

К публикации в сборниках Труды ГГО принимаются результаты оригинальных исследований и сообщения по разделам: физика атмосферы, прикладная метеорология, дистанционное зондирование и активные воздействия, загрязнение атмосферы, климатология.

В комплект рукописи должны входить: основной текст; аннотации на русском и английском языках; электронная версия статьи; акт экспертизы; сопроводительное письмо, подписанное руководителем организации или учреждения, где работает автор; сведения об авторе (авторах) с указанием фамилии, имени, отчества, служебного телефона, электронного адреса, названия и почтового адреса учреждения, в котором была выполнена работа.

На первой странице рукописи в левом верхнем углу должен быть указан индекс по универсальной десятичной классификации (УДК), затем посередине страницы - название работы, инициалы и фамилии авторов, название организации, ее адрес, электронный адрес автора. Аннотации на русском и английском языках объемом не более десяти строк каждая с указанием ключевых слов (не более пяти слов или словосочетаний) и числа таблиц, рисунков и библиографических ссылок представляются на отдельном листе.

Рукопись должна быть набрана шрифтом Times New Roman размером 12 и напечатана через двойной интервал на одной стороне листа А4 с полями: нижнее, верхнее и левое 25 мм, правое 10 мм.

В списке литературы приводятся в алфавитном порядке сначала источники на русском языке, затем иностранная литература. Фамилия и инициалы автора (авторов) выделяются курсивом. Библиографические ссылки по тексту должны иметь следующий вид: (Иванов и др., 2005) или в работе Иванова и др. (2005). При наличии ссылок на несколько работ одного автора, опубликованных в одном году, рядом с годом издания указывается буква русского алфавита, показывающая порядок следования данного издания в списке литературы, например (Иванов, 2005а).

При оформлении списка литературы следует указывать: *для журнальных статей* фамилии и инициалы авторов, год, название статьи, название журнала, номер тома, номер выпуска, страницы; *для книг* фамилии и инициалы авторов, год, полное название книги, место издания (город), издательство, общее число страниц; *для авторефератов диссертаций* фамилию и инициалы автора, год, полное название, степень, специальность, место защиты, страницы; *для депонированных статей* фамилии и инициалы авторов, дату депонирования, название депонированной статьи, регистрационный номер; *для авторских свидетельств* фамилии и инициалы авторов, год, название а.с. и его номер, номер бюллетеня изобретений.

Редакция сохраняет за собой право вносить необходимые редакционные исправления, дополнения и сокращения. Плата с авторов, в том числе аспирантов, за публикацию рукописей не взимается.

Консультации по вопросу публикации можно получить по e-mail:  
makhotk@main.mgo.rssi.ru

*Индекс 18617  
по каталогу Роспечати  
«Газеты. Журналы»*